

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo



Dissertação

**INFLUÊNCIA DO USO DO RESÍDUO DE CERÂMICA
VERMELHA EM ARGAMASSAS NA SUBSTITUIÇÃO
PARCIAL DO AGREGADO OU DO CIMENTO**

FRANCIELLI PRIEBBERNOW PINZ

Pelotas, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Influência do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição
parcial do agregado ou do cimento**

Francielli Priebbernow Pinz

Pelotas, 2019

Francielli Priebbernow Pinz

Influência do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial do agregado ou do cimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ariela da Silva Torres
Coorientador: Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga

Pelotas, 2019

CATALOGAÇÃO

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P661i Pinz, Francielli

Influência do resíduo de cerâmica vermelha na substituição parcial ao agregado ou do cimento / Francielli Pinz ; Ariela da Silva Torres, orientadora ; Charlei Marcelo Paliga, coorientador. — Pelotas, 2019.

155 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. RCV. 2. Argamassas. 3. Reciclagem de resíduos. 4. Tecnologia da arquitetura. I. Torres, Ariela da Silva, orient. II. Paliga, Charlei Marcelo, coorient. III. Título.

CDD : 720

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

Francielli Priebbernow Pinz

Influência do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial do agregado ou do cimento.

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 04 de julho de 2019.

Banca examinadora:

.....
Prof^a. Dr^a. Ariela da Silva Torres (Orientadora)
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga (Coorientador)
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof^a. Dr^a. Estela Oliari Garcez
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof^a. Dr^a. Angela Azevedo de Azevedo
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Fábio Kellermann Schramm
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Ariela Torres e Charlei Paliga por toda a dedicação, ensinamentos e carinho empregados na construção deste trabalho. Sou imensamente grata pela trajetória que me ajudaram a construir desde a graduação, até a conclusão deste trabalho, e por serem grandes exemplos profissionais e pessoais. Obrigada por ultrapassarem o papel de orientador acadêmico e pela humanidade com que trataram meu desenvolvimento ao longo deste período.

Aos meu pais, Dóris e Ildomar, por todo o empenho e todo o amor investidos na minha criação. Obrigada por serem meus maiores exemplos de honestidade, integridade, amor, companheirismo e dedicação. Sou eternamente grata pela educação que me proporcionaram, e por me ensinarem que ela é o caminho de uma vida digna e nobre. Á vocês, dedico esta, e todas as conquistas da minha vida.

Á minha vó Ivone, aos meus irmãos, William e Arthur e minha cunhada Francine, pelo apoio e pela torcida incansável, por compreenderem minhas ausências e pelas palavras e gestos de apoio. Agradeço também a minha sobrinha Luíse, por ser a razão da minha alegria e me motivar na construção de mundo melhor.

Ao meu noivo, Fernando, por ser incansável no cuidado, na confiança e no apoio. Obrigada por me ensinar todos os dias otimismo e confiança, por me apoiar nas dificuldades por vibrar em todas as minhas conquistas. Sou muito grata pela oportunidade diária de compartilhar minha vida e meus planos contigo.

Aos meus colegas mestrandos e bolsistas do grupo NEPAMAT, pela colaboração e coleguismo ao longo deste trabalho. Agradeço em especial à Rafaela Huttner, pelo apoio na parte laboratorial, e ao Fernando Teixeira, pela colaboração no desenvolvimento da análise estatística deste trabalho.

A todos amigos e familiares que torcem pelo meu desenvolvimento profissional e pessoal, que acompanharam, de perto e de longe, os obstáculos e conquistas que vivi ao longo deste trabalho. Aos meus tios e primos, que me acolheram em suas casas para colaborar com minha vida acadêmica. As minhas amigas Fernanda, Ana Paula, Natiele, Ariela que foram, literalmente, meu braço esquerdo em alguns momentos. A todos aqueles que abriram mão do seu tempo para me fazer companhia, me auxiliar e me prestar palavras de apoio, meu muito obrigada!

Ao NEMC, laboratorista Rodrigo e demais bolsistas, e também à direção do CEng pela imensa colaboração feita a este trabalho ao disponibilizar seus recursos físicos e humanos.

À coordenação de área física do Curso Técnico em Edificações do IFSul-Pelotas pelo empréstimo de material.

A olaria Dannenberg pela disponibilização do resíduo utilizado.

A todos os professores, colegas e coordenação do PROGRAU.

À CAPES pelo fomento a esta pesquisa.

*“São as nossas escolhas que revelam o que realmente somos, muito mais
que nossas qualidades.”
Alvo Dumbledore*

RESUMO

PINZ, Francielli Priebbernow. **Influência do resíduo da cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial ao agregado ou do cimento.** 2019. 155 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

A vida em sociedade neste século é marcada pela busca constante por forma de vida, atitudes e produtos mais sustentáveis, dado o eminente esgotamento dos recursos naturais causado pelo intenso desenvolvimento e consumo não consciente, que coloca em risco a sobrevivência das futuras gerações. Esta problemática concerne a construção civil, por ser uma das grandes responsáveis pela extração de recursos naturais, emissão de gases poluentes e pela geração de resíduos sólidos. A readequação do setor as novas exigências ambientais e sociais, passa pela reutilização de rejeitos, a fim de descartar adequadamente os resíduos, e reduzir o consumo de novos materiais. Partindo destas necessidades, o trabalho teve como objetivo principal avaliar o resíduo de cerâmica vermelha (RCV), proveniente da fabricação de matérias de construção na cidade de Pelotas (RS), como potencial substituinte ao cimento Portland, considerando a atividade pozolânica do material, e como agregado miúdo, aproveitando sua granulometria após beneficiamento. A substituição foi feita igualmente em argamassas de cimento (1:6) e mistas (1:2:8), para possibilitar a compreensão de um mesmo RCV em diferentes situações, até então inexistente. Foram feitas substituições nos teores de 5%, 10% e 15% ao cimento Portland, e também ao agregado miúdo, nos teores de 10%, 15% e 20%. As argamassas foram avaliadas quanto ao desempenho mecânico (compressão axial e tração na flexão) e físico (absorção por capilaridade e absorção por imersão e índices de vazios). Os resultados foram muito promissores ao indicar a viabilidade da aplicação do material, em ambas as tipologias de argamassas. O RCV, nas argamassas 1:6 propiciou melhorias mecânicas, especialmente nos teores de 5% e 15% de substituição no aglomerante. Nas argamassas mistas, destacou-se o melhor desempenho físico da argamassa com 5% de substituição no aglomerante. Os traços com substituição no agregado foram mais prejudicados em relação à substituição no cimento. Além disso, outros traços, como o de 10% de substituição no agregado e no aglomerante, se comportaram de maneira muito similar as argamassas referências. Com estes resultados foi possível comprovar a viabilidade do RCV em argamassas mistas e de cimento.

Palavras-chave: RCV; Argamassas; Reciclagem de resíduos; Tecnologia da arquitetura

ABSTRACT

PINZ, Francielli Priebbernow. **The influence of the red ceramic waste in mortars on partial aggregate or cement replacement..** 2019. 156 f. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Life in society in this century is marked by the constant search for more sustainable forms of life, attitudes and products, given the eminent depletion of natural resources caused by intense development and unaware consumption, which endangers the survival of future generations. This problem concerns civil construction, once it is one of the major responsible for the extraction of natural resources, the emission of polluting gases and the generation of solid waste. The readjustment of the sector to new environmental and social requirements demands the reuse of waste, in order to dispose then properly, and also to reduce the consumption of new materials. Based on these needs, the main objective of this paper was to assess the red ceramic waste (RCW) from the construction materials manufacturing in the city of Pelotas (RS), as a potential substitute for Portland cement, considering the pozolanic activity of the material, and as a fine aggregate, taking advantage of its granulometry after processing. The replacement was made in cement mortars (1:6) and mixed mortars (1:2:8), to allow the compression of the same RCW in different situations, so far non-existent. Substitutions were made in the contents of 5%, 10% and 15% to Portland cement, and also to the fine aggregate, in the contents of 10%, 15% and 20%. The mortars were evaluated in terms of mechanical performance (axial compression, and tensile flexion) and physical performance (capillary absorption and absorption by immersion and void indices). The results were very promising in indicating the feasibility of applying the material in both types of mortars. The RCW in mortars 1:6 provided mechanical improvements, especially in the contents of 5% and 15% substitution in the binder. In mixed mortars, the best physical performance of the mortar was highlighted with a 5% replacement in the binder. Traces with substitution in the aggregate were more impaired in relation to the substitution in cement. In addition, other traits, such as the 10% replacement in the aggregate and agglomerant, behaved in a very similar way to the reference mortars. With these results, it was possible to prove the viability of CVR in mixed mortars and cement.

Palavras-chave: RCV; Argamassas; Reciclagem de resíduos; Tecnologia da arquitetura

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de empresas Olarias.	28
Figura 2: Fluxograma da produção de peças cerâmicas.....	30
Figura 3: Área de descarte de resíduos de olaria Pelotense.....	31
Figura 4: Delineamento da pesquisa.....	53
Figura 5: Amostra da coleta de RCV.....	54
Figura 6: Beneficiamento em britador de mandíbulas.....	55
Figura 7: Curva granulométrica do RCV.	55
Figura 8: Granulometria a laser RCV.	57
Figura 9: Difração de raio X.....	61
Figura 10: Curva granulométrica da areia.	62
Figura 11: Traços executados no programa experimental.....	68
Figura 12: (a)Substituição do aglomerante no traço 1:6 (b) Substituição do aglomerante no traço 1:2:8 (c) Substituição do agregado.....	69
Figura 13: Verificação do índice de consistência da argamassa.....	71
Figura 14: Cura dos corpos de prova (a) Corpos de prova de argamassas de cimento em cura no tanque com solução de água e cal (b) Corpos de prova de argamassas mistas em cura ao ar.....	73
Figura 15: Corpo de prova na prensa mecânica sob ensaio de resistência à compressão axial com auxílio de regularizador de neoprene.....	74
Figura 16: Tração na flexão (a) Moldagem de corpos de prova prismáticos. (b) Corpos de prova após desmolde.....	75
Figura 17: Tração na flexão (a) Moldagem de corpos de prova prismáticos. (b) Corpos de prova após desmolde.....	76
Figura 18: Ensaio de absorção por capilaridade (a) camada de água de 5 (± 1)mm (b) corpos de prova em contato com a água para absorção.	77
Figura 19: Corpos de prova rompidos diametralmente após a absorção por capilaridade.....	77
Figura 20: Ensaio de absorção por imersão. (a) etapa de saturação (b) etapa de ebulição.....	78
Figura 21: Resistência à compressão axial das argamassas 1:6.....	81
Figura 22: Resistência à tração na flexão – argamassas 1:6.....	89

Figura 23: Ensaio de Tukey para as substituições no agregado sobre o ensaio de resistência à tração na flexão–argamassas 1:6	91
Figura 24: Resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:6.....	92
Figura 25: Resultados de absorção por imersão –argamassas 1:6	95
Figura 26: Resultados de Índice de Vazios – argamassas 1:6.....	96
Figura 27: Resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias – argamassas 1:2:8	99
Figura 28: Resultados de resistência à tração na flexão – argamassas 1:2:8	105
Figura 29: Teste de Tukey dos resultados de resistência a tração na flexão – argamassas 1:2:8 (a) Substituições no agregado(b) Substituições no aglomerante	106
Figura 30: Resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8.....	107
Figura 31: Resultados de absorção por imersão – argamassas 1:2:8	110
Figura 32: Resultados de índices de vazios – argamassas 1:2:8.....	110
Figura 33: Análise de Tukey para os resultados de absorção por imersão e índices de vazios nos traços com substituição no agregado – argamassas 1:2:8.....	112
Figura 34: Relação entre as propriedades do desempenho mecânico das argamassas de cimento aos 28 dias	114
Figura 35: Relação entre o índice de vazios e a resistência à compressão das argamassas de cimento aos 28 dias	115
Figura 36: Relação entre as propriedades do desempenho mecânico das argamassas mistas aos 28 dias.....	117
Figura 37: Relação entre as propriedades do desempenho mecânico das argamassas mistas aos 28 dias.....	119
Figura 38: Parâmetros físicos das argamassas de cimento	120
Figura 39: Parâmetros físicos das argamassas mistas	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de diferentes Resíduos de Cerâmica.	33
Tabela 2 - Requisitos quanto as resistências para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.	41
Tabela 3 - Estudos referentes a argamassa com substituição parcial do cimento por RCV.....	45
Tabela 4 - Estudos referentes a argamassa com substituição parcial do agregado por RCV.....	49
Tabela 5 - Características físicas do RCV.....	58
Tabela 6 - Exigências físicas e químicas para materiais pozolânicos de classe N ...	58
Tabela 7 - Resultado ensaio IAP com cimento (ABNT NBR 5752, 2014)	59
Tabela 8 - Resultado ensaio IAP com cal (ABNT NBR 5751, 1992)	59
Tabela 9 - Composição química do RCV de acordo com EDX.	60
Tabela 10 - Características físicas da areia.	63
Tabela 11 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento.	64
Tabela 12 - Características físicas e químicas da cal hidráulica.	64
Tabela 13 - Matriz experimental das argamassas de cimento	66
Tabela 14 - Resistência à compressão dos traços teste de argamassa mista.....	67
Tabela 15 - Consumo médio de materiais por traço.....	72
Tabela 16 - Resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias com ganhos de resistência e desvio padrão dos resultados – argamassas 1:6	82
Tabela 17 - Análise Anova dos resultados de resistência à compressão – argamassa 1:6	85
Tabela 18 - Análise Anova dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias – argamassa 1:6.....	86
Tabela 19 - Análise Anova dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias – argamassas 1:6.....	87
Tabela 20 - Análise Anova dos resultados de resistência à compressão aos 63 dias – argamassas 1:6.....	87
Tabela 21 - Análise Anova dos resultados de resistência à tração na flexão– argamassas 1:6.....	90
Tabela 22 - Teste de Tukey para os resultados de resistência a tração na flexão dos traços com substituição no aglomerante – argamassas 1:6.....	91

Tabela 23 - Análise Anova dos resultados de resistência à tração na flexão – argamassas 1:6.....	93
Tabela 24 - Análise Tukey dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas1:6.....	93
Tabela 25 - Resultados de absorção por imersão e índices de vazios – argamassas 1:6	96
Tabela 26 - Análise Anova para os resultados de absorção por imersão e índices de vazios – argamassas 1:6.....	97
Tabela 27 - Teste Tukey dos resultados de absorção por imersão – argamassas 1:97	
Tabela 28 - Resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias com ganhos de resistência e desvio padrão dos resultados – argamassas 1:2:8	100
Tabela 29 - Análise Anova dos resultados de resistência à compressão – argamassa 1:2:8	101
Tabela 30 - Teste Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias – argamassa 1:2:8.....	102
Tabela 31 - Teste Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias – argamassa 1:2:8.....	102
Tabela 32 - Teste Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 63 dias – argamassa 1:2:8.....	103
Tabela 33 - Análise Anova dos resultados de resistência à tração na flexão – argamassas 1:2:8.....	105
Tabela 34 - Análise Anova dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8	107
Tabela 35 - Análise Tukey dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8	108
Tabela 36 - Absorção por imersão e índices de vazios com desvio padrão dos resultados – argamassas 1:2:8	111
Tabela 37 - Análise Anova dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8	111
Tabela 38 - Análise Tukey dos resultados de absorção por imersão – argamassas 1:2:8	112
Tabela 39 - Comparação de comportamento com o traço C_REF com base na estatística	123

Tabela 40 - Comparação de comportamento com o traço M_REF com base na estatística124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grupos e traços com suas substituições.....	80
Quadro 2 - Classificação das argamassas de cimento com RCV de acordo com a NBR 13281 (2005).....	123
Quadro 3 - Classificação das argamassas mistas com RCV de acordo com a NBR 13281 (2005).....	124

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	Hipóteses	19
1.2	Objetivos	20
1.3	Justificativa.....	20
1.4	Delimitações da pesquisa	21
1.5	Estrutura da pesquisa	22
2.	INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E O USO DE RESÍDUOS.....	23
2.1	Uso de resíduos na construção civil.....	25
2.2	Indústria da Cerâmica Vermelha	27
2.3	Características do RCV	32
3.	ARGAMASSAS	37
3.1	Estado da arte do RCV em argamassas	44
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	53
4.1	Materiais.....	54
4.2	Programa experimental	65
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
5.1	Parâmetros avaliados –Argamassas de cimento 1:6	80
5.2	Parâmetros avaliados –Argamassas mistas 1:2:8	98
5.3	Desempenho mecânico.....	114
5.3.1	Argamassas de cimento 1:6	114
5.3.2	Argamassas mistas	116
5.4	Desempenhos físicos	120
5.4.1	Argamassas de cimento 1:6	120
5.4.2	Argamassas mistas 1:2:8	121
5.5	Compilação dos dados.....	123
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
	REFERÊNCIAS.....	129
	Apêndices	138

1. INTRODUÇÃO

A vida em sociedade como conhecemos é fruto de anos de evolução e exploração do homem sobre o meio em que vive. Em princípio, o ambiente natural e seus fenômenos definiam o modo de vida do ser humano. No entanto, o grande desenvolvimento das tecnologias proporcionou ao homem uma capacidade cada vez maior de se apropriar e modificar o meio em que vive e, especialmente depois da Revolução Industrial, passou a explorar essas tecnologias de maneira intensiva, modificando diretamente, afetando o ambiente construído e a vida em sociedade. O estabelecimento do sistema capitalista fez a sociedade dependente das grandes produções, causando um crescimento acelerado das indústrias, da população e, principalmente, das cidades. Este desenvolvimento trouxe uma diversidade de produtos de todos os setores e um nível de qualidade de vida até então inéditos (PINHEIRO, 2008).

No entanto, a manutenção deste sistema e o crescimento elevado da população, e conseqüentemente da necessidade de infraestrutura, levou a anos de uso inconsciente do meio ambiente, acabaram por cobrar seu preço, e hoje, a sociedade se encontra, mais uma vez, na posição de adaptar sua forma de vida para garantir sua sobrevivência. As mudanças climáticas e o eminente esgotamento de recursos naturais não renováveis trouxe para nossa rotina a busca por formas mais sustentáveis de realizar as atividades do nosso dia a dia.

Um marco desta nova relação da sociedade com o meio ambiente foi a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992. Com o objetivo de promover uma rede global de desenvolvimento econômico sustentável para países em desenvolvimento, diversos países elaboraram e assinaram um documento, chamado de Agenda 21, com diretrizes diretas para um desenvolvimento industrial mais sustentável, sendo as mais importantes delas: a redução de resíduos, a reutilização de subprodutos e a promoção de sistemas adequados de tratamento e disposição de resíduos (UNITED NATIONS, 1992).

A indústria da construção civil desempenha um papel econômico e social fundamental para o país. No entanto, ambientalmente, é constantemente tomada como uma grande vilã. Em todos os seus ciclos de produção, a construção civil é altamente nociva ao meio ambiente. O processo produtivo dos materiais construtivos demanda uma grande extração de recursos naturais, sendo que, no Brasil, até 50% dos recursos minerais extraídos tem esta finalidade (MESQUITA, 2012). Após a extração, os materiais são processados através de alto consumo energético ou processos de queima com grande liberação de gases poluentes. Devido ao controle de produção ainda inconsistente nos canteiros de obra, encontram-se ainda elevados índices de desperdício e perdas destes materiais construtivos, culminando na geração de um expressivo volume de resíduo, que acabam sobrecarregando os sistemas de descarte e gerando custos para os órgãos públicos gerenciadores (CARASECK et al. 2018).

Este contexto mostra que a construção civil é um setor industrial que se encontra na constante necessidade de rever seus materiais e sua cadeia produtiva, a fim de buscar alternativas para a minimização destes danos ambientais. Para isto, o campo da pesquisa das tecnologias construtivas é um aliado fundamental no desenvolvimento de ações menos nocivas (MEDEIROS et al., 2016).

Tratando-se da reciclagem na construção civil, uma das primeiras problemáticas abordadas foi a dos resíduos de construção e demolição (RCD), ou seja, o resíduo gerado no canteiro de obras. Este material possui uma grande visibilidade, uma vez que representam aproximadamente 62% dos resíduos sólidos urbanos coletados (ABRELPE, 2013). Por este motivo diretrizes sobre este material, como a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), assim como diversas pesquisas que apontam alternativas para o descarte apropriado deste resíduo, como a de Evangelista (2009) e de Brasileiro e Matos (2015).

Os resultados obtidos quanto a reciclagem deste material abriram caminhos para pesquisas também quanto a resíduos gerados indiretamente pela construção civil, gerados pelas indústrias responsáveis pela fabricação e fornecimento de materiais construtivos para as obras civis. São os casos do resíduo de corte de granitos e mármore, gerados em função da extração e beneficiamento de rochas ornamentais, do resíduo de PVC, gerado na fabricação de tubulações, o resíduo de cerâmica vermelha, gerado na fabricação de blocos cerâmicos e telhas, entre diversos outros.

A indústria da cerâmica vermelha ou cerâmica estrutural, responsável por produzir blocos, tijolos e telhas, tem sua existência diretamente relacionada com a construção civil, corresponde a 4,8% dela, com um faturamento anual de cerca de R\$18 bilhões (ANICER, 2014), sendo notoriamente importante para o país, apesar de carecer de dados mais atualizados. A extração da argila, matéria prima utilizada, e o processo de queima das peças são altamente nocivos. As falhas no processo produtivo das peças de cerâmica vermelha geram o resíduo de cerâmica vermelha (RCV), sendo que no Brasil, a geração deste varia de 5% a 20% da produção industrial, dependendo do nível de controle tecnológico da fábrica (ABDI, 2016). Cabe ressaltar que esta indústria, no Brasil, ainda possui, em sua maioria, características bastante artesanais e de pouca tecnologia em comparação com outros ramos do setor construtivo, e conseqüentemente, apresenta práticas de controle de qualidade pouco eficazes, grande geração de resíduos, e relativa despreocupação com a destinação destes (HANSEN et al., 2016).

Considerando a importância da reutilização de resíduos, a fim de retirá-los do meio ambiente, especialmente com a possibilidade de usá-los como matéria-prima para outros materiais, e considerando-se também as vastas possibilidades que a construção civil apresenta de incorporar resíduos próprios e de outras indústrias, percebe-se um nicho de possibilidades sobre a reutilização do RCV incorporado a outros materiais construtivos. Em alguns casos, o resíduo já é utilizado dentro da construção civil em aterros ou lastros para pavimentação, mas alguns estudos já apontam para a possibilidade de que, com algum controle e beneficiamento, ele poderá também ser utilizado em concretos, argamassas ou mesmo na fabricação de cimento, como é o caso dos trabalhos de Pinheiro (2008), Araújo (2017), Castro et al. (2017) e Qadir (2015).

É necessário destacar, no entanto, que a incorporação de resíduos de qualquer espécie em materiais construtivos demanda exaustivos estudos a fim de garantir uma nova tecnologia segura e eficaz, uma vez que são grandes as variáveis que podem interferir no comportamento dos materiais combinados, sendo possível a ocorrência de comportamentos distintos de acordo com a procedência do resíduo, seu beneficiamento, quando necessário, e a forma de incorporação aos materiais. Por estes motivos, destaca-se a importância do estudo das propriedades dos materiais e seus possíveis usos, a fim de avaliar sua melhor aplicabilidade (NAVARINI, 2017).

As argamassas possuem grande importância na construção civil, que de acordo com Recena (2015), tem sua primeira utilização datada na Roma antiga, e até hoje é largamente utilizada, mesmo que sua composição ao longo deste tempo tenha sido modificada diversas vezes, utilizando uma grande variedade de materiais, de acordo com a disponibilidade local. A história da construção civil é marcada pela presença da argamassa, sendo o revestimento argamassado uma característica constante na nossa arquitetura (CRESCENCIO; BARROS, 2005).

A cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul, possui um polo da indústria da cerâmica estrutural, de grande importância para a economia local que conta com 29 empresas associadas à Associação dos Ceramistas de Pelotas. As olarias pelotenses abastecem com blocos cerâmicos de vedação e estruturais, entre outras mercadorias, o mercado da construção civil da região sul do estado. As atividades das olarias já fazem parte das características da cidade de Pelotas, tanto econômica quanto geograficamente. Como toda indústria, no entanto, vem acompanhada da problemática da geração de resíduos, intensificada pela falta de destinação adequada, que já se tornaram parte da paisagem urbana na região da cidade em que se localizam as olarias.

Levando-se em consideração todos os aspectos apontados sobre a necessidade e a importância social e econômica de encontrar uma apropriada destinação e reutilização para os resíduos gerados, utilizando-se do potencial da construção civil como alternativa, e com objetivo de diminuir seus impactos ambientais, este trabalho de pesquisa se comprometeu a avaliar a potencialidade de aplicação do resíduo da indústria da cerâmica vermelha em argamassas. Para isto, estudou-se a incorporação do RCV gerado na cidade de Pelotas/RS em argamassas de diferentes traços e com diferentes proporções, fazendo substituições parciais do agregado miúdo ou aglomerante pelo resíduo.

1.1 Hipóteses

A colocação das considerações e possibilidades acima descritas desencadeou a seguinte pergunta de pesquisa: Os resíduos cerâmicos provenientes de blocos de vedação podem ser aplicados em argamassas em substituição ao aglomerante ou ao agregado?

Para tanto, foram formuladas as seguintes hipóteses para a continuação deste processo investigativo: (1) a incorporação do RCV em argamassas é uma alternativa possível quanto a reutilização de um resíduo sem destinação em prol de um material construtivo adequado as suas finalidades, com uma produção mais sustentável; e (2) o uso do resíduo do RCV em argamassas pode melhorar o desempenho mecânico das argamassas, melhorando seu desempenho físico e mecânico.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o uso do RCV em argamassas de cimento e argamassas mistas, de cimento e cal hidratada, como substituinte parcial ao agregado miúdo ou ao aglomerante, considerando os parâmetros físicos e mecânicos exigidos às argamassas convencionais.

Para que o objetivo geral possa ser alcançado, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- (1) Avaliar se as características físicas e químicas do resíduo restringem ou não sua utilização em alguma situação;
- (2) Verificar a potencialidade do RCV como um substituinte parcial ao cimento no papel de aglomerante em argamassas, em diferentes teores;
- (3) Verificar o uso do RCV no papel de substituinte parcial do agregado miúdo, em porções diferentes;
- (4) Verificar o comportamento do RCV em duas situações de argamassa – de cimento e mista (cimento e cal hidratada), em ambos os tipos de substituição propostas;
- (5) Avaliar a real interferência dos diferentes teores de resíduo nas argamassas, a fim de indicar um tipo e um teor de substituição, que possibilite a execução de uma argamassa de qualidade e com viés sustentável.

1.3 Justificativa

Fica evidente, após o exposto anteriormente, a importância de pesquisas que avaliem a produção de materiais construtivos de qualidade com matérias primas alternativas, especialmente aquelas oriundas de materiais descartados de outros

segmentos. Por este motivo, a produção de argamassas com material reciclado de outra indústria, em uma região de ampla utilização das argamassas em revestimentos, é de extrema importância, visando a renovação do mercado da construção civil para opções de materiais mais sustentáveis, mantendo a técnica tradicionalmente utilizada.

Além do mais, sabendo que a cidade de Pelotas-RS produz peças cerâmicas, de importância econômica e social, o reaproveitamento deste material como componente de argamassas ajuda a minimizar os impactos do setor, podendo colaborar também com seu desenvolvimento.

Alguns trabalhos, como o de Rossi et al. (2017) e Araújo (2017), percorreram este caminho, tendo em vista utilizar resíduos de outros polos ceramistas, como o de São Paulo, para fins específicos, como a utilização como agregado ou aglomerante. Revisões bibliográficas ajudam a identificar diferenças entre resíduos de origens distintas, dadas as diferenças de matéria prima e das reações no processo de fabricação. Essas diferenças representam, conseqüentemente, comportamentos distintos. Da mesma forma, o resíduo pode reagir de uma forma com o cimento, e de outra forma com outros aglomerantes como a cal, significando que não necessariamente um RCV apropriado para argamassas com cimento, terá o mesmo comportamento em argamassas com cal.

Tendo em vista as várias situações de aplicações da argamassa nas edificações, e a recorrência de trabalhos avaliando a aplicação do RCV em tipologias específicas, como mostrará a revisão bibliográfica, identificou-se então a necessidade de avaliar um mesmo resíduo em relação a diferentes aglomerantes, a fim de uma melhor compreensão do seu comportamento, para a viabilização do seu uso.

1.4 Delimitações da pesquisa

De acordo com Medeiros et al. (2016), o principal ponto de diferenciação entre resíduos de cerâmica vermelha, que conseqüentemente afeta em seu comportamento, é a matéria prima utilizada, ou seja, a composição mineralógica da argila, seguido do processo de queima. Por este motivo, o critério estabelecido para a coleta do resíduo foi selecionar olarias que utilizassem como matéria prima a argila proveniente da jazida municipal da cidade de Pelotas-RS. O fato de que a maioria das olarias da cidade utilizam esta jazida foi importante para esta escolha, tendo em vista uma grande quantidade de resíduo da mesma origem. Ainda de acordo com Medeiros

et al. (2016), outro fator determinante nas características do RCV é a temperatura de queima da cerâmica no processo de fabricação, pois é neste momento que ocorrerão as reações químicas que poderão tornar o material reativo ou não. Por este motivo, quanto ao processo de queima, definiu-se que o resíduo seria coletado em olarias que utilizassem sistemas de queima de temperatura constante, pois garante que diferentes lotes de fabricação sejam queimados na mesma temperatura, reduzindo uma variável na caracterização do resíduo.

Sendo assim, esta pesquisa trata de resíduos coletados na cidade de Pelotas, no bairro Sanga Funda, onde estão localizadas a grande maioria de indústrias de cerâmica da cidade, em função da jazida municipal cedida para exploração. Desta forma, os resíduos desta região possuem a mesma matéria prima.

Além disso, este estudo trabalhou apenas com resíduos provenientes de peças da produção de blocos de vedação furados, descartando peças oriundas de tijolos maciços, blocos estruturais e outros produtos também produzidos na olaria.

1.5 Estrutura da pesquisa

A estruturação do presente trabalho foi feita em seis distintos capítulos, apresentados a seguir.

O primeiro capítulo, já apresentado, trata da apresentação do trabalho, sua introdução, hipóteses, objetivos geral e específicos e delimitações.

O segundo e o terceiro capítulo apresentam a revisão bibliográfica dos temas comportados por este trabalho, tais como os impactos da construção civil e prática da reciclagem através da reutilização de resíduos, assim como as propriedades das argamassas e a revisão dos trabalhos que avaliaram o RCV em argamassas.

No quarto capítulo estão descritos os métodos e materiais utilizados, além do programa experimental que estruturou o trabalho.

No quinto capítulo são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos.

O sexto capítulo trata das considerações finais e conclusões alcançadas ao decorrer do trabalho.

Por fim, expõem-se as referências bibliográficas e os apêndices do trabalho.

2. INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL E O USO DE RESÍDUOS

A indústria da construção civil vem sendo tema de diversas discussões acerca dos reflexos ambientais, sociais e econômicos que coloca sobre a nossa sociedade. Sua importância econômica, no nosso país, é inegável, movimentando aproximadamente 5% do PIB (IBGE, 2017), representando ainda uma importante parte do setor econômico do país, apesar das recentes retrações em função da crise econômica do país. Esta relevância no cenário da econômica nacional não é recente, mas sim histórica. Em momentos economicamente complexos, a indústria da construção civil foi utilizada como alavanca, recebendo grandes investimentos governamentais e liberações de créditos bancários para impulsionar a geração de emprego e renda, sendo programas como o Programa de Aceleração de Crescimento frutos desse momento (REZENDE; BONTEMPO; WENDER, 2015). De acordo com Teixeira e Carvalho (2005), pelo seu tamanho, por ter impacto direto na economia brasileira, e ainda apresentar efeito de encadeamento, e sua já comentada importância induzida ao desenvolvimento, a indústria da construção civil pode ser considerada uma *key-factor*, ou seja, um setor de elevada importância estratégica na estrutura econômica nacional.

Os números da construção civil que tratam do impacto ambiental por ela causados são igualmente grandiosos. De acordo com Figueiredo et al. (2011), de 15% a 50% dos recursos naturais extraídos da natureza são destinados à construção civil, além de uma quantidade incalculável de resíduos gerados, uma vez que seria necessário considerar os resíduos de construção e demolição e os resíduos gerados por todas as indústrias que alimentam o mercado da construção civil com o fornecimento de materiais construtivos.

A preocupação globalizada com a preservação ambiental busca garantir formas de vida cada vez mais sustentáveis, considerando o conceito de que sustentabilidade é a garantia de vida das gerações futuras, reflete diretamente sobre a construção civil, dada a magnitude dos seus números. Dentre as muitas atividades que envolvem estas constantes adaptações às novas necessidades do planeta, uma que diz respeito a uma produção mais responsável é a reutilização de resíduos

gerados, que desponta como uma possibilidade promissora no contexto dos materiais construtivos.

De acordo com Menezes et al. (2002), a reciclagem consiste em reintroduzir no ciclo de produção, materiais que não atendem mais a sua função original, dando a eles uma nova utilidade. Os autores destacam que a reciclagem de resíduos apresenta várias vantagens, dentre as quais é possível citar a redução no consumo de matérias primas, de consumo energético e de emissão de gases poluentes envolvidos no processo de fabricação.

Mendes e Borja (2007) afirmam que a construção civil é uma alternativa em grande potencial para a incorporação de resíduos provenientes de sua própria indústria e de diversas outras. Esta característica leva ao desenvolvimento de uma diversidade de estudos que avaliam a incorporação de resíduos em materiais da construção civil, como concretos, argamassas e pavimentações. Quanto a essa incorporação podemos identificar duas situações distintas e igualmente benéficas: uma em que o resíduo é incorporado em novos materiais sem afetar seu desempenho a ponto de inviabilizar a sua utilização, dando ao material uma forma de descarte apropriada e não degradante ao meio; e uma segunda onde o resíduo incorporado, além de ser retirado do meio, pode ser parcialmente ou integralmente substituído por outro componente, reduzindo assim o consumo de um novo material. Neste contexto, a busca por resíduos que substituam parcialmente os componentes de concretos e argamassas são de grande valia no caminho de busca por uma indústria da construção mais sustentável.

A areia utilizada como agregado na construção civil é um dos insumos minerais mais consumido no mundo, de acordo com Valverde (2001). No entanto, a extração de areia é uma atividade altamente degradante, que tem consequências de grande impacto ambiental, como a alteração dos cursos dos rios e em seus parâmetros de corrente, erosão de encostas e destruição de ecossistemas aquáticos e terrestres (OLIVEIRA; MELO, 2007).

Da mesma maneira, a produção do cimento também demanda um agressivo processo de extração de recursos naturais, além de apresentar altos índices de consumo energético e de emissão de CO₂ durante o processo de fabricação. De acordo com Araújo (2017), a produção de uma tonelada de cimento Portland demanda 1,5 toneladas de matéria prima, até 6,28 GJ de energia térmica e de 65 a 141kWh de

energia elétrica, tudo isso enquanto emite 0,94 toneladas de CO₂. O consumo nacional do cimento no último ano foi de 52,7 milhões de toneladas, sendo essa média resultante de um período de recessão do mercado, que agora volta lentamente a crescer de acordo com indicadores mensais (SNIC, 2018). Estes números ressaltam a importância da busca constante por materiais alternativos ao cimento, a fim de proporcionar uma redução no seu consumo e fabricação, tendo em vista que, tratando-se de beneficiar o meio ambiente, qualquer redução na produção é um ganho importante.

Outro fator que contribuiu para a propagação e relevância de estudos sobre o uso de resíduos na construção civil foi o grande volume de resíduos de demolição e construção gerados nas cidades brasileiras. De acordo com a última publicação da ABRELPE (2017), o volume de RCD coletado no país ultrapassa a marca de 45 milhões de toneladas por ano, sendo o estado do Rio Grande do Sul responsável pela geração de 16.472 toneladas por dia. Mesmo sendo considerado pelo CONAMA, através da resolução nº 307 (CONAMA, 2002), como um resíduo inerte, e portanto não necessitando de especial atenção nas condições de descarte, as cidades brasileiras carecem de uma destinação adequada para este grande volume de resíduo produzido diariamente.

A percepção deste cenário impulsionou então o desenvolvimento de estudos que passaram a avaliar a possibilidade de incorporação, inicialmente, de resíduos construção, e em consequência dos resultados otimistas, de outros diversos resíduos, provenientes tanto da indústria da construção civil como de demais setores, em materiais construtivos, como concretos estruturais, argamassas, blocos de concreto, pavimentação entre outros.

2.1 Uso de resíduos na construção civil

De acordo com Pinto (1999), a reciclagem de resíduos teve seu início no hemisfério norte, no período pós Segunda Guerra Mundial, devido à grande demanda de materiais construtivos para reconstrução de países como Alemanha, além de países que já apresentavam escassez de materiais granulares, como a Holanda, Bélgica e Dinamarca, e tinha como foco a reciclagem de resíduos sólidos da

construção civil (RCD). No Brasil, os trabalhos pioneiros no âmbito da reciclagem de RCD foram os de Pinto (1989 e 1999) e Silveira (1993).

Atualmente, a problemática dos resíduos da construção é abordada sobre vários aspectos, tanto visando a redução da sua produção, como no estudo de Araújo (2002), quanto na incorporação deste material em situação diversas, como a utilização como substituinte ao agregado miúdo (SILVA et al., 2017) ou ao agregado graúdo (NETO et al., 2018) em concretos, avaliando inclusive seus efeitos sobre a durabilidade destes concretos (SILVA, 2017). Ainda visando a substituição por agregados miúdos, o RCD foi incorporado também, a nível de experimento, em concretos de pavimentação (SANTOS; SOUZA, 2016), em argamassas de revestimento (FERREIRA, 2017), argamassas geopoliméricas (ARAÚJO, 2017), e mesmo na fabricação de tijolos solo-cimento (REIS, 2017). O RCD abriu portas para a avaliação de outros resíduos no papel de agregado, que também podem ser enquadrados como provenientes da construção civil, como é o caso do resíduo de corte de mármore e granito (SILVA, 2017) e o próprio resíduo de cerâmica vermelha (RCV).

A utilização de resíduos em substituição ao agregado miúdo convencional em materiais construtivos tomou uma importância tal que foram avaliados também resíduos das origens mais adversas. É o caso do trabalho de Navarini (2017), que aplicou resíduo de borracha de pneu em argamassa de revestimento externo, como substituição parcial ao agregado miúdo, objetivando um melhor desempenho da argamassa frente às manifestações patológicas, tendo as argamassas ao final do tempo de exposição, se equiparado a argamassa convencional. Resíduos de vidro também foram aplicados como agregado miúdo em concretos leves (YU et al., 2015) e argamassas (SILVA et al., 2017), ambos com resultados promissores, como aumento da trabalhabilidade e da resistência à compressão, sendo provada a viabilidade de sua utilização como substituinte parcial, dentro dos parâmetros avaliados. Além destes, para finalidades específicas, outros resíduos se provaram eficientes na construção civil, como o caso do EVA da indústria de calçados como agregado miúdo em argamassas para minimizar sons de impactos (TUTIKIAN et al., 2017) e o PET para agregados miúdos em concreto, desde que sem função estrutural (GUERRA et al., 2017).

Da mesma maneira, a atenção para a problemática do consumo intensivo de aglomerantes também levou a busca por materiais alternativos, especialmente ao cimento, nos mais diversos materiais de matrizes cimentícias. Alguns estudos que se destacaram neste contexto são: a cinza de casca de arroz (PADILHA, 2017), o bagaço da cana de açúcar (DIAS et al., 2017), em que os resíduos resultaram em concretos viáveis estruturalmente. Já o pó de pedra quando avaliado como substituição ao cimento (CAMPOS, 2015), não só indicou viabilidade, mas também causou melhora no desempenho do concreto, como melhor desempenho mecânico. Além destas, outras possibilidades são apresentadas no trabalho de Paris et al. (2016). Neste âmbito, o RCV também se apresenta como identificado no trabalho de Araújo (2017).

Observa-se então, que as possibilidades sobre reutilização de resíduos são vastas, tanto quanto ao resíduo utilizado, quanto a sua função e também quanto ao material em que for empregado, em especial aqueles de matrizes cimentícias, como concretos, blocos de concreto para pavimentação, para vedação, contrapisos, argamassas entre outros.

As argamassas têm grande importância e aplicabilidade na construção civil, uma vez que este material é utilizado em duas frentes. A primeira para assentamento de tijolos ou blocos, que representam a principal técnica construtiva utilizada no Brasil, e a segunda, como revestimento com acabamento de pintura, que é a opção construtiva mais utilizada em edificações no nosso país (ALVES et al., 2010). Além disso, por não possuírem exigências estruturais e mecânicas tão elevadas quanto o concreto ou mesmo os blocos estruturais, acabam sendo uma alternativa apropriada para a avaliação de incorporação de resíduos diversos.

2.2 Indústria da Cerâmica Vermelha

A indústria da cerâmica vermelha faz parte do Setor de Transformação de Não-Metálicos do nosso país, e está enquadrada no conjunto de cadeia produtiva da construção civil. Dentre os produtos desta indústria estão os blocos - estruturais ou não - de alvenarias, tijolos, telhas, elementos vazados, lajes e lajotas.

O levantamento preliminar do setor para o ano de 2017 indica uma produção nacional de aproximadamente 63,6 bilhões de peça/ano, correspondendo a quase 10Mt de argila. A cerâmica vermelha chega a representar 4,8% da Indústria da

Construção Civil, e emprega até 900 mil trabalhadores (MME, 2017). O levantamento destaca, no entanto, que o setor é debilitado no que diz respeito a dados estatísticos e indicadores de desempenho, devido ao fato de ser predominantemente de pequenas unidades, e de estarem pulverizadas por vários locais do país. Neste cenário, a região Sul sempre obteve uma posição de destaque, contendo o maior número de fábricas do país, como observado na Figura 1. Vale ressaltar que o último levantamento ocorreu há quase uma década.

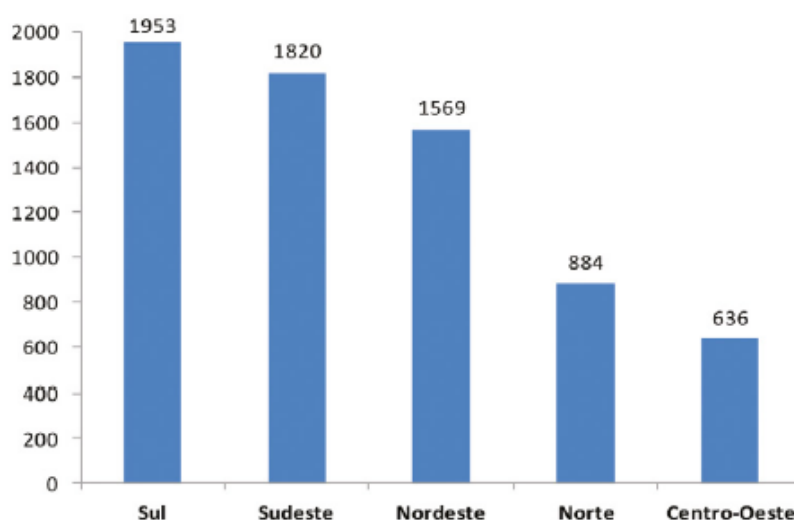


Figura 1: Número de empresas Olarias.

Fonte: ABDI (2010).

De acordo com os dados encontrados no trabalho de Perez et al. (2010), disponibilizados pelo Sindicato de Indústrias de Olarias e de Cerâmica do Estado do Rio Grande do Sul, o estado continha aproximadamente 1200 empresas, ou seja, mais de 60% do total da região Sul.

Apesar de sua notória importância, não devemos desconsiderar o impacto ambiental causado pela produção dos materiais de cerâmica vermelha. Entre os principais impactos causados, Araújo (2017) cita a degradação das áreas de extração de argila, o grande consumo energético, a emissão de gases poluentes como o CO₂ e a geração de resíduos sólidos. Para o melhor entendimento destes impactos, em especial, da geração de resíduos, é necessário que se conheça o processo de produção que envolve esta indústria, cabendo ressaltar que neste trabalho, o enfoque será na produção de blocos de vedação e tijolos.

2.1.1 O processo de produção da cerâmica vermelha

A matéria prima utilizada na indústria da cerâmica vermelha é a argila, extraída de jazidas minerais que, normalmente, são o pré-requisito e o fator determinante para a localização das fábricas. Da extração, a argila retirada deve ser preparada, em forma de massa, para a fabricação. De acordo com a ABDI (2016), existem três formas de preparo de massa: a de via úmida, de via seca e a via semiúmida. Dentre estas, a forma considerada tradicional e comumente utilizada é a via úmida, que consiste na laminação da argila em sua forma plástica. Nesta preparação, o material é separado e são formados montantes de argila. Esta preparação da massa consiste em processos de britagem e de moagem da argila, para a redução da granulometria da mesma, adequada para a mistura. Como etapa final desta fase de preparação, a massa passa por uma dosagem, ou alimentação. Esta dosagem é feita de diferentes formas, dependendo do nível de industrialização da olaria.

Preparada a massa, passa-se então para a etapa de desintegração, que deve ser feita com um controle de umidade para que se garanta uma maior eficiência. Em seguida, a massa passa para a mistura. Recomenda-se após o término da mistura, que a massa fique em repouso por aproximadamente 72 horas, para garantir uma melhor homogeneização. Terminado o repouso, começa um processo mecanizado, primeiramente com a laminação, onde a massa é amassada em formato de lâminas. Estas lâminas são encaminhadas então para a extrusora (ou maromba), que é uma câmara de alta pressão, a vácuo, onde a massa é compactada contra um molde do produto desejado. É feito então um corte, com um fino cabo de aço, na medida especificada do produto (ABCERAM, 2017; CASSOL, 2015).

Com o corte, se encerra então a fase mecânica da fabricação, e as peças são encaminhadas para a secagem, que pode ser feita de forma natural, ao ar, ou forçada, através de câmaras de secagem, e irá resultar em uma redução da umidade, de 30% para aproximadamente 5%. Depois de secas as peças podem ser encaminhadas para a sinterização, ou queima, sendo esta, a etapa que as peças ganham resistência e as demais propriedades solicitadas. A queima é feita em fornos que podem ser intermitentes, semicontínuos ou contínuos, e podem também utilizar diferentes combustíveis. Os blocos cerâmicos sinterizados são então resfriados, e passam para

a inspeção. Nesta etapa, são descartados os blocos que, por algum problema durante o processo de queima não atendem os requisitos de qualidade para serem comercializados. Finalmente, eles podem ser encaminhados para o estoque, e posteriormente, para a expedição (HANSEN et al., 2016; CASSOL, 2015). A Figura 2 esquematiza o processo de fabricação para melhor compreensão.

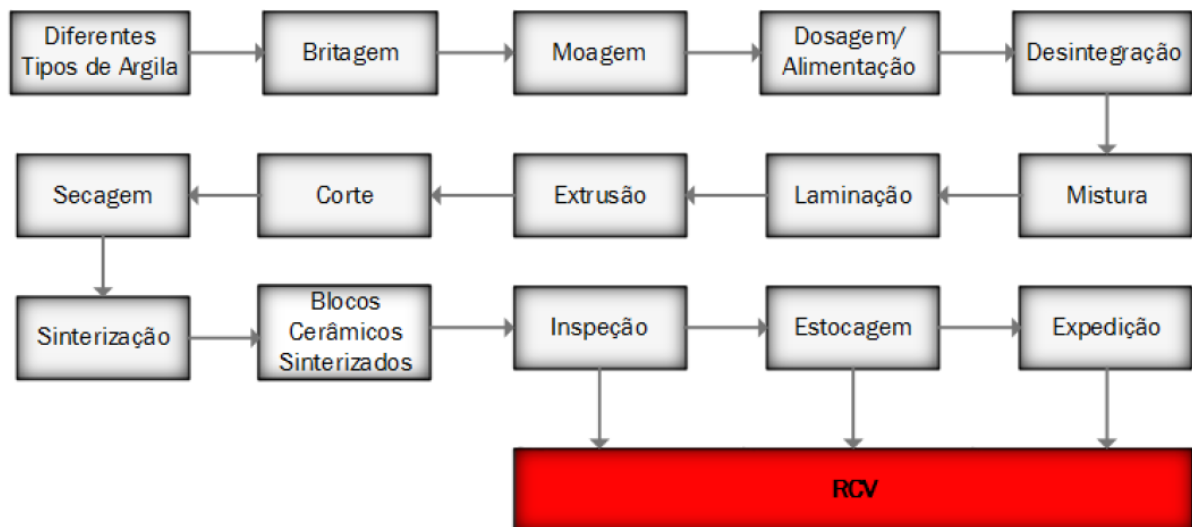


Figura 2: Fluxograma da produção de peças cerâmicas.

Fonte: Hansen et. al. (2016).

As etapas finais desta produção são as responsáveis pela geração do resíduo sólido chamado RCV, que surge, como dito anteriormente, das peças que podem ser danificadas ao longo do processo de queima, causando fissurações, e por este motivo acabam sendo descartadas (ARAÚJO, 2017). Este descarte, mesmo que de peças inteiras, já configura a geração de RCV. No demais, pequenos acidentes, batidas ou choques que ocorrem durante o processo de transporte e estocagem das peças cerâmicas, também podem acabar comprometendo a integridade das peças, gerando resíduos.

A geração de resíduos, segundo ABDI (2016), está diretamente atrelada ao nível de industrialização das olarias, podendo variar entre 5% em fábricas com maior controle de qualidade a até 30% em olarias menores. O trabalho de Hansen et al. (2016) também apresenta valores de geração de resíduo dentro desta margem. Em sua revisão, as autoras utilizaram os últimos dados oficiais do estado do Rio Grande do Sul, concedidos pelo SINDICER-RS, em que das 795 empresas que foram

questionadas, 79,6% não tinha nenhum controle quanto às perdas no processo de queima. Destas mesmas empresas, 87% afirmaram ter um índice de geração de resíduo de 5%. Além disto, o trabalho das autoras Hansen et. al. (2016) realizou um controle de qualidade e de perdas em duas empresas, sendo uma de produção artesanal, e a segunda de produção mais industrializada, e puderam então confirmar a discrepância entre a geração de resíduos, concluindo que a produção artesanal pode chegar a um índice de geração de RCV 374% maior.

A grande maioria das empresas e olarias não possui um plano de descarte apropriado, normalmente aterrando estes resíduos em terrenos próximos as fábricas (Figura 3), ou até mesmo em áreas de extração inutilizadas. A busca por um destino adequada para este resíduo foi apontada como uma problemática nos países da União Europeia pelos autores Pacheco-Torgal e Jalali (2010), onde a produção de resíduo varia de 3 a 7%, e é comumente destinado a aterros. No nosso país a problemática também é uma realidade, dada a grande quantidade de resíduo gerado. Por estes motivos, estudos começaram a avaliar reciclagem deste resíduo em materiais construtivos, sendo alguns destes trabalhos apresentados a seguir.



Figura 3: Área de descarte de resíduos da olaria.

Fonte: Autora.

2.3 Características do RCV

O RCV possui diversas possibilidades de aplicação, dado o fato que seu beneficiamento permite um controle da granulometria obtida, podendo ser empregado como agregado graúdo ou miúdo, além de apresentar elevados teores de finos, dependendo da forma de beneficiamento, que abrem a possibilidade de aplicações como substituições ao cimento, ou mesmo na sua fabricação, como pozolana ou clínquer. Essas possibilidades, no entanto, dependem diretamente das características físicas e químicas de cada resíduo.

É importante afirmar, que, as argilas diferem umas das outras, como foi bem apontado por Pinheiro (2008) em seu trabalho, sendo a composição e estrutura química e a origem mineralógica os fatores que mais diferenciam as argilas. Embora todas sejam constituídas basicamente de silício, alumínio, água, ferro e metais alcalinos, a quantidade presente de cada um dos materiais difere de acordo com a sua localização na crosta terrestre. Ou seja, argilas de diferentes lugares do país não apresentaram, necessariamente, composição química e mineralógica iguais, significando materiais de comportamentos diferentes. Medeiros et al. (2016) também destacam as diferentes composições da argila como um fator determinante no comportamento do RCV, e além disso, explicam que o processo de queima das peças cerâmicas é o causador das reações químicas que irão definir o comportamento do RCV, e, portanto, é outro fator que pode causar resíduos com diferentes comportamentos. Estes fatos expõem a necessidade de constantes avaliações e estudos sobre o RCV como material reciclado em diferentes regiões, uma vez que podem apresentar comportamentos distintos.

Por estes motivos, os trabalhos que pretendem avaliar o uso do RCV em qualquer situação de reciclagem, acabam sempre demandando uma etapa de caracterização do resíduo trabalhado. Analisando estes trabalhos podemos ter uma ideia das diferenças entre os resíduos coletados em diversas regiões do país e mesmo do mundo, e também dos métodos utilizados para melhor reconhecimento deste material. A Tabela 1 apresenta alguns destes trabalhos e seus resultados.

Tabela 1–Características de diferentes Resíduos de Cerâmica.

Trabalho	Caracterização física			Análise química (SiO ₂ +Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	Análise morfológica (DRX)	IAP cimento (%)	IAP Cal (MPa)	Conclusão
	Massa esp.	Massa Unit.	Mód. de finura					
Vieira (2008)	2,76	ND		90,35	Contem materiais cristalinos pouco ou não reativos no sistema pozolana-cimento	134,8	7,3	Satisfaz requisitos para material pozolânico
Wada (2010)	2,59	1,06	2,15	48,15	ND	ND	ND	Material não pozolânico mas com possível efeito fíler, beneficiando seu uso como agregado miúdo
Cassol (2015)	2,67	ND	1,34	93,06	Picos de Quartzo bem definidos, configurando material cristalino	ND	ND	Material com atividade pozolânica
Mas et al. (2015)	ND			84,84	Pico de quartzo em estado cristalino	ND	ND	Potencial de pozolana para produção de cimento
Hansen (2016)	2,79	ND	ND	94,19	Picos de quartzo e microclina que configuraram reatividade	76	8,9	Pode ser considerado material pozolana Classe N
Cache-pa (2017)	ND			94,27	Pico de quartzo em estado cristalino e grande quantidade de alumino	107	ND	Material com atividade pozolânica
Araújo (2017)	2,75	0,71	1,93	90%	Baixa cristalinidade para materiais pozolânicos	111	13,15	Elevado índice de atividade pozolânica, adequado para uso como suplemento em compósito cimentício
Castro et al. (2017)	2,70	ND		90,1	ND	ND	7,2	Material com atividade pozolânica adequada

As diferenças encontradas entre as características do RCV evidenciam a necessidade de caracterização de materiais ainda não estudados, e faz com que sua reutilização seja avaliada em diversas situações, de acordo com os resultados. Os

ensaios realizados são condicionados por vários fatores, desde a finalidade do resíduo até a tecnologia disponível. O ensaio de composição química, no entanto, é um dos mais recorrentes e considerados, dado o fato dos elementos químicos presentes no material, e seus teores, serem determinantes na sua reatividade.

A recorrência da identificação da atividade pozolânica neste resíduo foi um dos fatores de destaque do material, que fez com que diversos estudos avaliassem sua aplicação na produção de cimento, como material pozolânico, ou mesmo como um substituinte parcial ao cimento em material como as argamassas e concretos. Esta avaliação é de extrema valia, por dispensar a necessidade de incorporação de pozolanas naturais ou artificiais, reduzindo a necessidade de produção de pozolana artificiais e reduzindo o impacto ambiental da produção do cimento.

Neste contexto, NuranAy (2000) já realizava experimentos avaliando esta utilização. Em seu estudo o autor utilizou resíduos de tijolos cerâmicos, com índice de reatividade de 95%, finamente moído em britador de mandíbulas e moinho de bolas, a fim de obter granulometria de pozolanas. O resíduo utilizado passou por ensaios de caracterização química onde foi possível comprovar a sua alta reatividade. O RCV foi então incorporado ao cimento em teores de 25%, 30%, 35% e 40%, e a mistura foi então utilizada em corpos de prova de argamassa. As argamassas foram testadas então quanto a sua tração, compressão e densidade, e com os resultados obtidos foi possível concluir que o RCV pode ser utilizado como material pozolânico, e que pode também ser adicionado ao cimento em porções de até 35%, tendo como resultado uma redução de custos considerável.

Outro trabalho que tem como enfoque a reação pozolânica é o de Hansen (2016), que avaliou a pozolanicidade do RCV em comparação com o metacaulim, uma pozolana já consagrada. O ensaio de análise química indicou uma reatividade do RCV em 94,19%. Foram moldados corpos de prova de argamassa referência de dois tipos, um com aglomerante cimento e outro com a cal como aglomerante, e corpos de prova que fizeram substituição do aglomerante pelo RCV ou pelo Metacaulim em teores de 20%, 25% e 35%. Estes corpos de prova foram ensaiados quanto à compressão nas idades de 7, 28, 63 e 91 dias. Constatou-se nos resultados que o RCV apresentou maior atividade pozolânica quando combinada com o aglomerante CH-1 se comparado com a argamassa com cimento. Além disso, observou-se um grande potencial da reatividade do RCV, especialmente aos 91 dias, embora a autora tenha

observado que para melhores resultados seriam indicados menores teores de substituição. Embora o metacaulim tenha apresentado reação pozolânica superior ao RCV ensaiado, a autora conclui a viabilidade do resíduo cerâmico em teores específicos.

Garcia et al. (2015) realizaram um programa experimental para avaliar a atividade pozolânica de resíduos gerados nos principais polos ceramistas do estado de São Paulo, com enfoque na adição mineral na produção de cimentos. Os autores consideraram que a avaliação mecânica não necessariamente avalia o desempenho da atividade pozolânica, e focaram em ensaios com maior ênfase nas reações e no comportamento químico do material, como ensaio de Chapelle e análise termogravimétrica. Foram analisados resíduos de oito cerâmicas diferentes, beneficiados em britador de mandíbula. Destas oito, apenas uma entre as amostras não apresentaram os requisitos químicos para ser considerado material pozolânico. Através destas análises, os autores puderam concluir que um dos fatores fundamentais para a ocorrência de reatividade do material é a temperatura de queima das peças cerâmicas, sendo o intervalo de 700°C e 800°C, o ideal para garantir as reações químicas dos componentes da argila necessárias para causar a atividade pozolânica. Este material, de acordo com os autores, pode ser considerado uma nova fonte de material pozolânico para a indústria de cimento, sendo um material viável do ponto de vista técnico, econômico e, especialmente, ambiental.

Castro et al. (2017) utilizaram o cimento CPV e o resíduo de cerâmica vermelha proveniente de telhas e de blocos de vedação, separadamente, para produzir um cimento composto com pozolana (CPII Z) e um cimento pozolânico (CPIV). Esses cimentos foram testados quanto a suas características químicas e físicas, e também propriedades mecânicas. Os cimentos criados foram testados sobre diversos parâmetros, buscando aferir todos os requisitos da norma, como por exemplo o desempenho mecânico, parâmetro em que os cimentos com RCV atenderam os limites da norma, e ultrapassaram os traços referência. Apesar do aumento do consumo de água, e retardamento do início de pega nesses cimentos, os materiais se mostraram adequados a serem aplicados na construção civil, com diversas vantagens do ponto de vista econômico e ambiental, e a ressalva de apresentarem alteração na coloração do cimento em teores superiores a 35%.

Além de pozolana, Moura et al. (2018) afirmam que as propriedades físicas e químicas comuns ao RCV apresentam similaridade suficiente com os compósitos típicos das matérias primas utilizadas como clínquer, na composição do cimento, o que dispensaria a extração de argila para produção de cimentos, além de agregar propriedades aos materiais. Puertas et al. (2008) também afirmaram que o uso como clínquer é uma alternativa tecnicamente viável, capaz de apresentar desempenho igual ou mesmo superior que a composição regular do clínquer.

Alguns fatores podem causar a variabilidade entre diferentes RCV, como as várias composições da argila, a temperatura de queima e demais fatores do processo de fabricação, como a dosagem da argila (MOURA et al, 2018). Além destes, o tempo de moagem do RCV (CASSOL, 2015) e o tipo de caracterização (PINHEIRO, 2008), uma vez que a granulometria pode interferir na atividade pozolânica, e é determinada no processo de beneficiamento.

O uso do RCV foi avaliado também para a incorporação no concreto. Dado o fato de que o RCV precisa ser beneficiado para aplicação em materiais, podendo-se obter diferentes granulometrias, o uso do RCV no concreto pode ser avaliado tanto como substituinte ao agregado graúdo, agregado miúdo como pelo cimento. É o caso do trabalho de Pacheco-Torgal e Jalali (2010), que utilizou o RCV como substituinte parcial ao cimento no teor de 20%, sendo o traço com este teor o que obteve o melhor desempenho entre os resíduos utilizados, se assemelhando ao traço referência. No papel de agregado graúdo o material foi considerado viável em concretos convencionais por Alves et al. (2014), e também em concretos auto-adensáveis, por Qadir (2015).

3.ARGAMASSAS

Argamassas são misturas homogêneas constituídas obrigatoriamente de agregados miúdos, aglomerantes e água, podendo ou não conter aditivos, que deve apresentar propriedades de aderência e de endurecimento, como é definido pela NBR 13281 (ABNT, 2005). As diferenças entre as composições e proporções destas misturas classificam as argamassas em diferentes tipos. De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), elas podem ser: argamassas de cimento, quando utilizam como aglomerante apenas o cimento Portland, e argamassa de cimento e cal, quando utilizam como aglomerante cimento e cal. Além destes materiais, as argamassas podem ser ainda com adições, o que de acordo com a norma significa conter materiais inorgânicos, naturais ou não, que objetivam modificar suas propriedades de alguma forma.

Ainda de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas diferenciam-se em suas características de acordo com o seu tipo, distinguindo-as em dois grandes grupos: as argamassas de assentamento e as argamassas de revestimento. Argamassas de assentamento são aquelas que têm como função fazer a ligação de elementos componentes da alvenaria, seja ela estrutural ou de vedação, além de terem fundamental importância na ascensão de umidade capilar. As argamassas de revestimento, de acordo com Alves et al. (2010), têm como função revestir um substrato qualquer, proporcionando segurança quanto às intempéries tanto para o substrato quanto para a estrutura, conferir isolamento térmico e acústico para a edificação juntamente com o sistema de vedação, apresentar resistência aos abalos superficiais sofridos e ao desgaste, ofertar segurança ao fogo e estanqueidade frente à água, além de regularizar a superfície do substrato, proporcionando para acabamento ou preparando para receber outros revestimentos

As argamassas de revestimento são amplamente utilizadas na construção civil em nosso país, empregadas nas edificações desde a colonização, e ainda muito efetivas (CRESCENCIO; BARROS, 2005). Dentre as argamassas de revestimento, é possível diferenciá-las em argamassa para revestimento interno e externo, além da classificação de argamassa para reboco, também chamada de “massa fina”, e das argamassas decorativas, que podem ser tanto de camada fina como monocamada (ABNT NBR 13281, 2005).

A capacidade das argamassas de revestimento de desempenhar suas funções está diretamente relacionada com as camadas que a compõe. Quanto as camadas de revestimento, conforme Caraseck (2007) temos as seguintes possibilidades:

- Chapisco: é a primeira camada do revestimento argamassado, e é fundamental também na execução de outros tipos de revestimentos, como cerâmico, que serve preparar e uniformizar a base para receber as camadas seguintes de argamassa e, por esse motivo, sua principal característica é a aderência.
- Emboço: aplicada sobre o chapisco, é a camada que tem como função a regularização da superfície juntamente com a sua proteção, principalmente quanto às intempéries, além de trabalhar juntamente com o substrato para proporcionar à edificação estanqueidade e proteção. A camada do emboço serve como base para que o substrato receba algum acabamento decorativo, seja ele o reboco ou o revestimento de placas.
- Reboco: camada de revestimento fina e completamente regularizada, aplicada sobre o emboço, que pode receber o acabamento final de pintura, ou servir como próprio acabamento final.
- Camada única: apesar do nome, a aplicação do revestimento de camada única demanda uma camada de chapisco para aderência. Além disto, dispensa execução de emboço e reboco, e consiste em uma única camada de argamassa aplicada sobre a base, que pode ou não receber acabamento de pintura.

- RDM (Revestimento Decorativo de Monocamada): é um revestimento industrializado, ainda pouco utilizado no Brasil, mas massivamente utilizado na Europa. É composto de cimento branco, cal hidratada, agregados diversos, pigmentos inorgânicos, fungicidas e aditivos de diversas finalidades. Consiste em uma camada única aplicada diretamente sobre o substrato em espessura que pode variar, no Brasil, de 13 a 30mm.

A execução dos revestimentos argamassados, em suas variadas camadas, é normatizado pela NBR 7200 (ABNT, 1998), que aborda também a importância das espessuras das camadas de argamassa e do traço utilizado, sendo o traço o proporcionamento adequado dos constituintes da argamassa dada sua finalidade, tomando como elemento principal o aglomerante (ABNT NBR 7200, 1998).

O desempenho das argamassas está atrelado não apenas a definição de suas camadas, mas de uma série de características que são requeridas às argamassas empregadas em revestimento. De acordo com Recena (2015), são características que devem apresentar as argamassas:

- Trabalhabilidade: pode ser definida pelo grau de facilidade em aplicar a argamassa em sua posição final, considerando sua finalidade. Esta propriedade deve ser tal que garanta a aderência instantânea da argamassa no substrato quando aplicada, e também que possibilite uma facilidade de acabamento superficial, sem que seja comprometida a coesão. Da mesma maneira que a escassez de água afeta negativamente na trabalhabilidade, seu excesso causará segregação dos seus componentes, também afetando negativamente. Sendo assim, a trabalhabilidade pode ser entendida como o equilíbrio adequado entre consistência e coesão.
- Durabilidade: é a capacidade da argamassa de manter através do tempo, dadas as condições de esforços e de exposição consideradas no momento do projeto, suas características físicas e químicas, sem deixar de cumprir sua finalidade original. A durabilidade está diretamente atrelada a presença de umidade e de sais solúveis nas argamassas. O excesso de umidade demanda uma quantidade maior de cimento, uma vez que o desempenho de aglomerantes cimentícios

está atrelada a relação água/cimento e a sua densidade. Por este motivo, para garantir a durabilidade das argamassas de revestimento externo requerem uma maior quantidade de cimento no traço. A problemática da durabilidade em argamassas de cimento e cal é maior dada justamente a menor quantidade de cimento utilizada, e as possibilidades de instabilidades químicas da cal, seja por hidratação retardada, por sua própria composição química, ou pelas possíveis reações quando em contato com umidade ascendente carregada de sais minerais.

- Retenção de água: se refere ao comportamento da argamassa frente a evaporação da água de amassamento. Argamassas com altos fatores água/cimento, como é o caso de argamassas de cimento e cal, e argamassas aplicadas em camadas muito finas tendem a apresentar uma baixa retenção de água, ou seja, a água de amassamento evapora rapidamente. Este processo de evaporação acelera a reação do cimento, levando a uma retração de volume acelerada, causando então fissuração das argamassas ou até mesmo o descolamento do substrato.
- Capacidade de absorver deformações: esta característica trata da exigência colocada sobre a argamassa para que mantenha um bom desempenho frente à deformação de diferentes materiais. A capacidade da argamassa de absorver essas diferentes deformações, sem se romper, está atrelada ao seu módulo de elasticidade, que por sua vez tem relação direta com a resistência à compressão.
- Aderência ao substrato: é a capacidade da argamassa de revestimento de se manter aderida ao substrato aplicado, mesmo sobre variações térmicas, movimentações e solicitações. Neste caso, a propriedade depende do conjunto, e não apenas da argamassa, sendo a aderência solicitada em um substrato de concreto diferente da solicitada para um substrato de cerâmica.
- Resistência mecânica: trata da capacidade da argamassa de resistir às solicitações, que podem ser apresentadas como de compressão, de tração ou de flexão.

De acordo com Recena (2015), características das argamassas, em especial as de desempenho mecânica, são comumente negligenciadas, e raramente foco de detalhadas especificações, exceto em casos em especiais. Este fenômeno, de certa forma, é observado quando analisamos a norma que define requisitos mínimos para argamassas quanto as resistências testadas em corpos de prova de argamassa, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos quanto as resistências para argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Classe	Resistência (MPa)
Resistência à compressão	
P1	$\leq 2,0$
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	$< 8,0$
Resistência à tração na flexão	
R1	$\leq 1,5$
R2	1,0 a 2,0
R3	1,5 a 2,7
R4	2,0 a 3,5
R5	2,7 a 4,5
R6	$< 3,5$
Resistência potencial de aderência à tração	
A1	$< 0,2$
A2	$\geq 0,20$
A3	$\geq 0,30$

Fonte: Autora, adaptada da NBR 13281, ABNT 2005

Apesar da categorização em classes e da definição de valores de resistências mínimos, a norma não faz a especificação das possíveis aplicações em cada classe, ou sequer a diferenciação entre argamassas de assentamento e revestimento, tendo apenas o objetivo de categorizar as argamassas de acordo com certos parâmetros de comportamento a fim de possibilitar a especificação em projeto de acordo com estas categorias. Caraseck et al. (2011) destacam que a resistência mecânica, em especial a resistência superficial, é uma propriedade de extrema importância das argamassas,

pois o revestimento está constantemente sujeito a deformações e tensões superficiais que tendem a degradá-la, e assim, a baixa resistência superficial resulta em pulverulências que prejudicam o acabamento das argamassas e a fixação de camadas de acabamento como a pintura ou as placas cerâmicas. As autoras dizem ainda que este parâmetro, de resistência superficial, está atrelado a resistência de aderência à tração, mas também ao desgaste, aos impactos e a pulverulência das argamassas.

Já Recena (2015) destaca que nas argamassas de assentamento, a resistência mecânica é a propriedade de maior importância, considerando que sua função é unir os elementos da alvenaria, garantindo sua adesão e a distribuição dos esforços atuantes na alvenaria, e que uma vez implementada no sistema de alvenaria, estará constantemente sobre esforços de compressão e tração.

Este desempenho mecânico depende das propriedades de todos os materiais envolvidos na mistura, além dos demais fatores como o processo de produção e a aplicação no sistema. Os aglomerantes são responsáveis, em grande parte, pelo desempenho mecânico, por possuírem as propriedades que conferem liga e resistência a argamassa. Sabe-se que as argamassas podem ser classificadas quanto ao aglomerante utilizado, podendo ser de cimento, de cal e mistas, quando utilizarem ambos os aglomerantes ou mesmo outras misturas como o gesso. De acordo com Silva e Campiteli (2006), as argamassas de cimento tendem a apresentar os melhores resultados quanto ao desempenho mecânico, uma vez que a presença da cal tende a afetar negativamente estes parâmetros, embora venha a contribuir no parâmetro de trabalhabilidade, fundamental às argamassas de revestimento. Santos et al. (2015) afirmam ainda que, quanto a aplicação da cal, as argamassas com cal hidráulica possuem maior resistência mecânica em comparação com as argamassas de cal aérea.

No entanto, juntamente com o aglomerante, os agregados também são fundamentais para a definição do desempenho mecânico. A resistência mecânica do agregado influencia diretamente na resistência mecânica da argamassa e, embora não seja um parâmetro de fácil identificação isoladamente, é perceptível ao observar uma peça de argamassa rompida, por apresentar grande quantidade de grãos no interior da argamassa quebrados (SANTOS, 2011). No entanto, a caracterização dos agregados utilizados pode dar indicações menos empíricas do seu comportamento mecânico, uma vez que mensura as propriedades dos materiais. Carneiro et al. (1997)

já recomendavam a especificação da massa unitária utilizada na argamassa por conseguir relacionar, em diferentes areias, relações entre esta propriedade e o desempenho da argamassa em propriedades como resistência à compressão e à tração. Caraseck et al. (2018), ao avaliar o uso de agregados reciclados, ressaltaram a importância da identificação da massa unitária do agregado utilizado, e sua relação com o desempenho mecânico. De acordo com os autores, as menores massas unitárias, ou seja, menor peso do agregado por unidade de volume, representam materiais mais porosos internos, fazendo com que, quando submetidos a esforços de compressão ou tração, tendem a resistir menos.

No entanto, as influências do agregado no desempenho mecânico não se resumem a sua própria resistência à compressão. De acordo com Souza (2011), a própria porosidade do material, já comentada, interfere no desempenho mecânico também por absorver maior quantidade da água de amassamento, destinada a hidratação do cimento, afetando a resistência. Além disso, o autor afirma que até mesmo o formato dos agregados interfere nesses aspectos, sendo que os grãos de superfície mais angulosa e áspera proporcionam uma maior aderência e travamento entre o agregado e a pasta de cimento, beneficiando a coesão e resistência da argamassa. Ao mesmo tempo, estes mesmos materiais demandam um maior consumo de água, que representa, de maneira generalista, queda no desempenho mecânico.

Fica evidente que o apropriado desempenho de um sistema de argamassa é dependente da relação entre todos os componentes, não referindo a isto apenas o desempenho mecânico, mas diversas outras propriedades. A trabalhabilidade, por exemplo, é o resultado direto da relação entre estes materiais, medido pelo índice de consistência. A trabalhabilidade pode ser definida por um intervalo entre o limite plástico e líquido da argamassa, uma vez que a baixa trabalhabilidade indica não apenas dificuldade de aplicação da argamassa, mas também pouca água para hidratação do cimento. Enquanto isso, o excesso de trabalhabilidade, além de resultar em um material líquido e não aderente, pode causar o descolamento dos agregados da pasta de cimento, inviabilizando a utilização dos materiais (RECENA, 2015).

A permeabilidade das argamassas, especialmente tratando-se das argamassas de revestimento, é outra propriedade de grande importância deste material. Após o período de cura, a argamassa se torna um material poroso, que forma em seu interior uma possibilidade de caminhos para a percolação de água e de ar. A

permeabilidade trata da facilidade encontrada por materiais líquidos e gasosos de percorrer o interior da argamassa. A elevada absorção de água nos vãos capilares da argamassa pode causar movimentações higroscópicas tais que resultam em manifestações patológicas no revestimento, de forma que evitar essa movimentação é recomendável. No entanto, a troca de vapor entre a edificação e o sistema é importante para proporcionar as trocas térmicas e evitar manchas de umidade e bolor causadas pelo acúmulo de vapor d'água na superfície. Sendo assim, o contexto ideal de propriedades das argamassas é de um material pouco permeável à água, para evitar danos à argamassa por infiltrações por capilaridade, vazamentos ou mesmo água da chuva, mas bastante permeável ao vapor de água, para que o vapor de umidade interna ou presente no substrato possa ser conduzido e evaporado sem danos ao revestimento (TEMP, 2014).

As argamassas possuem, portanto, uma série de problemáticas a serem avaliadas, especialmente dada sua aplicação nas edificações como revestimento, assentamentos de blocos de alvenaria e outras aplicações. Apesar das constantes inovações no ramo dos revestimentos, o revestimento argamassado ainda é a opção de diversas construtoras, que estão constantemente buscando racionalização na promoção do produto, alinhada com um material de qualidade, que atenda suas funções, com bom desempenho e durabilidade (CRESCENCIO, 2003).

3.1 Estado da arte do RCV em argamassas

A aplicação do RCV em argamassas é mais uma alternativa para reciclagem. Assim como nos concretos, o material apresenta mais de uma possibilidade de aplicação, como substituição ao cimento ou ao agregado miúdo. Este item irá abordar os trabalhos realizados quanto a estas aplicações e, para melhor compreensão, será dividido então nas duas substituições possíveis.

3.1.1 Argamassas com substituição parcial do cimento pelo RCV

A atividade pozolânica do RCV o torna um potencial substituinte para o cimento Portland em matrizes cimentíceas. A Tabela 3, apresentada a seguir, demonstra alguns estudos que avaliaram a possibilidade de substituição em argamassas de revestimento.

Tabela 3 - Estudos referentes a argamassa com substituição parcial do cimento por RCV

Autor	Material	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Vieira (2005)	Argamassa de cimento: (1:2,65) Cimento: CPIIF-32 Resíduo: 6039 cm ² /g #	0%, 20% e 40%	Consistência, Porosidade, índice de vazios e absorvidade	A trabalhabilidade das argamassas diminui conforme o aumento da porção de resíduo, devido ao fator água/cimento fixo para todos os traços e alta absorção do resíduo. O índice de porosidade e de vazios na substituição de 20% foi inferior ao de 0%, mas aumentou drasticamente na substituição de 40%. O comportamento se refletiu na absorvidade das argamassas, tendo o traço 20% o menor índice entre os 3 testados, e o traço 40% o maior.
Samandi et al. (2015)	Argamassa de cimento (1:1,55) Cimento: AST MType I (Malasia) Resíduo: < 40µm	0%, 20%, 40% e 60%	Resistência à compressão (7, 14, 28 dias), Estrutura interna (Raio X).	Aumento de resistência para os traços de 20% e 40%, ambos apresentando valor de resistência superior ao traço referência aos 14 e 28 dias. O traço 60% obteve desempenho inferior ao traço referência em todas as idades.

Continuação Tabela 3

Autor	Material	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Schackow et al (2015)	Argamassa de cimento (1:8,3) Cimento:CP II Z 32 Resíduo: <45 µm	0%, 25% e 40%	Resistência à compressão, absorção, porosidade e durabilidade (ação de cloretos, carbonatação e sulfatos)	A resistência à compressão foi aferida aos 28 e aos 90 dias, onde todos os traços com substituição apresentaram ganham de resistência, aos 90 dias chegaram a 130%. Quanto a absorção por capilaridade, a argamassa referência apresentou maiores índices que as demais, provavelmente devido ao preenchimento dos poros da argamassa pelas partículas do RCV. O menor desempenho da substituição 40% pode representar a existência um índice de substituição limite, assim como a influência do fator água/cimento. As argamassas contendo RCV apresentaram menor capacidade de reter cloretos e maior capacidade de reter sulfatos quando comparadas à referência. Frente a carbonatação a diferença não foi significativa.
Cardoso e Forti (2015)	Argamassa de cimento e cal (1:3) Cimento: CPII F 32 Resíduo <45 µm	0%, 20% e 40%	Resistência a compressão e densidade.	As substituições apresentaram resistência à compressão inferior aos 7 dias quando comparadas à argamassa referência, mas aos 63 dias esta diferença diminuiu consideravelmente. As densidades no estado endurecido, aos 91 dias, decresceram conforme o teor de substituição.

Continuação Tabela 3

Autor	Material	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Oliveira et al. (2016)	Argamassa de cimento (1:3) Cimento CPII Z 32 Resíduo <45 µm	0% e 10%	Resistência à compressão e à tração	Em ambas as propriedades mecânicas os valores de resistência se mantiveram em semelhança com a referência.
Araújo (2017)	Argamassa de cimento e cal (1:1:6) Cimento: CPV ARI-RS Resíduo:	0%, 10%, 20% e 30%	Resistência à compressão e à tração na flexão, densidade, absorção por capilaridade e por imersão e índice de vazios.	Ganho de resistência à compressão e à tração na flexão aos 28 dias para as substituições de 10% e 20% em relação a argamassa referência. Observou-se menor densidade no estado endurecido conforme o percentual de substituição. O mesmo comportamento ocorreu quanto a absorção por capilaridade com exceção a substituição 10%, que se manteve comparável ao traço 0%. Quanto a absorção por imersão e índice de vazios não houve significativa diferença entre as argamassas.
Shao et al. (2019)	Argamassa de cimento (1:3) Cimento: I 52.5 -GB17 (China) Resíduo:	0%, 10%, 20%, 30% e 40%	Resistência à compressão	Apresentou decréscimo na resistência conforme o aumento do teor de substituição apenas aos 7 dias. Os traços 10% e 20%, as demais idades se equipararam ao traço referência aos 18 dias, e ultrapassaram aos 90 dias, idade em que a reação pozolânica do RCV já é perceptível.

Fonte: Autora

Analisando as referências é possível observar que a reatividade do RCV, em substituição ao cimento, tende a ser mais lenta que a do cimento, sendo identificável apenas após os 60 dias, de forma mais efetiva aos 90 dias.

Mesmo com a identificação da reatividade pozolânica do resíduo, os dados da Tabela 3 mostram que, se realizados altos teores de substituição, a pozolanidade do RCV não compensará a parcela de cimento retirada, causando consideráveis quedas de desempenho nas argamassas. A análise dos dados dos trabalhos permite afirmar que o teor de 20% é um limite, a partir do qual a realização da substituição não compensa. Além disso, o fato dos traços com RCV terem apresentado menores teores de absorção e índices de vazios, pode indicar que sua granulometria proporciona fechamento de poros, o que pode indicar uma utilização como fíler, também colaborando no desempenho mecânico, mesmo na ausência de atividade pozolânica.

Com um foco um pouco diferente, Ortega et al. (2018) ensaiaram duas argamassas que fizeram substituição de 10% e 20% do cimento pelo pó de RCV, buscando sua aplicação como clínquer, e para isso, realizaram os ensaios em idades mais avançadas que o comum, de 100, 200, 300 e 400 dias de idade. O estudo concluiu que o resíduo apresentou atividade pozolânica e atuou também como fíler nas argamassas, com melhores resultados no teor de 10% de substituição. Dentre as vantagens observadas, comparando com o traço referência, destaca-se a menor absorção por capilaridade, e a maior resistência à compressão e flexão. A porosidade das argamassas nas idades iniciais foi superior ao traço referência, mas aos 400 dias os teores se equiparam.

3.1.2 Argamassas com substituição parcial do agregado pelo RCV

A Tabela 4 apresenta uma relação de estudos sobre substituição do agregado das argamassas de revestimento pelo RCV.

Tabela 4 - Estudos referentes a argamassa com substituição parcial do agregado por RCV

Autor	Material	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Pedrozo (2008)	Argamassa de cimento (1:2) Cimento: CP II F	0%, 25% 50%, 75% e 100%	Trabalhabilidade e, teor de ar incorporado, resistência à compressão e à tração na flexão, absorção por capilaridade.	A trabalhabilidade aumenta proporcionalmente a adição de resíduo, embora o teor de ar incorporado não funcione de maneira linear. O maior valor de tração na flexão tanto aos 28 quanto aos 90 dias foi do traço 100%, os outros se assemelharam ao 0%. Já na compressão, o traço 0% foi o de maior valor de resistência, embora com bastante similaridade aos demais, em especial ao traço 50%. Os valores de absorção por capilaridade foram maiores conforme a quantidade de resíduo embora sem discrepâncias.
Jiménez et al. (2013)	Argamassa de cimento (1:3) Cimento: CEM IV/A (Espanha)	0%, 5% 10%, 20% e 40%	Densidade e porosidade, resistência à compressão e flexão, retração, aderência, absorção por capilaridade e permeabilidade ao vapor.	Constatou-se o decréscimo de densidade no estado fresco conforme o aumento do teor de substituição. Na avaliação da compressão e da flexão, a argamassa 0% obteve os menores valores, sendo os melhores desempenhos os traços 5% e 10%. Estes também foram os traços com menor absorção por capilaridade e, o 10%, também na permeabilidade ao vapor d'água. A argamassa com menor índice de retração foi o 5%, e a maior 20%. Os valores de aderência não foram estatisticamente modificados.

Continuação Tabela 4

Autor	Material	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Cabrera et al. (2015)	Argamassa de cimento (1:2) Cimento: CEM I 42.5N/RS (Espanha)	0%, 10%, 20%, 30%, 50% e 100%	Densidade e porosidade, resistência à compressão (3, 7, 28, 60 e 90) e flexão e retração.	A densidade aumentou conforme o aumento do teor de substituição, especialmente após os 10%, comportamento este inversamente proporcional à porosidade. Majoritariamente, as compressões para os traços com substituição foram inferiores ao traço referência, sendo que esta diferença diminui conforme avança a idade das argamassas. Quanto à flexão, observou-se uma redução de resistência conforme o aumento de resíduo, segundo os autores justificada pela alta porosidade e absorção do RCV. Quanto à retração, os níveis de deformação foram elevados nos traços 50% e 100%, e semelhantes à referência nos demais.
Cardoso e Forti (2015)	Argamassa de cimento (1:3) Cimento: CPII F 32 Resíduo: >1,18mm	0%, 10%, 30% e 50%	Resistencia à compressão (7, 28 e 63), absorção por capilaridade e por imersão (41 e 91).	A diferença de resistência da compressão entre os traços só foi superior aos 7 dias. Aos 63 dias os valores foram bastante semelhantes, sendo a substituição de 50% levemente superior as outras duas. Os ensaios de absorção por capilaridade indicaram que a absorção tende a diminuir com o tempo, reduzindo em 50% em 46 dias. Neste parâmetro o traço de 50% apresentou melhores resultados entre os de substituição, embora levemente superior ao traço referência. O mesmo comportamento ocorreu no ensaio de absorção por imersão.

Continuação Tabela 4

Autor	Material	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Dang et al. (2018)	Argamassa de cimento (1:3) Cimento: CPO 42.5 (China) Resíduo: >5mm	0%, 25%, 50% e 75%	Resistência à compressão e flexão, análises de microestrutura	A adição de 25% apresentou melhor desempenho quando a tração e flexão, embora com pouca diferença em relação ao traço 50%. A análise estrutural concluiu que o uso do RCV pode contribuir para o desempenho das argamassas pelo preenchimento de vazios deixados pela areia.

Fonte: Autora

A Tabela 4 mostra que, no caso das substituições no agregado, novamente, os altos teores de substituição não favorecem a aplicação do RCV. Embora em alguns casos teores de 50% tenham desempenhado positivamente quanto à resistência à compressão, em outros parâmetros mecânicos, como a tração na flexão. Analisando todos os dados, a substituição máxima de 30% é mais atrativa, considerando-se também o consumo de água causado pelo RCV em grandes quantidades. Embora o RCV na granulometria de agregado miúdo não tenha tendência em apresentar atividade pozolânica, foi recorrente que a resistência dos traços com resíduo apresentasse ganhos de resistência superiores ao traço referência após os 28 dias. O mesmo fenômeno pode ser identificado para a absorção, tendo os traços com RCV uma tendência a apresentar, inicialmente, maior absorção de água, mas de ao decorrer do tempo se equiparar com a argamassa convencional. Ademais, no que diz respeito a absorção de água, observa-se que o teor absorvente do RCV tende a afetar as argamassas, embora, em alguns casos, sua aplicação tenha causado redução na absorção de água, possivelmente por sua característica física possibilitar a redução de vazios através de melhor fechamento dos poros internos da argamassa.

Uma observação importante sobre o uso de resíduo como agregado miúdo foi feita no trabalho de Cabrera et al. (2013), concernindo o fato de que decréscimos de resistência em argamassas com RCV podem estar relacionados a sua alta absorvidade, que pode prejudicar a hidratação do cimento, nos levando a elencar a importância da atenção quanto ao fator água/cimento nestas argamassas.

Alguns trabalhos, como o de Awoyera et al. (2017), fizeram ambas as substituições aqui discutidas, realizando traços onde o agregado natural foi totalmente substituído pelo RCV, e também, o aglomerante parcialmente substituído pelo pó de RCV, em teores de 10%, 20% e 30%. Nesta situação, o traço com 10% de substituição no aglomerante e 100% no agregado, apresentou o melhor desempenho, mesmo que o traço referência, em todas as propriedades testadas, que foram: absorção de água, resistência à compressão e flexão. Entre os três traços com resíduo, observou-se um decréscimo de desempenho nas três propriedades, conforme o aumento do teor de resíduo utilizado, indicando novamente que o teor de 10% de substituição no aglomerante pode ser ideal.

4. MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo trata do método utilizado no desenvolvimento do programa experimental esquematizado para possibilitar a execução deste trabalho. Cabe ressaltar, no entanto, que este programa experimental foi elaborado com base na referência bibliográfica, que orientou também as demais etapas dos trabalhos, tais como análise dos resultados. O programa experimental, foi dividido em três etapas, sendo a primeira trata da coleta e beneficiamento do RCV utilizado no trabalho, e também de sua caracterização física e química, assim como dos demais materiais das argamassas. Na segunda etapa são definidos os traços e parâmetros das argamassas, e também realizados os ensaios. Já a terceira etapa trata da análise estatística que levará à discussão dos resultados. A Figura 4 ilustra as etapas.

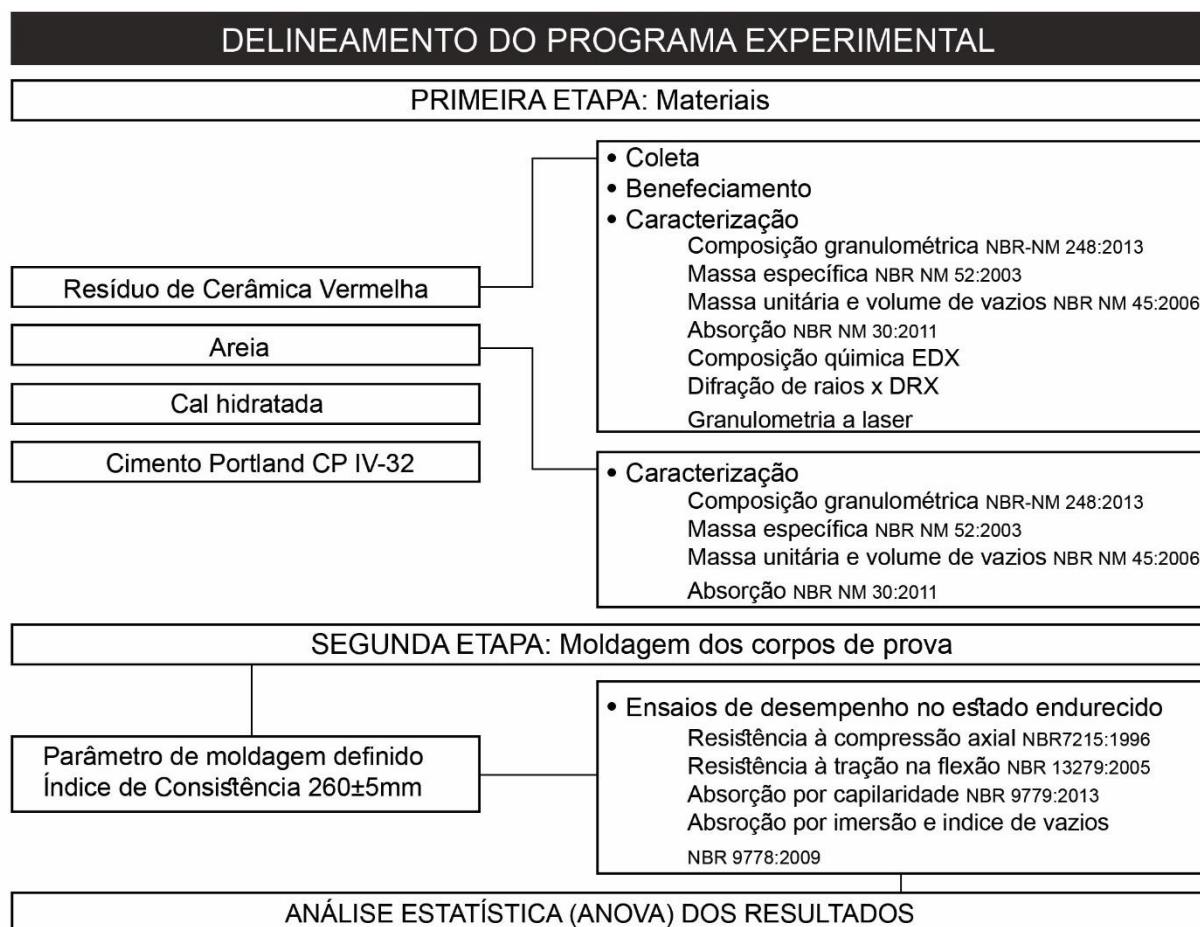


Figura 4: Delineamento da pesquisa

Fonte: Autora

4.1 Materiais

4.1.1 Resíduo de Cerâmica Vermelha

A coleta do resíduo na olaria foi feita em apenas um dia, selecionando peças cerâmicas inteiras que haviam sido descartadas por problemas na produção, e também fragmentos causados por falha no transporte. O resíduo estava descartado no pátio da empresa, a céu aberto, e tomou-se o cuidado de selecionar peças que estavam depositadas sobre paletes e alguns compartimentos como carrinhos de mão (Figura 5). Esta precaução foi tomada para evitar a utilização de peças que estivessem em contato direto com o solo e, portanto, poderiam ter absorvido grandes quantidades de matéria orgânica, a fim de evitar distorções nos resultados. Foi coletado em um mesmo dia uma quantidade de resíduos tal que fosse suficiente para completar o estudo com a mesma amostra.



Figura 5: Amostra da coleta de RCV

Fonte: Autora

A discrepância dimensional e a inaplicabilidade do resíduo em argamassas na forma em que é coletado fazem com que seja necessário um processo de beneficiamento. De acordo com Pinheiro (2008), o beneficiamento do RCV no moinho de bolas resulta em um material pulverulento, de granulometria bastante reduzida, que impossibilitaria sua utilização como agregado miúdo. Além disso, demandaria moagem prévia no britador de mandíbulas, aumentando o consumo energético. Por este motivo e a fim de reduzir o consumo energético do processo de beneficiamento, e diminuir a quantidade de material descartado, optou-se por realizar a moagem

apenas no britador de mandíbulas (Figura 6), utilizando o ajuste que resulta na menor granulometria possível neste equipamento



Figura 6: Beneficiamento em britador de mandíbulas

Fonte: Autora

4.1.1.1 Caracterização física

Após o beneficiamento, o resíduo passou por ensaios de caracterização para conhecimento de suas propriedades físicas e químicas. A granulometria do RCV foi definida através do ensaio descrito na NBR NM 248 (ABNT, 2003). Os dados completos das amostras ensaiadas encontram-se na Tabela 1 do apêndice A, e as curvas granulométricas resultantes, na Figura 7.

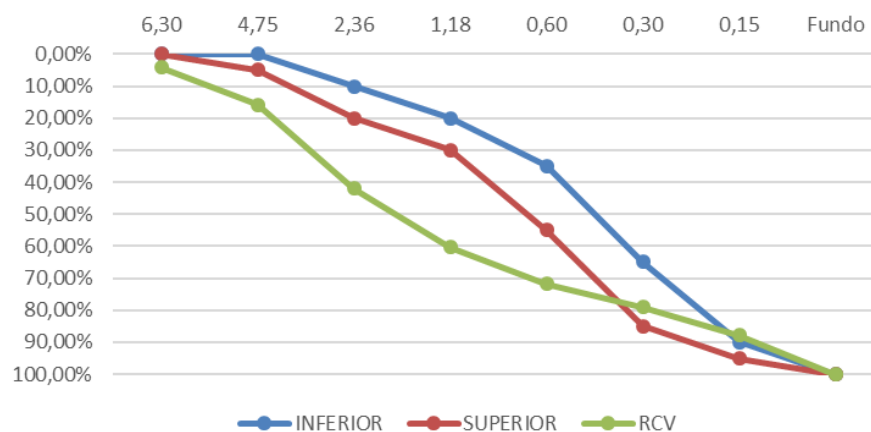


Figura 7: Curva granulométrica do RCV.

Fonte: Autora

Observa-se na Figura 7 que a curva granulométrica do RCV (representada e verde e na parte mais inferior da imagem) encontra-se em sua maior parte fora da zona considerada ótima para agregados miúdos, demarcada pelas linhas azul e vermelha. Com isso, é possível indicar que a quantidade de resíduo resultante do beneficiamento é maior que a quantidade considerada pela 'zona ótima' para agregados miúdos entre as peneiras 6,3 e 0,60.

Para fazer o RCV adequar-se ao padrão de curva recomendado para os agregados, seria necessário um segundo processo de beneficiamento, que teria por consequência um maior consumo energético, além de que, favoreceria a possibilidade de um aumento na quantidade de finos, dada a natureza do material. Por estes motivos, optou-se pelo uso do material neste estado granulométrico. Além disso, não é incomum que materiais britados e beneficiados apresentem curva granulométrica fora da indicada, como observado por Caraseck et al. (2018), que trabalharam com diferentes resíduos britados nessas condições granulométricas em argamassas.

Para uma compreensão mais precisa da granulometria do resíduo de cerâmica vermelha, foi feita também uma análise de granulometria a laser, de acordo com o exposto por Caraseck et al. (2018), que afirmam que em materiais britados é de extrema importância uma análise mais detalhada de suas partículas e comportamento granulométrico, ainda que seja necessário o ensaio de granulometria por peneiramento para a obtenção de uma curva que seja comparável com as curvas recomendadas para agregados. A análise foi feita através do granulômetro modelo CILAS 1064, do Laboratório de Nanotecnologia Novonano da Universidade Federal de Pelotas. O ensaio utilizou água para diluir a amostra e detergente como agente dispersor das partículas e o resultado está ilustrado no gráfico da Figura 8, sendo a curva cinza e preenchida do gráfico correspondente dos percentuais retidos, enquanto a linha vermelha representa os percentuais acumulados.

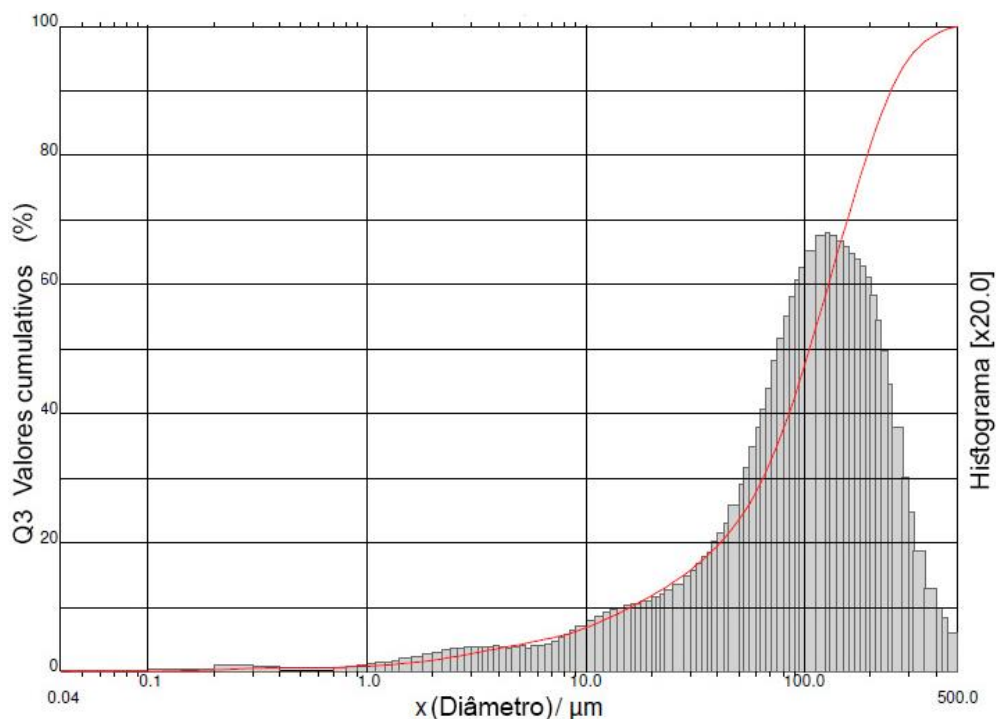


Figura 8: Granulometria a laser RCV.

Fonte: Autora

Com a granulometria a laser revelou-se que o diâmetro médio das partículas do RCV é de 122,92 μm . O D10 apresentado pelo resíduo foi de 15,94 μm indicando que 10% das partículas do material possuem diâmetro inferior a este. Ademais, 50% das partículas do RCV apresentam diâmetro inferior a 105,39 μm , o que é visível pelo pico formado na curva granulométrica apresentada na Figura 8. Outra importante observação que pode ser feita é que, na granulometria de 45 μm , o percentual acumulado encontrado pela granulometria a laser, descrito de forma completa no Apêndice A, foi de 21,48%. A NBR 12653 (ABNT 2014), nos requisitos físicos dos materiais pozolânicos, estabelece que a massa retida acumulada na peneira de 45 μm deve ser de no máximo 34% para que possa ser considerado pozolanicamente ativo. Sendo assim, embora este ensaio não seja o especificado pela NBR 12653 (ABNT 2014) para avaliar a porcentagem de massa retida na referida peneira, a análise granulométrica a laser pode ser um indicativo do seu comportamento, que correria por sugerir a atividade pozolânica do material.

Na Tabela 5 encontram-se os demais parâmetros físicos indicados para o RCV.

Tabela 5 -Características físicas do RCV

PARÂMETROS FÍSICOS	
Módulo de finura NBR NM 248 (ABNT, 2003)	3,57
Massa específica NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,44 g/cm ³
Massa unitária solta NBR NM 45 (ABNT, 2006)	0,31 g/cm ³
Índice de volume de vazios NBR NM 45 (ABNT, 2006)	85,6%
Absorção NBR NM 30 (ABNT, 2001)	10,26%

Fonte: autora.

4.1.1.2 Caracterização química

Considerando o exposto anteriormente, sobre as características mineralógicas das argilas e as reações químicas decorrentes do processo de queima das peças cerâmicas, é necessário tratar o RCV como possivelmente um material pozolânico. A NBR 12653 (ABNT, 2014), que define os materiais com atividade pozolânica, classifica as argilas como material pozolânico de classe N, desde de que atendam aos requisitos por ela estabelecidos. Sendo assim, o RCV foi analisado quanto a dois quesitos citados na NBR 12653 (ABNT, 2014), que são: a composição química do material, o Índice de Atividade Pozolânica (IAP) com cal e IAP com cimento. A composição química foi avaliada através de espectrometria de energia dispersiva de raio-x (EDX), enquanto os ensaios de IAP para cal e cimento foram feitos em laboratório, de acordo com NBR 5751 (ABNT, 1992) e NBR 5752 (ABNT, 2014), respectivamente. Os parâmetros mínimos que cada um destes itens deve atender para ser considerado um material pozolânico está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6–Exigências físicas e químicas para materiais pozolânicos de classe N

EXIGÊNCIAS QUÍMICAS – Materiais classe N	
Índice de Atividade Pozolânica com cimento aos 28 dias, em relação ao controle, % min.	75
Índice de Atividade Pozolânica com cal aos 7 dias, em MPa	6,0
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , % min.	70

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 2014), adaptado pela autora.

O ensaio do IAP com cimento foi feito de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014), ressaltando-se que não foi utilizado na confecção da argamassa o cimento CPII recomendado na norma, mas sim o CPIV, pela necessidade de avaliar o desempenho

do resíduo com o cimento que será posteriormente utilizado nos traços de argamassas testados. Os resultados apresentados pelas argamassas A e B – com e sem resíduo – estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado ensaio IAP com cimento (ABNT NBR 5752, 2014)

Resistência Argamassa A (MPa)	Resistência Argamassa B (MPa)	$I \left(\frac{f_{cb}}{f_{ca}} \times 100 \right) \%$
22,43	27,20	119,57
24,29	29,34	
23,78	28,57	
24,14	29,49	

Fonte: Autora.

Constata-se, então, comparando o resultado apresentado na Tabela 7 com os parâmetros mínimos exigidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014), que a amostra atendeu a condição de material pozolânico no ensaio de reação com o cimento. Já no ensaio de IAP com cal, os resultados, apresentados na Tabela 8, não alcançaram o valor mínimo de resistência de 6 MPa, para que o material possa ser considerado pozolânico.

Tabela 8 – Resultado ensaio IAP com cal (ABNT NBR 5751, 1992)

Resistência das argamassas (MPa)	Resistência Média (MPa)
0,46	0,35
0,36	
0,36	
0,31	
0,25	

Fonte: Autora.

Araújo (2017) considerou o RCV com atividade pozolânica após chegar a resultados positivos em ambos os ensaios. No entanto, nos trabalhos de Palhares (2016), Wada (2010) e Cachepa (2017) foram considerados apenas os resultados do IAP com cimento, sendo que os autores nem mesmo realizaram a avaliação do IAP com cal, justificando que visavam apenas a aplicação do material como componente das matrizes unicamente cimentíceas.

A análise da composição química foi feita no Laboratório de Nanotecnologia Novonano, na cidade de Pelotas (RS), e utilizou um espectrômetro de fluorescência

de raios x por dispersão de energia, modelo Shimadzu EDX-720. O resultado da composição química do RCV está apresentado na Tabela 8.

Tabela 9 - Composição química do RCV de acordo com EDX.

Elemento	Quantitativo (%)
SiO ₂	48,223
Al ₂ O ₃	24,044
Fe ₂ O ₃	13,147
K ₂ O	11,147
TiO ₂	1,553
CaO	0,713
ZrO ₂	0,114
MnO	0,088
V ₂ O ₅	0,087
ZnO	0,020
SrO	0,019
Y ₂ O ₃	0,011
CuO	0,010
Rb ₂ O	0,006

Fonte: Autora.

Neste ensaio são analisados os percentuais encontrados para os três óxidos que indicam a atividade pozolânica, que são: o óxido de sílica (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃) e óxido férrico (Fe₂O₃). Para os materiais de origem argilosa serem considerados pozolânicos, as somas dos percentuais destes materiais devem ultrapassar 70% de sua composição. No caso do RCV analisado neste trabalho a soma resultou em 85,81%.

Resgatando algumas informações apresentadas na Tabela 1 do capítulo anterior, observa-se que, os resíduos que foram classificados como material pozolânico por apresentarem resultados promissores em diversos parâmetros. Quanto a soma dos óxidos, algumas referências apresentaram teores superiores ao aqui obtido, ultrapassando os 90%, como o caso do RCV utilizado nos trabalhos de Cachepa (2017), Hansen (2016) e Cassol (2015). O teor encontrado para o RCV aqui avaliado, de 85,81%, se aproxima do teor de óxidos do RCV utilizado por Mas et al. (2015), que foi de 84,84%.

Mas et al. (2015) realizaram, além das composições químicas e dos ensaios de resistência à compressão, microanálises como a condutividade termogravimétrica e espectroscopia, através dos quais conseguiram concluir que a composição do RCV

é favorável para a reação com as substâncias oriundas da reação de hidratação do cimento Portland, favorecendo a atividade pozolânica. Além disso, as análises em diferentes idades possibilitaram a compreensão de que a reatividade do resíduo com estas partículas da hidratação do cimento é mais lenta, sendo detectada mais tardiamente, próximo aos 90 dias.

A composição morfológica do resíduo também pode ajudar a elucidar o comportamento do material quanto a presença ou não de atividade pozolânica. A análise de Difração de Raio X foi feita no Laboratório de Nanotecnologia Novonano. A análise foi feita utilizando a radiação Cu, com difração em todo de raio x em tensão acelerada 30.0kV e corrente de 30.0 mV. A varredura foi feita de forma contínua, com uma dispersão de onda de 2θ , em uma faixa de 5° a 90° , na velocidade de $2^\circ/\text{min}$. A Figura 9 ilustra o resultado obtido neste ensaio.

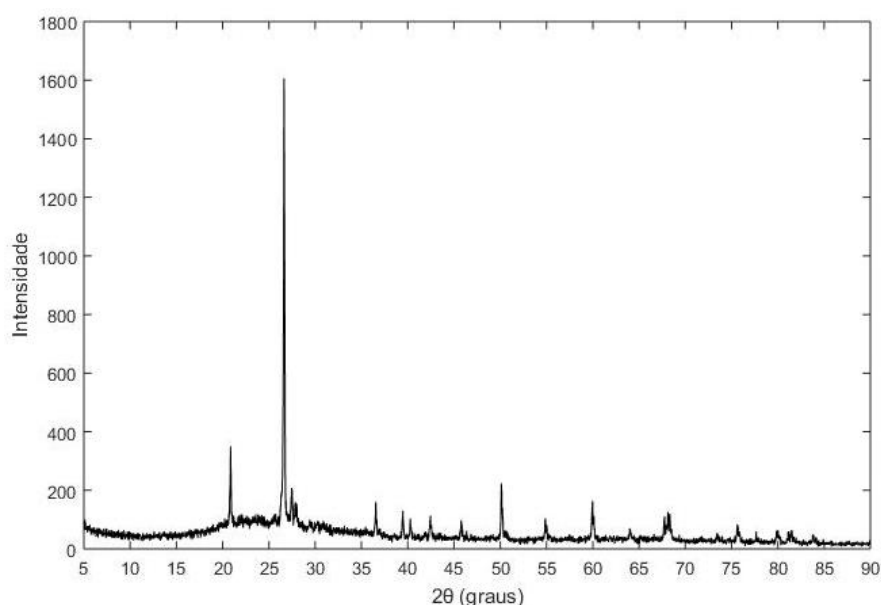


Figura 9: Difração de raio X.

Fonte: Autora

O mineral encontrado em maior quantidade na análise foi o quartzo (SiO_2), o que é condizente com a análise química EDX apresentada anteriormente, sendo os picos mais representativos, como o encontrado aos 20° , 26° e 50° . Este resultado indica um comportamento cristalino do material, característico da sílica. Este resultado é muito semelhante ao apresentado por Shao et al. (2019), que descreveu o material como com potencial para atividade pozolânica. Além da sílica foram identificados

também pontos de óxido de cálcio e titânio (perovskita), hidrato de silicato de cálcio e alumínio e Platina.

4.1.2 Areia

A areia utilizada neste trabalho foi média quartzosa lavada, comercialmente disponível na região. O agregado também passou por ensaios de caracterização, sendo representada na Figura 10 a curva granulométrica da areia, resultante do ensaio NBR NM 52 (ABNT, 2003).

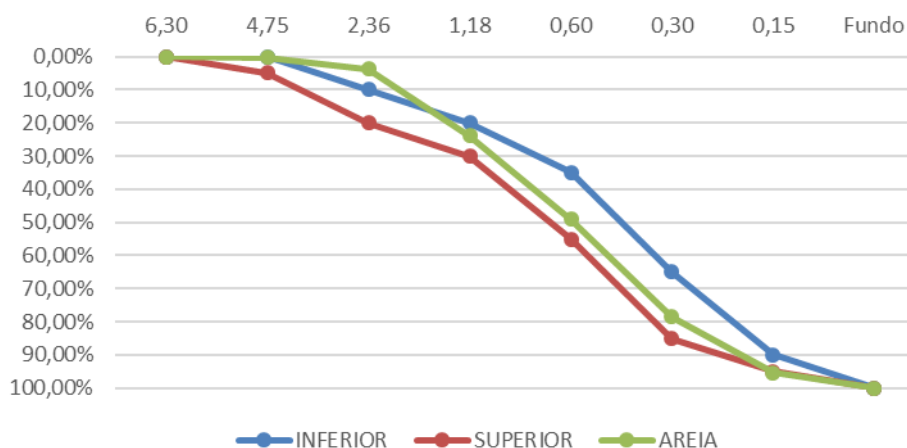


Figura 10: Curva granulométrica da areia.

Fonte: Autora

A curva resultante da análise granulométrica da areia se encontra, em sua maior parte, dentro da zona considerada ótima para o agregado miúdo, com exceção da quantidade de material grosso, retido na peneira 2,36mm, que é superior do indicado. No entanto, as frações estipuladas pela norma NBR 7214 (ABNT, 2014), utilizadas também neste trabalho, não considera frações de areia maiores que aquela retida na peneira 1,18mm.

A Tabela 10 apresenta os demais parâmetros obtidos para a areia.

Tabela 10 - Características físicas da areia.

PARAMETROS FÍSICOS DA AREIA	
Módulo de finura NBR NM 248 (ABNT, 2003)	2,81
Massa específica (g/cm ³) NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,62
Massa unitária solta (g/cm ³) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,62
Índice de volume de vazios (%) NBR NM 45 (ABNT, 2006)	33,97
Absorção (%) NBR NM 30 (ABNT, 2001)	0,66

Fonte: Autora.

4.1.3 Cimento Portland

O cimento escolhido para a execução das argamassas foi o CPIV-32. A definição se deu por diversos fatores, sendo um deles o fato de que este é notoriamente o cimento mais utilizado para argamassas na região deste estudo. Além disso, a utilização do cimento CPIV-32, também conhecido por cimento pozolânico, possui a maior quantidade de adição de material pozolânico, que pode variar entre 15% e 50% (ABNT NBR 5736, 1991). Outros cimentos comumente utilizados, como o CPV-ARI e CP II, sejam eles da classe Z (com material pozolânico) ou da classe F (com adição de fíler) são considerados mais puros por possuírem teores menores de substituição. Levando em consideração que a maior quantidade de adições implica em maiores interferências, a avaliação do resíduo com CPIV-32 implica na sua aplicação no que poderia ser considerado o pior cenário possível, uma vez que o desempenho dos demais cimentos tende a ser superior, e resultariam, portanto, em resultados superiores. Ademais, a utilização de cimentos com menos adições, como o cimento de alta resistência inicial CPV, em argamassas, que não são altamente solicitadas estruturalmente, significaria um custo desnecessário, e, portanto, sua avaliação neste contexto é inconsistente, é economicamente injustificável, levando em considerações que as solicitações mecânicas nas argamassas não demandam elevadas resistências e, conseqüentemente, não seria compatível com o realizado em canteiros de obra. Desta forma, a utilização do CPIV avalia uma situação viável do ponto de vista da real utilização das substituições.

As características físicas, mecânicas e químicas foram disponibilizadas pelo fabricante, e estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento.

Características	Tipo de ensaio		Resultados
Físicas e Mecânicas	Finura (%)	# 200	0,3
		# 325	1,3
	Blaine (cm ² /g)		4999
	Tempo de Pega (min)	Início de Pega	350
		Fim de Pega	445
	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	21,20
		7 dias	24,80
		28 dias	39,00
Químicas	Resíduo Insolúvel (%)		40,70
	Perda ao Fogo (%)		2,00
	SO ₃ (%)		2,00
	MgO (%)		4,90

Fonte: Fabricante InterCement - Votorantim, 2018.

4.1.4 Cal hidratada

Para a execução de argamassas com cal foi utilizada a cal hidratada, por ser amplamente utilizada na construção civil atualmente, graças a não necessidade de queima da cal e maior eficiência na utilização. As especificações químicas e físicas da cal estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Características físicas e químicas da cal hidráulica.

Resultado da análise		
Química	Análise (%)	
Óxidos Totais	60,00%	
Óxidos não hidratados	11,56%	
CaO – Óxido de Cálcio	30,04%	
MgO – Óxido de Magnésio	20,52%	
R I – Resíduos Insolúveis	39,44%	
P F – Perda ao Fogo	11,35%	
Umidade		
Densidade	558,62 g/l	
Física	Análise (%)	
	Límites	Análises
Peneira 0,6mm	≤ 0,5%	0,00%
Peneira 0,075mm	≤ 15%	12,92%

Fonte: Fabricante Dagoberto Barcellos S.A., 2018.

4.1.5 Água

A água de mistura utilizada nas argamassas foi proveniente da rede de abastecimento municipal (SANEP), diretamente do ponto de consumo.

4.2 Programa experimental

A fim de atingir os objetivos especificados para este trabalho, este programa experimental definiu os traços de argamassa e os teores de substituição a serem utilizados. As normas atualizadas sobre argamassas não fazem recomendações sobre traços para as mesmas, mas sim criam classificações de acordo com valores usuais de determinadas solicitações mecânicas. Estes critérios de resistência definidos pela NBR 13281 (ABNT, 2005) foram norteadores da definição do traço, juntamente com a busca por uma argamassa economicamente viável.

Para isto, tendo como referência os métodos adotados por Petry (2015), definiu-se pela realização de um pequeno estudo piloto, para testar traços de diferentes proporções e definir o que melhor atende os valores de resistência requeridos pela NBR 13281 (ABNT, 2005) para as argamassas, sendo a resistência à compressão o parâmetro classificatório para esta análise.

Para as argamassas de cimento, foi tomado como referência o traço sugerido pela NBR 7215 (ABNT 1996) de 1:3, que também é recomendado em bibliografias das técnicas construtivas, tais como Yazigi (2013) e Salgado (2014), tanto para argamassas de revestimento quanto para argamassas de assentamento. No entanto, como é possível observar nos resultados apresentados na Tabela 13, os valores de resistência à compressão apresentados pelo 1:3 foram altos e não compatíveis com aqueles descritos como referência na norma NBR 13281 (ABNT, 2005). Isto está atrelado ao fato do traço 1:3 ser bastante rico, ou seja, possui uma grande quantidade de cimento em proporção à areia. Desta forma, o resultado é um traço caro, por demandar grande quantidade de cimento, e de resistência mecânica desnecessária para argamassas de revestimento e assentamento. Por este motivo, foram avaliados também os 1:6 e 1:9, que foram definidos a partir da premissa de aumentar a quantidade de areia em intervalos iguais.

Tabela 13 – Matriz experimental das argamassas de cimento

Traço	Resistência (MPa)	Desvio Padrão	Média (MPa)
1:3	32,14	1,61	32,15
	34,28		
	31,78		
	30,40		
1:6	9,10	0,49	9,63
	9,84		
	10,20		
	9,36		
1:9	4,63	0,25	4,90
	5,01		
	5,19		
	4,77		

Fonte: Autora.

Os valores da norma NBR 13281 (ABNT, 2005) partem de 1,5 MPa, sendo a última classificação como valores acima de 8,0 MPa. A resistência à compressão apresentada pelo traço 1:6 possibilita sua classificação P6, de maior valor de resistência à compressão entre as listadas. Portanto, embora a média de resistência apresentada pelo traço 1:9 esteja dentro do intervalo indicado pela norma para resistência à compressão, o valor indica que dificilmente o traço alcançaria os requisitos de tração na flexão, que é de 1,5MPa. Definiu-se então o traço 1:6 para a utilização em argamassas de cimento, tendo em vista uma busca por uma argamassa de qualidade e com uma relação custo/benefício adequada.

Já quanto às argamassas mistas, foram avaliados apenas dois traços. Novamente foram observadas as recomendações quanto a revestimentos argamassados apresentadas por Yazigi (2013) e Salgado (2014), que recomendam, para argamassas de cal e cimento, a proporção de 1:2:8 (cimento:cal:areia). Este traço também é recomendado por diversos fabricantes da cal hidratada utilizada nas argamassas, como é o caso das recomendações da utilizada neste trabalho. Foi testado também o traço 1:2:9 que era recomendado pela NBR 7200 (ABNT, 1992), antes da sua revisão em 1998. Os resultados estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resistência à compressão dos traços teste de argamassa mista

Traço	Resistência(MPa)	Desvio Padrão	Média (MPa)
1:2:8	9,71	1,60	11,68
	11,11		
	12,66		
	13,26		
1:2:9	3,46	0,57	4,18
	3,97		
	4,58		
	4,69		

Fonte: Autora.

Considerando as mesmas justificativas anteriormente expostas quanto à busca por argamassas de qualidade e econômicas, optou-se pela utilização do traço 1:2:8 nas argamassas mistas de cimento e cal hidratada, novamente considerando a resistência mecânica mais apropriada.

Definidos os traços utilizados, foram feitas análises e considerações sobre as referências estudadas, a fim de definir os teores de substituição que seriam utilizados, considerando as substituições no aglomerante e agregado.

De acordo com os trabalhos de Farias et al. (2000) e de Cassol (2015), substituições de aglomerante pelo RCV são viáveis apenas nos teores de até 20%, pois teores de substituição maiores resultam em decréscimos significativos de resistência nas argamassas, tendo o trabalho de Rossi et al. (2017) já indicado leve queda de desempenho aos 20% de substituição no agregado. Além disso, o trabalho de Araújo (2017) constatou que a substituição em 10% resultou no melhor desempenho. Entretanto, as referências bibliográficas analisadas, e apresentadas anteriormente nas Tabelas 4 e 5, estudavam traços com teores de substituição que diferentes entre eles em pelo menos 10%. Com essas considerações, e tendo em mente que pequenas alterações nas quantidades de materiais podem representar significativas mudanças nas argamassas e buscando também, entender o efeito do RCV nas argamassas, definiu-se por teores de substituições mais próximos, diferindo em 5% a quantidade de resíduo de um traço para o outro. O primeiro teor definido foi o de 10%, por apresentar os melhores resultados nos trabalhos acima mencionados, e acrescentando então um teor inferior a este, de 5%, e um superior, de 15%.

Quanto à definição dos teores de substituição do agregado miúdo pelo resíduo, levou-se em consideração o trabalho de Silva et al. (2010), que concluiu que uma substituição de 20% de agregado pelo RCV pode levar a uma melhora de desempenho, mas que teores maiores que este podem afetar negativamente na argamassa.

No trabalho de Cabrera (2015), o traço com 20% de substituição apresentou um desempenho promissor quanto ao desempenho mecânico ao longo do tempo, enquanto os teores maiores apresentaram valores inferiores ao traço referência. Nesse mesmo trabalho o traço com 10% de substituição obteve um comportamento muito próximo ao da argamassa referência.

Dentre as problemáticas dos elevados teores de substituição no agregado estão, destaca-se o aumento da absorção de água apresentado pelas argamassas. Por este motivo, optou-se por trabalhar com um percentual máximo de 20%, e com os intervalos de 10% e 15%, resultando em três traços.

Definidas estas substituições, o programa experimental foi estruturado com 12 traços diferentes, sendo dividido em dois grupos, como indicado na Figura 11. Cada grupo contém um traço referência, e seis traços com RCV, tendo três substituições no aglomerante e três substituições no agregado.

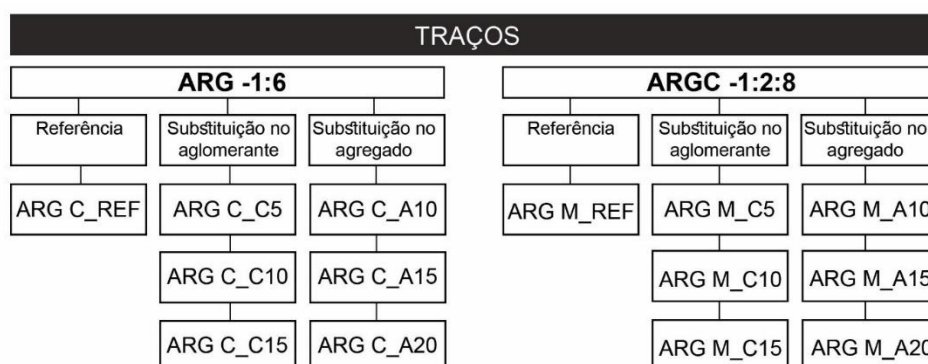


Figura 11: Traços executados no programa experimental

Fonte: Autora

A substituição no aglomerante foi feita considerando a substituição parcial do cimento em ambos os traços. Desta forma, nas argamassas mistas, em que a porção de aglomerante é composta pelo cimento e pela cal hidratada, houve substituição apenas na parcela de cimento, mantendo constante a quantidade de cal (Figura 12a-b). Para a substituição no agregado miúdo, tanto a areia, quanto o resíduo, foram

peneirados para que fossem separadas as frações definidas pela NBR 7214 (ABNT, 2014), que prevê quatro granulometrias de areia, retidas nas peneiras 0,15mm, 0,3mm, 0,6mm e 1,18mm. A substituição foi feita, de acordo com o teor, igualmente em cada uma dessas frações (Figura 12c). Em ambos os casos, as substituições foram feitas em massa.

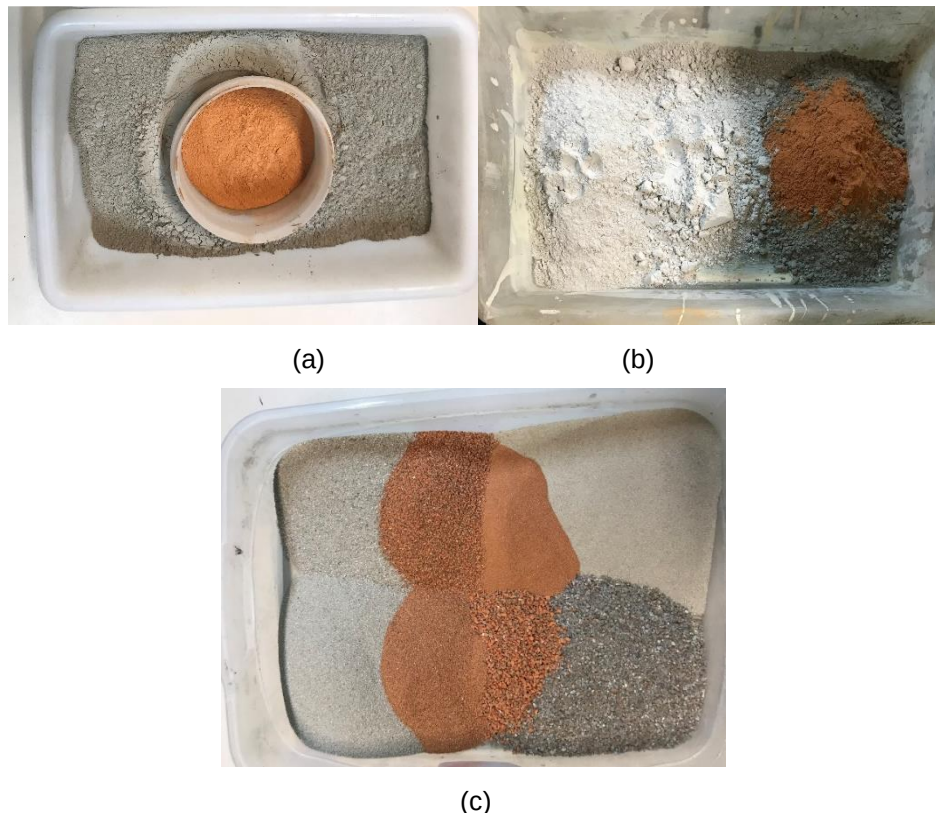


Figura 12: (a) Substituição do aglomerante no traço 1:6 (b) Substituição do aglomerante no traço 1:2:8 (c) Substituição do agregado.

Fonte: Autora

4.2.1 Moldagem dos corpos de prova de argamassa

Para a moldagem das argamassas, tanto o RCV como a areia foram secos em estufa para que fosse extinta toda umidade. Após a secagem, foram peneirados e separados nas 4 porções de agregado miúdo determinadas para a confecção das argamassas pela NBR 7214 (ABNT, 2105), sendo elas: grossa, retida na peneira 1,18mm; média-grossa, retida na peneira 0,6mm; média-fina, retida na peneira 0,3mm e fina, retida na peneira 0,15mm. Para o RCV, foi acrescentada a peneira 45µm, mesma utilizada para o ensaio de IAP, para selecionar o material utilizado na

substituição do aglomerante. Os materiais devidamente separados foram ensacados e estocados protegidos do contato com umidade, assim como a cal e o cimento.

O preparo da argamassa seguiu os procedimentos de execução prescritos na NBR 13276 (ABNT, 2005), utilizando argamassadeira de movimento planetário, modelo I-3010, com duas velocidades, lenta (140rpm) e alta (248 rpm), e capacidade de 5 litros.

Tendo em vista a impossibilidade física de moldar todos os corpos de prova necessários de uma só vez pela capacidade de mistura da argamassadeira, e buscando minimizar quaisquer diferenciações entre as argamassas, todos os traços foram executados partindo da mesma quantidade de material. Esta quantidade se baseou na massa de agregado miúdo definida pela NBR 7215 (ABNT, 1996), que é de 468 gramas para cada uma das quatro porções. A partir da massa de agregado, calculou-se a massa de aglomerante, que foi de 312 gramas de cimento para as argamassas de cimento do traço 1:6, e de 234 gramas de cimento e 468 gramas de cal para as argamassas mistas do traço 1:2:8. Como tanto as substituições do agregado, quanto do aglomerante, são feitas em função da massa, os traços com substituição apresentam o mesmo peso final de agregado miúdo e de aglomerante, variando a quantidade de resíduo presente em cada um, em função do teor de substituição. A partir disso, a sequência de execução partiu da lógica cronológica dos ensaios a serem realizados, buscando moldar no mesmo dia todos os corpos de prova de todos os traços de um grupo, necessários para um determinado ensaio.

Considerando o elevado índice de absorção apresentado pelo RCV em sua caracterização física, conclui-se que a atribuição de um mesmo fator água/cimento para todos os traços, com diferentes quantidades de resíduo, poderia levar a argamassas de características muito distintas, não apenas em função da quantidade de resíduo, mas da trabalhabilidade. Além disso, sabe-se que a adequada hidratação do cimento é responsável pelas reações de endurecimento da argamassa que definirão seu comportamento mecânico. Desta forma, nas argamassas com maior quantidade de resíduo, o RCV acabaria absorvendo uma quantidade da água amassamento e interferindo na relação água/cimento, dificultando a comparação com outras argamassas e a análise de um comportamento referente apenas ao resíduo. Por este motivo, optou-se por delimitar um índice de consistência padrão para todas as argamassas, inclusive as referências, variando o consumo de água de acordo com o necessário em cada traço para atender este parâmetro. O valor definido para o

índice de consistência foi de 260 ± 5 mm, seguindo a recomendação da NBR 13276 (ABNT, 2005).

O índice de consistência foi obtido de acordo com os procedimentos descritos na NBR 13276 (ABNT, 2005), sendo o valor final apresentado, a média das três medidas ortogonais da massa após os trinta golpes da mesa de consistência, representada na Figura 13.



Figura 13: Verificação do índice de consistência da argamassa

Fonte: Autora

Em casos em que o índice de consistência ultrapassou o valor estabelecido, a quantidade de material era aumentada em pequenos teores, mantendo a proporção do traço, até que atingisse o valor necessário. Foram executados tantos traços quanto necessários para atingir a quantidade de corpos de prova exigida de cada ensaio. A Tabela 15 apresenta a quantidade média de material consumida por cada traço, considerando todas as correções de índice de consistência necessárias ao longo do programa experimental.

Tabela 15 - Consumo médio de materiais por traço.

Traço	Cimento	Areia	Cal	RCV 45µmm	RCV	Água	água/aglom.	I.C.
1:6								
C_REF	312,0	1872,0	0,0	0,0	0,0	425,3	1,04	257,8
C_C5	299,6	1892,0	0,0	0,0	0,0	332,4	1,06	262,7
C_C10	284,2	1902,0	0,0	31,6	0,0	330,0	1,05	258,3
C_C15	268,9	1898,7	0,0	43,4	0,0	323,9	1,04	261,1
C_A10	312,0	1684,8	0,0	0,0	187,2	345,1	1,11	243,7
C_A15	317,2	1619,5	0,0	0,0	285,8	359,8	1,13	262,7
C_A20	312,0	1497,6	0,0	0,0	374,4	378,4	1,21	260,3
1:2:8								
M_REF	234,0	1872,0	468,0	0,0	0,0	425,3	0,61	257,8
M_C5	222,3	1872,0	468,0	11,7	0,0	422,4	0,60	258,8
M_C10	210,6	1872,0	468,0	24,7	0,0	430,2	0,61	258,2
M_C15	198,9	1872,0	468,0	37,1	0,0	430,9	0,61	260,7
M_A10	234,0	1684,8	468,0	0,0	187,2	454,0	0,65	257,0
M_A15	234,0	1591,2	468,0	0,0	280,8	468,1	0,67	259,1
M_A20	234,0	1497,6	468,0	0,0	374,4	469,6	0,67	259,3

Fonte: Autora.

Analisando os consumos médios das argamassas, mais uma vez fica evidente a influência da elevada absorção do RCV. Os traços com substituição no aglomerante, em ambos os grupos, mantiveram a relação água/cimento muito próxima a do traço referência. Já nos traços com substituição no agregado, o consumo de água aumentou conforme o aumento da quantidade de resíduo, tendo os traços C_A20 e M_A20 apresentado os maiores consumos de água. Esta diferença de comportamento entre os traços com substituição no aglomerante e no agregado possivelmente está relacionada com a granulometria do material utilizada em cada situação. Como o tamanho da partícula do RCV utilizado nos traços com substituição no agregado é maior, sua estrutura possibilita uma maior absorção de água, sendo necessária uma maior quantidade de água de amassamento para atingir o índice de consistência necessário. É importante destacar também que em todos os traços o RCV e a areia foram utilizados em estado seco, o que aumenta o fator água/cimento apresentado pelas argamassas, uma vez que os materiais absorvam uma parcela de água.

Após a execução e verificação dos traços de argamassa quanto ao índice de consistência, foi feita a moldagem dos corpos de prova, de acordo com as recomendações da NBR 7215 (ABNT, 1996). Para isto, foram utilizados moldes

metálicos cilíndricos, com as dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Foram moldados ao total 28 corpos prova cilíndricos para cada traço de argamassa, totalizando 392 corpos de prova, e três corpos de prova prismáticos para cada traço, totalizando 42.

As argamassas foram mantidas nos moldes por 24 horas, cobertos por placas de vidro, antes de serem desformadas. Após a desforma, os corpos de prova foram devidamente identificados e encaminhados para o processo de cura. Os corpos de prova referentes às argamassas 1:6, foram imersos em tanques, como o da Figura 14a permanecendo nele até atingirem as idades dos ensaios. Já a cura dos corpos de prova das argamassas mistas, no traço 1:2:8, foi feita por aeração, ficando expostas ao ar no ambiente de laboratório, dado o fato da cal ser um aglomerante de cura aérea, como é indicado por Navarini (2017), e ilustrado na Figura 14 b.



(a) (b)

Figura 14: Cura dos corpos de prova (a) Corpos de prova de argamassas de cimento em cura no tanque com solução de água e cal (b) Corpos de prova de argamassas mistas em cura ao ar.

Fonte: Autora

4.2.2 Parâmetros avaliados

Todas as argamassas passaram por testes de desempenho mecânico e físico, uma vez atingida a idade necessária para cada ensaio. As avaliações das propriedades mecânicas foram feitas através do ensaio de resistência à compressão axial e ensaio de resistência à tração na flexão. Já os parâmetros físicos ensaiados foram os relativos a absorção de água por capilaridade, absorção por imersão e índices de vazios.

4.2.2.1 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão axial das argamassas foi testada através do ensaio regulamentado pela NBR 7215 (ABNT, 1996). O ensaio foi realizado nas idades definidas 7, 28 e 63 dias. Além das duas primeiras idades, que são as recomendadas pela norma, optou-se por acrescentar a idade de 63 dias considerando que, de acordo com Medeiros et al. (2016), a reatividade da cerâmica vermelha tende a ser mais lenta que a do cimento, se manifestando depois de 60 dias.

Os corpos de prova foram submetidos à prensa mecânica, com uso de discos de neoprene para regularização da superfície e correta distribuição da carga aplicada, como é possível observar na Figura 15.



Figura 15: Corpo de prova na prensa mecânica sob ensaio de resistência à compressão axial com auxílio de regularizador de neoprene

Fonte: Autora

Foram rompidos seis corpos de prova em cada idade para cada traço de argamassa. O valor de resistência à compressão de cada traço é a média aritmética entre o valor em MPa dos seis corpos de prova ensaiados. Com o resultado obtido é possível classificar a argamassa de acordo com os requisitos definidos na NBR 13281 (ABNT, 2005), já apresentados na Tabela 2.

Cabe destacar, no entanto, que apesar da classificação, a norma não estipula usos para cada uma das classes, não havendo um valor mínimo de resistência à compressão axial normatizado para argamassas, embora não seja recomendada a utilização de argamassas da Classe 1.

4.2.2.2 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão das argamassas foi testada pelo ensaio descrito na norma NBR 13279 (ABNT, 2005), e utiliza corpos de prova prismáticos, com as dimensões de 4cmx4cmx16cm. A moldagem dos corpos de prova foi feita em formas de madeira que atendem as especificações da norma inicialmente citada. As formas foram preenchidas com argamassa em duas camadas, sendo que em cada uma delas foi feito o adensamento, fixando a forma na mesa de consistência e aplicando a ela 30 golpes consecutivos, como também é definido pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Para cada traço foram moldados três prismas de argamassa. Após moldados, eles permaneceram no molde por 24 horas, sendo então desformados e permanecendo em processo de cura ao ar, em temperatura ambiente, conforme recomenda a norma regulamentadora (Figura 16).



Figura 16: Corpos de prova para ensaio de tração na flexão após desmolde

Fonte: Autora

Passados 28 dias da moldagem, iniciou-se a etapa de rompimento. Para esta etapa, nos prismas devem ser previamente marcados os três pontos em que receberão os apoios e a aplicação da carga, sendo eles: um ponto superior posicionado exatamente no ponto mediano do prisma e dois pontos inferiores afastados em 3,5cm de cada extremidade do prisma (Figura 17).



Figura 17: Rompimento do prismas de argamassa quanto a tração na flexão

Fonte: Autora

4.2.2.3 Absorção por capilaridade

A absorção por capilaridade é um dos parâmetros físicos de grande importância para as argamassas de revestimento, por avaliar seu comportamento em contato com a água. A alta absorção de água pode ser prejudicial às argamassas, levando ao surgimento de manifestações patológicas. Esta propriedade é aferida pelo ensaio normatizado pela NBR 9779 (ABNT, 2013).

Este ensaio utilizou cinco corpos de prova de cada traço de argamassa, na idade de 28 dias, em estado seco, colocado em contato com uma camada constante (Figura 18a), também definida pela NBR 9779 (ABNT, 2013), e lá mantidos, com o objetivo de avaliar quanto de água é absorvida por eles nos intervalos de tempo estabelecidos (Figura18b).

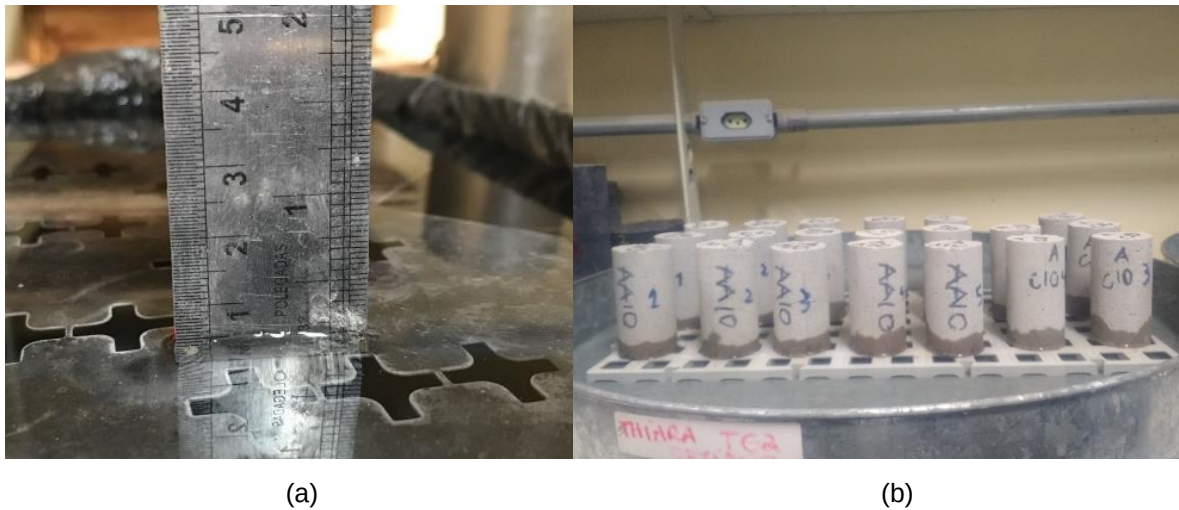


Figura 18: Ensaio de absorção por capilaridade (a) camada de água de $5 (\pm 1)$ mm (b) corpos de prova em contato com a água para absorção.

Fonte: Autora

A absorção dos corpos de prova foi aferida nos intervalos definidos pela NBR 9779 (ABNT, 2013), sendo o primeiro após três horas de contato com a água, e depois seis horas, 24 horas, 48 horas e 72 horas. Em cada um desses intervalos foi aferida a massa saturada dos corpos de prova em balança de precisão. O resultado para a absorção capilar é indicado em g/cm^3 , e é obtido através da relação da massa de água absorvida pela área da seção transversal do corpo de prova.

Além do resultado numérico, ao final do ensaio os corpos de prova são rompidos diametralmente, para que se possa avaliar visualmente a absorção de água no interior da argamassa (Figura 19).



Figura 19: Corpo de prova rompido diametralmente após a absorção por capilaridade.

Fonte: Autora

4.2.2.4 Absorção por imersão e índice de vazios

A absorção por imersão e o índice de vazios são propriedades obtidas através dos procedimentos descritos na NBR 9778 (ABNT, 2009), que incluem a saturação dos corpos de prova, ilustrado na Figura 20a, e posterior fervura (Figura 20b). Este ensaio utilizou cinco corpos de prova de cada traço de argamassa, na idade de 28 dias. Os resultados de absorção por imersão e índices de vazios também foram calculados de acordo com a norma regente, e levam em consideração a média destes cinco corpos de prova ensaiados para cada traço, e são indicados em porcentagem.

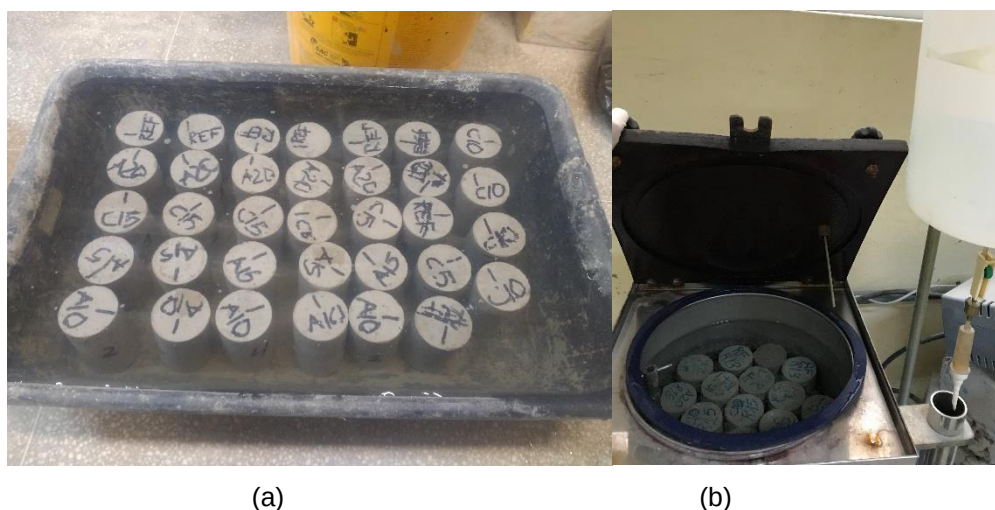


Figura 20: Ensaio de absorção por imersão. (a) etapa de saturação (b) etapa de ebulição

Fonte: Autora

4.2.3 Análise de resultados

A análise dos resultados foi feita após serem concluídos todos os ensaios de estado endurecido em todas as idades estipuladas. A análise estatística aplicada nos resultados foi a análise de variância de duas vias (ANOVA), aplicada com sucesso nos trabalhos de Navarini (2017) e Padilha (2017), sendo que este segundo utilizou também o teste Tukey para comparações múltiplas das médias, que também foi aplicado neste trabalho.

O teste ANOVA objetiva identificar a diferença significativa entre as médias dos resultados, e se os fatores analisados influenciam de alguma forma nas variáveis dependentes. Sendo assim, a principal aplicação deste teste é justamente a comparação de médias dentro de grupos, uma vez que é capaz de identificar a

influência de cada variável (TORRES, 2011), por este motivo, sua aplicação neste trabalho é bastante apropriada. Além do teste ANOVA, foi realizado também um Teste F – distribuição de Fischer, para que seja avaliada a significância estatística da variação de média entre os grupos, sendo considerada a hipótese de nulidade para a análise, de que as médias são todas iguais. A análise de variância é completada pela comparação múltipla de médias através do teste de Tukey, que tem como objetivo identificar quais os pares de média são diferentes entre si.

Nesta análise de resultados, foram consideradas como variáveis independentes os traços: C_REF, C_C5, C_C10, C_C15, C_A10, C_A15, C_A20, M_REF, M_C5, M_C10, M_C15, M_A10, M_A15 e M_A20. Já as variáveis dependentes foram os resultados dos ensaios de compressão axial, tração na flexão, absorção por capilaridade e absorção por imersão de cada um destes traços. Para a resistência à compressão, foram consideradas como variáveis independentes o teor de substituição e a idade. Na absorção por imersão e capilaridade foi considerado como variável independente o teor de substituição.

Além das variáveis dependentes e independentes, a execução da análise estatística utiliza-se de outros parâmetros, como o de probabilidade (p-value) e o nível de significância (α). O p-value inferior a 0,05, atribuído de acordo com a distribuição t de Student define que as relações entre as variáveis definidas possuem uma significância estatística em um nível de confiança de 95%. Já para o nível de significância " α " será atribuído um valor de 5%, o que significa que os resultados obtidos apresentam um nível de confiança de 95%. Este valor foi utilizado por ser, de acordo com Torres (2011), apropriado para aplicação em trabalhos da área tecnológica. De acordo com a autora, o uso do valor significa que ao se calcular o valor crítico de algum parâmetro, como no caso a média, a probabilidade do valor estatístico calculado exceder o valor crítico, é de 5%, considerando-se para isto a verdade da hipótese nula. Caso o valor estatístico calculado exceda o valor crítico, considera-se que este valor é "significante ao nível de 5%".

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho. Para melhor compreensão, os resultados do grupo de argamassas 1:6 serão apresentados separadamente do grupo 1:2:8, uma vez que o uso de diferentes aglomerantes faz com que seus comportamentos não sejam comparáveis. Os resultados serão apresentados, dentro destes grupos, pelo ensaio realizado, e também compilando as informações de cada traço. O quadro 1 apresenta os grupos e seus respectivos traços e substituições, com as nomenclaturas que serão utilizadas ao longo do capítulo.

Quadro 1 – Grupos e traços com suas substituições

GRUPO 1:6		GRUPO 1:2:8	
Traços	Descrição	Traços	Descrição
C_REF	Argamassa Referência	M_REF	Argamassa Referência
C_C5	Substituição 5% no aglomerante	M_C5	Substituição 5% no cimento
C_C10	Substituição 10% no aglomerante	M_C10	Substituição 10% no cimento
C_C15	Substituição 15% no aglomerante	M_C15	Substituição 15% no cimento
C_A10	Substituição 10% no agregado	M_A10	Substituição 10% no agregado
C_A15	Substituição 15% no agregado	M_A15	Substituição 15% no agregado
C_A20	Substituição 20% no agregado	M_A20	Substituição 20% no agregado

Fonte: Autora

5.1 Parâmetros avaliados –Argamassas de cimento 1:6

5.1.1 Compressão axial

A Figura 21 apresenta os resultados obtidos quanto à resistência à compressão axial, para todos os traços de argamassa de cimento com incorporação de RCV, nas três idades testadas. Juntamente com estes traços, consta o resultado do traço C_REF, que é o traço 1:6 de cimento, sem nenhuma incorporação de resíduo, que foi utilizado como comparativo de argamassa convencional com as

argamassas com RCV. Em uma primeira análise já é possível observar que quanto ao desempenho mecânico de compressão, as argamassas com substituição no aglomerante apresentaram valores de resistência melhores do que aquelas com substituição no agregado.

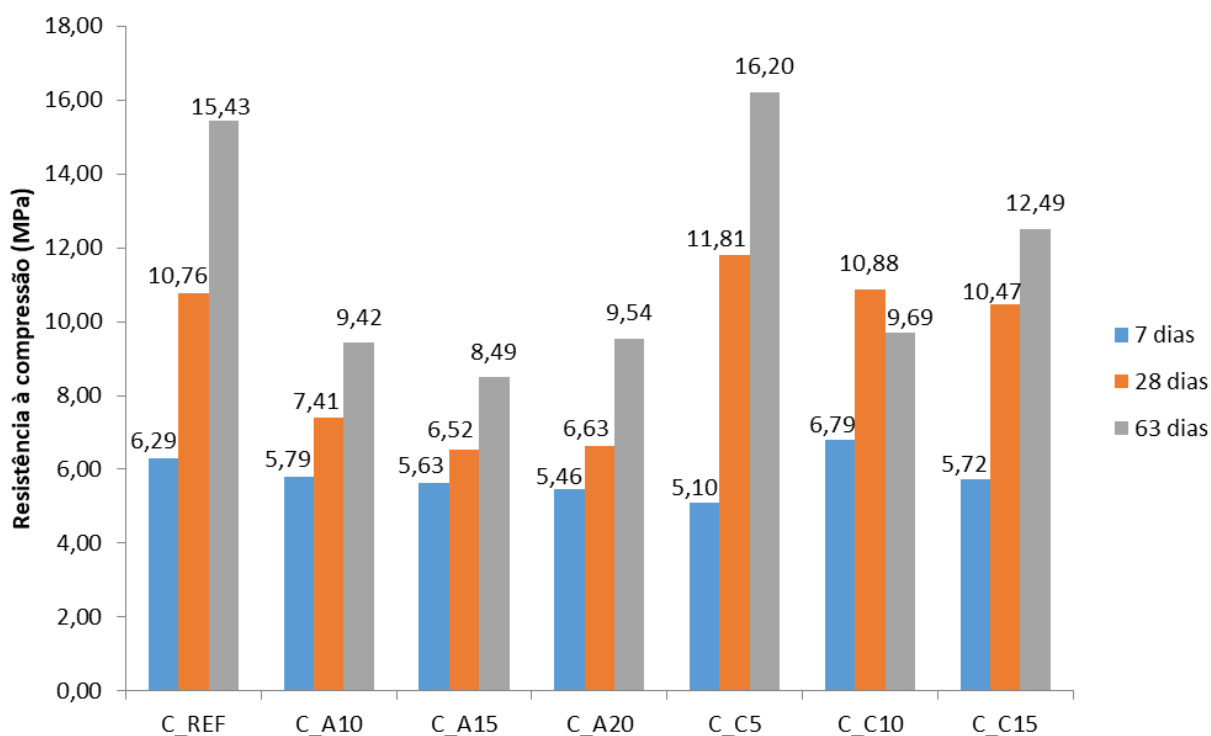


Figura 21: Resistência à compressão axial das argamassas 1:6

Fonte: Autora

A Tabela 16 apresenta os dados de compressão presentes na Figura 21, juntamente com o desvio padrão dos resultados e os ganhos de resistência apresentados em cada idade, para uma melhor compreensão dos comportamentos. Entre os dados apresentados nesta Tabela, é necessário destacar que os desvios padrão apresentados por todos os traços com RCV foram muito inferiores ao desvio padrão apresentado pelo traço C_REF. Isto indica que os traços com RCV apresentaram uma menor variabilidade nas médias e, portanto, um comportamento mais homogêneo das argamassas. Aos 28 dias, por exemplo, o desvio padrão das médias do C_REF foi o dobro do desvio padrão para as médias do traço C_A20, e cinco vezes maior que o traço C_C15, tendo este último apresentado o comportamento menos variado entre todos os traços nesta idade.

Tabela 16–Resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias com ganhos de resistência e desvio padrão dos resultados – argamassas 1:6

Traço	7 dias		28 dias		Ganho de resistência (%)	63 dias		Ganho de resistência (%)
	Resist. (MPa)	Des. P. (MPa)	Resist. (MPa)	Des. P. (MPa)		Resist. (MPa)	Des. P. (MPa)	
C_REF	6,29	0,57	10,76	1,19	71,83	15,43	1,73	43,72
C_A10	5,79	0,33	7,41	0,74	29,37	9,42	0,77	29,71
C_A15	5,63	0,49	6,52	0,58	18,30	8,49	0,38	31,07
C_A20	5,46	0,51	6,63	0,55	22,41	9,54	0,43	44,44
C_C5	5,10	0,36	11,81	1,02	132,46	16,20	0,93	37,83
C_C10	6,79	0,69	10,88	0,84	62,04	9,69	0,68	-10,50
C_C15	5,72	0,32	10,47	0,22	83,47	12,49	0,76	19,31

Fonte: Autora

Ainda para as substituições no agregado, é notável também, que o ganho de resistência aos 28 dias dos três traços da tipologia de substituição foram os que apresentaram os menores no grupo. Além disso, aos 63 dias, os três traços foram os únicos que apresentaram ganhos de resistência superiores em relação aos 28 dias, tendo o traço C_A20 ganho de resistência maior que o traço C_REF neste mesmo período.

Levando em consideração as conclusões de Souza (2011) e Caraseck et al. (2018), sobre como a porosidade dos materiais agregados interfere no comportamento das argamassas é possível relacionar este comportamento inferior quanto à compressão dos traços com substituição no agregado, a uma possível menor resistência à compressão do RCV em comparação com a areia. Fato este que pode ser identificado por sua massa unitária inferior à da areia. Desta forma, quando submetidas à compressão, estas argamassas apresentaram menor resistência. Observa-se inclusive que, aos sete dias, os comportamentos das argamassas foram mais similares entre as substituições e os teores utilizados. Já aos 28 dias, idade em que o processo de hidratação do aglomerante já corresponde a resistência atribuída ao material cimentício, as reais diferenças de comportamento entre as substituições são mais claras, e já é possível constatar uma resistência à compressão inferior para os traços com substituição no agregado.

No entanto, o fato de, aos 63 dias, o ganho de resistência do traço C_A20, com RCV em substituição ao agregado, ter apresentado um ganho de resistência

superior aos demais traços, inclusive que o traço C_REF, indica que o resíduo pode colaborar com uma reação tardia com o cimento que favoreça o desempenho mecânico. Este fenômeno também foi identificado no trabalho de Jimenez et al. (2013), embora os valores encontrados pelos autores tenham sido inferiores aos deste trabalho. Os autores do trabalho em comparação apontam uma possível reatividade pozolânica do RCV, mesmo nesta granulometria, com o aglomerante. Além disso, os autores atribuíram o melhor desempenho das argamassas com RCV a quantidade de finos presentes nos traços, especialmente com 10% de substituição. Jimenez et al. (2013) aplicaram análise estatística nos resultados e identificaram efetiva melhoria de desempenho nos traços com 5% e 10% de substituição.

Outro fator característico das argamassas que utilizaram RCV como substituinte parcial ao agregado foi o aumento do fator água/cimento, que se fez necessário para garantir a trabalhabilidade requerida às argamassas. O excesso de água pode interferir na reação de hidratação do cimento, e afetar negativamente no comportamento mecânico das argamassas, como foi explicado por Souza (2011) em seu trabalho. Alta relação água/cimento está comumente atrelado com quedas de desempenho mecânico e, portanto, pode ter sido um dos fatores que exerceram influência no desempenho inferior dos traços C_A10, C_A15 e C_A20, sendo que esta influência pode ser ainda mais significativa que as características físicas do RCV. O fato de que as argamassas com substituição no aglomerante apresentaram valores de resistência à compressão e também fatores água/cimento similares ao traço C_REF, enquanto os traços com substituição no agregado apresentaram maior fator água/cimento e menor resistência à compressão ao mesmo traço referência, corroboram com a conclusão de este foi um dos fatores de maior influência sobre o desempenho mecânico dos traços.

Não se pode descartar, no entanto, que tenha relação com uma hidratação mais lenta do cimento, problema já apontado por Cabrera et al. (2015). É necessário destacar que o RCV é utilizado na argamassa em estado seco, e que, portanto, pode absorver água no momento da mistura da argamassa, interferindo na hidratação inicial, mas também liberando água posteriormente, e retardando as reações de pega. No entanto, os autores Cabrera et al. (2015) obtiveram melhores resultados, especialmente para o teor de 10% de substituição, que ultrapassou o traço referência, mas também para o traço com 20% de substituição.

Já as substituições no aglomerante apresentaram desde as idades iniciais comportamentos muito similares, e até superiores ao traço referência. O traço C_C5 se destacou neste grupo por apresentar os maiores valores de resistência à compressão aos 28 e aos 63 dias. Mesmo tendo o menor valor de resistência entre todos os traços aos 7 dias, a argamassa com 5% de pó de RCV obteve um alto ganho de resistência, fazendo com que ultrapassasse todos os demais traços, e permanecendo assim até os 63 dias.

Já o traço C_C10 obteve uma resistência inicial, aos sete dias, superior aos demais traços, inclusive o C_REF. Entretanto, ao decorrer do tempo o traço não manteve o desempenho, tendo o menor ganho de resistência entre os traços com substituição no aglomerante aos 28 dias, e recuando completamente aos 63 dias, tendo, em fato, apresentado queda de resistência em relação aos 28 dias. Este fenômeno incomum não foi identificado nas referências para nenhum traço com pó de RCV como substituinte parcial ao cimento, mas foi identificado também no trabalho de Forti e Cardoso (2015) para o traço referência de argamassa de cimento, embora não tenha sido discutido. É possível que a reação pozolânica de cura tenha sido acelerada inicialmente e não realizada completamente, embora não fique claro o motivo. Este resultado difere dos resultados encontrados por Shao et al. (2019) e Oliveira et al. (2016), que obtiveram resultados promissores para a substituição de 10%, em comparação ao traço referência, embora tenham utilizado traços e tipos de cimentos diferentes dos que os utilizados neste trabalho, e por isso os valores de resistência tenham sido maiores. Com isto, é necessário considerar também a possibilidade de que tenha ocorrido alguma diferença ou erro no processo de moldagem dos corpos de prova deste traço nesta idade.

O traço C_C15 no entanto, obteve o comportamento esperado, com ganhos de resistência esperados em ambas as idades, eliminando a hipótese de que a perda de resistência aos 63 dias do traço C_C10 tenha sido causada por excesso de substituição no traço. Este teor de substituição não foi testado por nenhuma referência analisada, impossibilitando a comparação.

Para compreender o real efeito do RCV nos traços, foi feita a análise estatística Anova nas médias, a fim de verificar a real diferença entre elas. Os resultados para a resistência à compressão deste grupo estão apresentados na Tabela 17. Para esta análise é considerado o nível de significância $\alpha=0,05$, ou seja, para as variáveis com resultado de P inferior a este valor, a hipótese de igualdades

entre as médias é descartada, sendo possível concluir que há diferença estatística entre os resultados.

Tabela 17–Análise Anova dos resultados de resistência à compressão – argamassa 1:6

Substituição no agregado		
Fonte	G.L.	P -valor
Teor de Substituição	3	4,10229E⁻²³
Idade	2	2,14471E⁻²⁹
Teor de Substituição x Idade	6	1,82515E⁻¹²
Resíduos	60	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	1,53043E⁻⁰⁹
Idade	2	1,846E⁻³⁶
Teor de Substituição x Idade	6	8,10747E⁻¹⁵
Resíduos	60	

Fonte: Autora

Foram consideradas as variáveis teor de substituição, idade dos resultados de resistência à compressão e também a interação entre teor de substituição x idade, tendo todas elas resultados em valores que indicam diferença estatística entre as médias. Em especial, a diferença estatística encontrada para a interação teor de substituição x idade ajuda a identificar a ação do resíduo como material pozolânico, sendo comprovado que sua presença nas argamassas interfere na resistência ao decorrer do tempo.

A identificação desta diferença estatística fez necessária a aplicação do teste de Tukey, para a melhor compreensão de onde a diferença ocorreu. Este teste avaliou a interação de todas as substituições com o traço referência, uma vez que serve como parâmetro para o comportamento das argamassas, e também a interação entre as substituições. Na Tabela 18 estão apresentadas as análises por Tukey para todas as interações, nas três idades estudadas.

Tabela 18—Análise Anova dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias – argamassa 1:6

Traços	P -valor
Substituição no agregado	
C_REF – C_A10	0,178797731
C_REF – C_A15	0,05959088
C_REF – C_A20	0,033648185
C_A15 – C_A10	0,935257081
C_A20- C_A10	0,823591116
C_A20 – C_A15	0,992307554
Substituição no aglomerante	
C_REF – C_C5	0,002903748
C_REF – C_C10	0,345125818
C_REF – C_C15	0,230525906
C_C10 – C_C5	6,12911E⁻⁰⁵
C_C15- C_C5	0,180302478
C_C15 – C_C10	0,007386175

Fonte: Autora

Os valores excluídos da hipótese de igualdade estão destacados em vermelhos na Tabela 18. Para as substituições no agregado aos sete dias, apenas o traço C_A20 é estatisticamente diferente em relação traço C_REF. Da mesma forma, o traço C_C5, das substituições no aglomerante, que apresentou o menor entre todos os valores de resistência da idade, foi o único deste grupo que diferiu do traço referência.

A Tabela 19 apresenta os resultados do teste Tukey para os traços aos 28 dias. Nesta análise já é possível observar a reação do resíduo ao longo do tempo, pelo fato da interação dos traços com RCV com o traço C_REF ter sido completamente alterada neste período. Neste momento, todos os traços com substituição no agregado se mostraram diferentes do traço C_REF, embora sejam iguais entre eles. Esta conclusão corrobora com a leitura inicial de desempenho inferior dos traços com RCV como agregado quando submetidos à compressão.

Tabela 19—Análise Anova dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias – argamassas 1:6

Traços	P -valor
Substituição no agregado	
C_REF – C_A10	2,33012E⁻⁰⁶
C_REF – C_A15	8,30592E⁻⁰⁸
C_REF – C_A20	1,23835E⁻⁰⁷
C_A15 – C_A10	0,320396477
C_A20- C_A10	0,434453732
C_A20 – C_A15	0,995987402
Substituição no aglomerante	
C_REF – C_C5	0,676044741
C_REF – C_C10	0,943511174
C_REF – C_C15	0,582895066
C_C10 – C_C5	0,356257306
C_C15 - C_C5	0,106544282
C_C15 – C_C10	0,885003289

Fonte: Autora

Em contraponto, todos os traços com substituição no aglomerante aos 28 dias corresponderam a hipótese de igualdade entre as médias. Levando em consideração que esta idade é referência para a identificação das propriedades das argamassas, inclusive na NBR 13281 (ABNT, 2005), isso indicaria a possibilidade de uma substituição de até 15% do cimento pelo RCV sem alteração no comportamento em relação ao traço referência. No entanto, o efeito do resíduo no teor de substituição através da idade novamente alterou este comportamento, como é possível observar na Tabela 20, que apresenta os resultados do Teste de Tukey para os 63 dias.

Tabela 20—Análise Anova dos resultados de resistência à compressão aos 63 dias – argamassas 1:6

Traços	P -valor
Substituição no agregado	
C_REF – C_A10	8,02178E⁻⁰⁹
C_REF – C_A15	6,56738E⁻¹⁰
C_REF – C_A20	1,13167E⁻⁰⁸
C_A15 – C_A10	0,388246411
C_A20- C_A10	0,996589293
C_A20 – C_A15	0,287026928
Substituição no aglomerante	
C_REF – C_C5	0,633130092
C_REF – C_C10	1,07018E⁻⁰⁷
C_REF – C_C15	0,000944561
C_C10 – C_C5	1,34398E⁻⁰⁸
C_C15 - C_C5	6,34546E⁻⁰⁵
C_C15 – C_C10	0,001487906

Fonte: Autora

Aos 63 dias o único traço que não apresentou diferença de média em relação ao traço referência foi o C_C5. Todos os demais apresentaram valores de média estatisticamente inferiores ao traço referência, indicando que mesmo que o RCV possa ter proporcionado ganhos de resistência muito próximos ao traço C_REF, como no caso do traço C_A20, o resíduo ainda causou uma queda de resistência em todos os traços, com exceção do C_C5. É importante ressaltar, no entanto, que todas as resistências obtidas para os traços com RCV estão dentro dos valores classificados pela NBR 13281 (ABNT, 2005), em todas as três idades.

As referências bibliográficas analisadas carecem de análises estatísticas que possibilitem uma comparação completa dos comportamentos. Ademais, não são encontrados trabalhos com substituições no aglomerante nos teores de C_C5 e C_C15. Os resultados aqui apresentados podem contrapor as conclusões de Shao et al. (2019) e Oliveira et al. (2016) que concluíram que o teor de 10% de substituição no aglomerante apresenta melhor desempenho, uma vez que o traço C_C5, não avaliado anteriormente, se aproximou mais do traço C_REF. No entanto é necessário destacar que os valores apresentados pelas resistências citados são superiores ao deste trabalho por utilizarem diferentes cimentos, e também traço com uma menor relação de cimento/agregado, embora os valores de resistência ultrapassem os 40 MPa, e portanto, apresentem uma resistência não justificável para a aplicação em argamassas. No entanto, em comparação com traço referência dos trabalhos, Shao et al. (2019) obteve melhor comportamento do RCV nas argamassas.

5.1.2 Tração na flexão

Os resultados apresentados na Figura 22 são referentes ao ensaio de resistência à tração na flexão para os traços de argamassa de cimento 1:6, que foi realizado na idade de 28 dias.

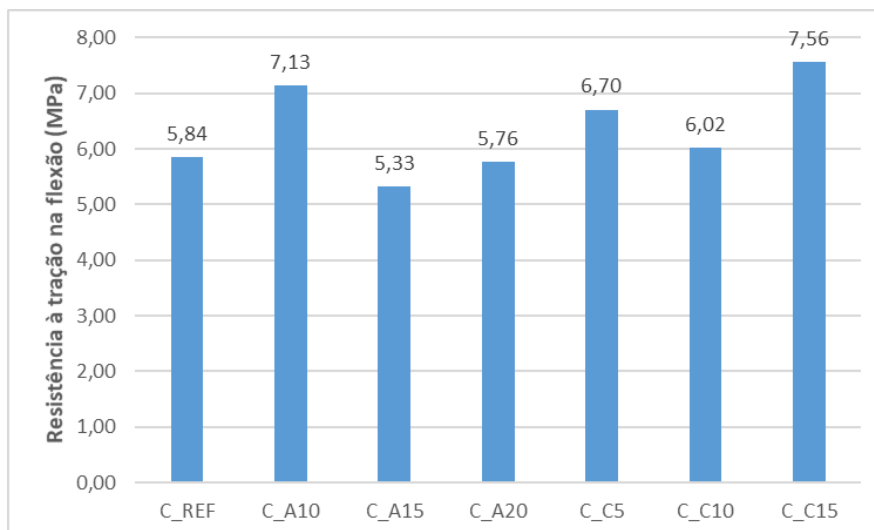


Figura 22: Resistência à tração na flexão – argamassas 1:6

Fonte: Autora

Os valores de resistência obtidos nos traços com RCV foram bastante positivos, sendo que apenas os traços C_A15 e C_A20 apresentaram valores 7,2% e 1,6% inferiores, respectivamente, ao traço referência, embora não tenham sido encontradas referências que realizaram este ensaio para traços com substituição no aglomerante. Ainda assim, observando os resultados da análise estatística Anova para os traços deste grupo quanto a resistência à tração na flexão, apresentados na Tabela 21, é possível afirmar que esta diferença não é relevante estatisticamente, sendo aplicada a hipótese de médias iguais. Os valores aqui encontrados foram próximos dos apresentados no trabalho de Dang et al. (2018) em seus traços com RCV como substituinte parcial do agregado, embora os autores tenham utilizado teores de substituição superiores. Além disso, na referência, foi possível observar um decréscimo da resistência à tração na flexão em função do aumento do teor de substituição. Os autores encontraram, para todos os traços com substituição, valores maiores que o traço referência, atribuindo a isto, a atividade pozolânica do resíduo. No entanto, como não realizaram análise estatística dos resultados, não se descarta a possibilidade de igualdade das médias, registrada no presente momento, que concordaria com a interpretação dos dados aqui apresentados, de que o RCV não interfere na resistência à tração na flexão das argamassas de cimento com substituição no agregado. Os autores Cabrera et al. (2015) também realizaram, em seus trabalhos, substituições nos teores de 10% e 20% do resíduo pelo agregado, e, embora valores por eles obtidos tenham sido muito próximos aos aqui apresentados,

foram ambos inferiores ao traço referência, sendo possível, portanto, concluir que o desempenho do RCV deste trabalho tenha sido superior, pelo menos no teor de 10%.

Tabela 21–Análise Anova dos resultados de resistência à tração na flexão– argamassas 1:6

Substituição no agregado		
Fonte	G.L.	P -valor
Teor de Substituição	3	0,099685812
Resíduos	8	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	0,041458036
Resíduos	8	

Fonte: Autora

Considerando a hipótese de igualdade entre as médias dos traços C_A10, C_A15 e C_A20 em comparação com o traço C_REF, é possível recomendar a substituição pelo agregado no teor de 20%, no que diz respeito à tração na flexão, por possibilitar a maior incorporação do RCV e, conseqüentemente, menor consumo de areia. Além disso, analisando o Teste de Tukey mais profundamente, na Figura 23, observa-se que a comparação entre o traço C_A20 e o traço C_REF, na figura representado pela legenda 20.0% - 0%, foi a que mais se aproximou do comportamento padrão, indicado no gráfico pela linha pontilhada da cor vermelha.

Os resultados obtidos neste trabalho, em todos os teores, foram melhores aos resultados de Jimenez et al. (2013), considerando a comparação ao traço referência por eles encontrados, e a relação aqui encontrada, uma vez que os valores são incomparáveis em função da diferença de traço. Além do mais, os autores também não encontraram diferença estatística entre os resultados através da análise Anova.

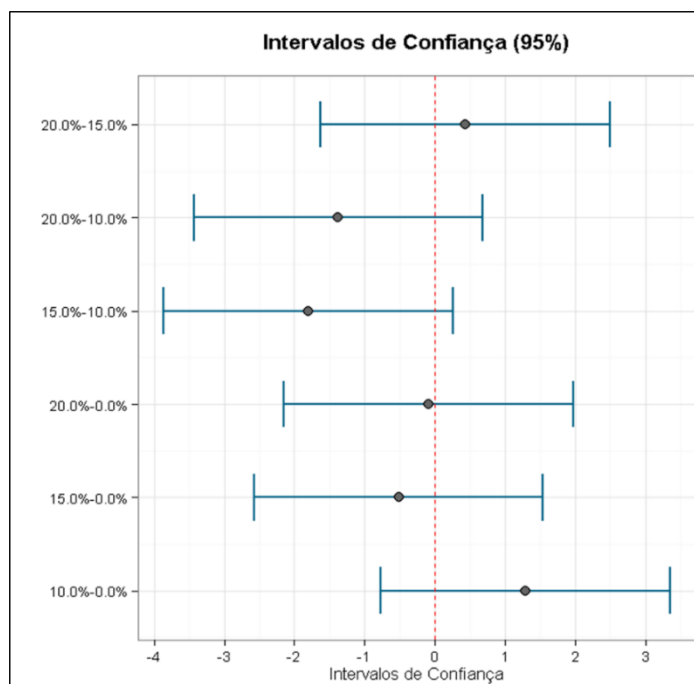


Figura 23: Ensaio de Tukey para as substituições no agregado sobre o ensaio de resistência à tração na flexão-argamassas 1:6

Fonte: Autora

As substituições no aglomerante, no entanto, teve indicação de diferenças entre médias na análise Anova apresentada na Tabela 21, e portanto, o Teste de Tukey para esta tipologia de substituição está apresentado na Tabela 22, para melhor compreensão dos resultados.

Tabela 22–Teste de Tukey para os resultados de resistência a tração na flexão dos traços com substituição no aglomerante – argamassas 1:6

Traços	P valor
C_REF – C_C5	0,41408619
C_REF – C_C10	0,987077106
C_REF – C_C15	0,045722181
C_C10 – C_C5	0,584184206
C_C15 - C_C5	0,41408619
C_C15 – C_C10	0,072461426

Fonte: Autora

O valor ‘P’ encontrado para as comparações entre os traços identificou uma diferença estatisticamente significativa entre as médias, ocorrida no traço C_C15, que apresentou valor de resistência à tração na flexão superior ao traço referência. Os demais teores, de 5% e 10% de substituição foram verificados com estatisticamente

iguais ao traço C_REF. Além disso, as substituições, quando comparadas entre si, também foram consideradas estatisticamente iguais.

Esta análise permite afirmar que, quanto a tração na flexão, o RCV como substituinte ao cimento pode não apenas proporcionar argamassas com a mesma qualidade, mas também melhorar seu desempenho, caso seja utilizado o teor de 15% de substituição. Não é possível descartar a possibilidade de que esta melhoria de desempenho esteja atribuída a reação pozolânica do RCV.

5.1.3 Absorção por capilaridade

Na Figura 23 estão apresentados os resultados obtidos quanto a absorção por capilaridade para os traços de argamassa, aos 28 dias. A primeira análise indica que os traços com substituição no agregado tendem a apresentar maior absorção por capilaridade, conforme aumenta a quantidade de RCV no traço. Já entre os traços com substituição no aglomerante, apenas o traço C_C5 obteve um menor índice de absorção que o traço referência, enquanto os demais, também tiveram um menor desempenho em comparação, embora nesta tipologia de substituição não tenha ocorrido nenhum tipo de proporcionalidade entre o comportamento da absorção e o teor de substituição.

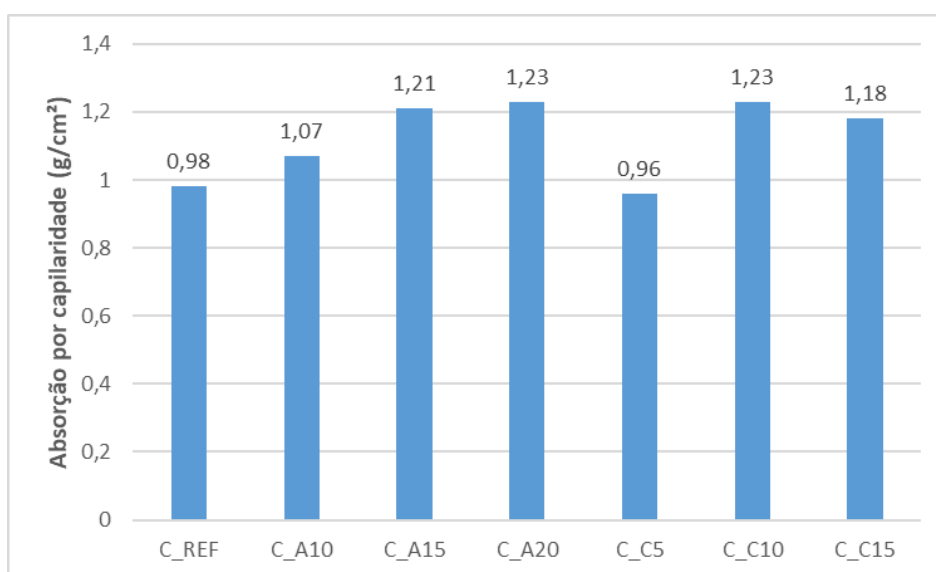


Figura 24: Resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:6

Fonte: Autora

A análise estatística Anova, apresentada na Tabela 23, apresentou valores de “P” inferiores a 0,05, indicando que, em ambas as substituições, pelo menos uma das médias possui diferença relevante em comparação com as médias dos traços referência, descartando a hipótese de médias iguais.

Tabela 23– Análise Anova dos resultados de resistência à tração na flexão – argamassas 1:6

Substituição no agregado		
Fonte	G.L.	P -valor
Teor de Substituição	3	0,001465853
Resíduos	8	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	0,012039682
Resíduos	16	

Fonte: Autora

Foi realizado teste de Tukey nos resultados para identificar em quais traços exatamente ocorreram as diferenças detectadas pela análise Anova. Os resultados apresentados na Tabela 24 indicam que para as substituições no agregado, todos os traços apresentaram médias estatisticamente diferentes do traço referência, de acordo com os valores de “P” indicados em vermelho. Além disso, os traços C_A15 e C_A20 são iguais entre eles.

Tabela 24–Análise Tukey dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas1:6

Traços	P -valor
Substituição no agregado	
C_REF – C_A10	1
C_REF – C_A15	0,019717067
C_REF – C_A20	0,009267617
C_A15 – C_A10	0,019717067
C_A20- C_A10	0,009267617
C_A20 – C_A15	0,981522058
Substituição no aglomerante	
C_REF – C_C5	0,932842534
C_REF – C_C10	0,024211215
C_REF – C_C15	0,06172977
C_C10 – C_C5	0,075999065
C_C15 - C_C5	0,177530828
C_C15 – C_C10	0,962098669

Fonte: Autora

Ao avaliarem a absorção por capilaridade das argamassas de cimento, Jimenez et al. (2013) obtiveram melhoria de desempenho, estatisticamente

comprovada, ao aplicar o RCV como agregado miúdo, especialmente nos teores de 5% e 10% de substituição. Os autores atribuíram a menor absorção ao fato do formato dos grãos de RCV possibilitar menor quantidade de poros internos nas argamassas. Os resultados do presente trabalho se assimilaram mais com os resultados de Cardoso e Forti (2015), que também obtiveram maior absorção por capilaridade ao substituir 10% da areia por RCV. Estas diferenças podem ser provenientes da característica física dos resíduos, ou mesmo de diferenças no processo de moldagem dos corpos de prova. Vale destacar que esta análise é feita considerando apenas as conclusões de interferência do RCV nas argamassas, uma vez os valores são incomparáveis, pelos trabalhos utilizarem traços diferentes.

A interferência do pó de RCV presente nas substituições do aglomerante no comportamento das argamassas quanto a absorção por capilaridade foi distinto, uma vez que o teste de Tukey apresentado na Tabela 23 indica que apenas o traço C_C10 apresentou real diferença em comparação ao traço C_REF. Uma vez que o C_C10 demonstrou o maior valor de absorção em comparação ao traço C_REF, e também entre todos os traços com argamassa de cimento, é possível afirmar que o teor de 10% de substituição afetou o desempenho das argamassas. Curiosamente, o teor de substituição superior, de 15%, correspondeu a hipótese de igualdade das médias quando comparado ao traço referência, ou seja, o comportamento entre os dois foi igual, indicando que o aumento da quantidade de resíduo não foi necessariamente a causa da queda de desempenho do traço C_C10 em relação ao C_REF e ao C_C5. No entanto, quando comparados entre si, o traço C_C10 e C_C15, os traços foram considerados iguais. Isto coloca sobre suspeita a realidade do comportamento inferior do traço C_C10 em comparação com os traços C_C5 e C_REF, ou mesmo, o melhor desempenho do traço C_C15, podendo indicar que na verdade, as três substituições se comportam de maneira similar ao traço referência.

Estes resultados diferem dos resultados obtidos por Schackow et al. (2015), onde todos os traços com substituição no aglomerante apresentaram absorção por capilaridade inferior ao traço referência, tendo o RCV como aglomerante tornado as argamassas menos porosas. Esta justificativa é uma das possibilidades que pode ser considerada para explicar o desempenho do traço C_C15.

Considerando os parâmetros de absorção por capilaridade, os resultados apontam a viabilidade de substituição pelo aglomerante no teor de 5% sem nenhuma interferência à argamassa, dada sua igualdade com o traço C_REF. Já para as

substituições no agregado, como todos foram considerados diferentes do traço referência, com maiores valores de absorção, a indicação da substituição no teor máximo de 10% é a mais adequada.

5.1.4 Absorção por imersão e índice de vazios

A Figura 25 apresenta os resultados obtidos para as argamassas de cimento quanto a absorção por imersão. As substituições no agregado indicam um aumento de absorção conforme aumentou o teor de substituição, embora não inteiramente proporcional, similar a identificada no parâmetro de absorção por capilaridade. No entanto, neste parâmetro, as substituições no aglomerante também apresentaram certa constância no que diz respeito a relação absorção x teor de substituição, embora tenham resultados em valores menores que os da substituição no agregado.

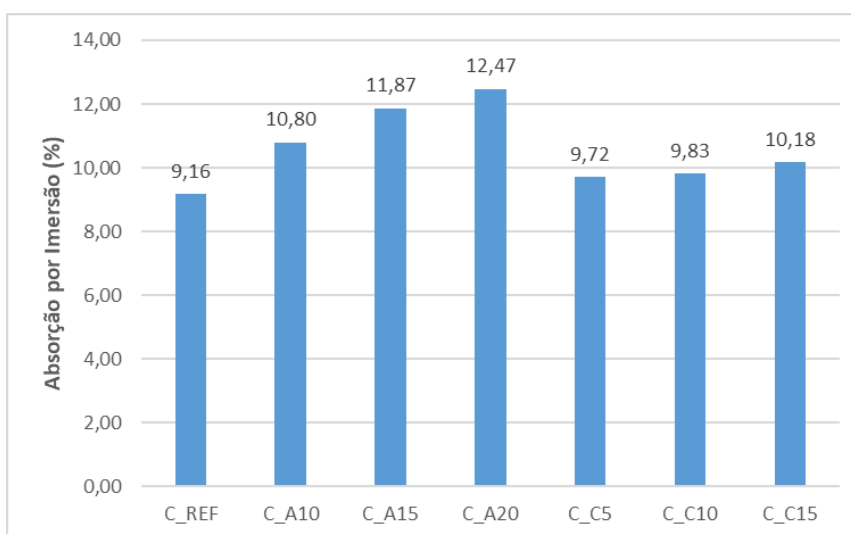


Figura 25: Resultados de absorção por imersão –argamassas 1:6

Fonte: Autora

Na Figura 26 estão representados os valores de índice de vazios para os mesmos traços. Observa-se que as quantidades de vazios das argamassas acompanharam os valores de absorção.

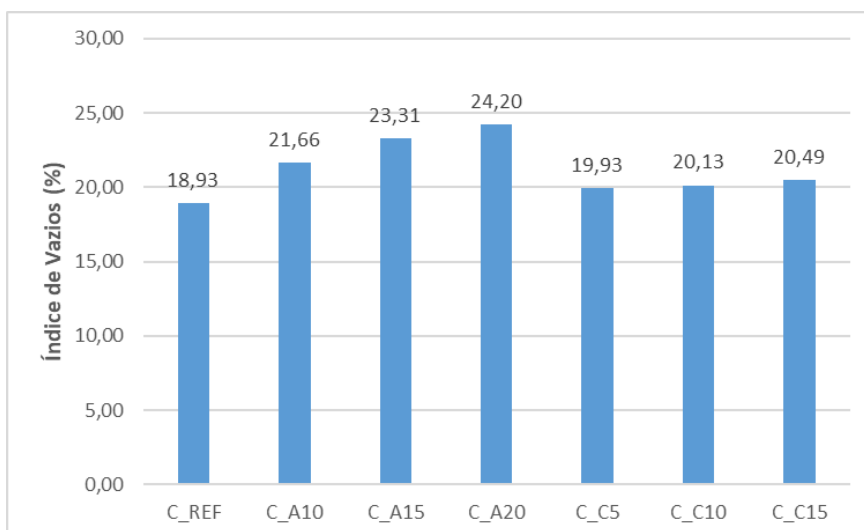


Figura 26: Resultados de Índice de Vazios – argamassas 1:6

Fonte: Autora

Ambos os dados, juntamente com os desvios padrão dos resultados, estão apresentados na Tabela 25. Observa-se que, com exceção do traço C_A20, os demais traços apresentaram desvio padrão inferior ao traço C_REF, indicando, novamente, um comportamento mais homogêneo das argamassas com RCV.

Tabela 25–Resultados de absorção por imersão e índices de vazios – argamassas 1:6

Traço	Absorção por imersão (%)	Des. Pad. (%)	Índices de vazios (%)	Des. Pad.(%)
C_REF	9,16	0,42	18,93	0,75
C_A10	10,80	0,14	21,66	0,23
C_A15	11,87	0,32	23,32	0,45
C_A20	12,47	0,62	24,20	0,97
C_C5	9,72	0,12	19,93	0,24
C_C10	9,83	0,42	20,13	0,69
C_C15	10,18	0,13	20,49	0,39

Na Tabela 26 constam os resultados da análise estatística Anova para os dados deste ensaio, que demonstram, com base nas análises de variâncias, que ambas as tipologias de substituição apresentam diferença entre pelo menos uma das médias, com um nível de 95% de confiabilidade.

Tabela 26–Análise Anova para os resultados de absorção por imersão– argamassas 1:6

Substituição no agregado		
Fonte	G.L.	P -valor
Teor de Substituição	3	2,6383E⁻⁰⁸
Resíduos	16	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	0,000754115
Resíduos	16	

Fonte: Autora

Aprofundando a análise através do Teste de Tukey, apresentado na Tabela 27, fica claro que, em comparação ao traço referência, todas os traços com resíduo, em ambas as substituições, podem ser considerados estatisticamente diferentes. Olhando inicialmente para a substituição no agregado, destaca-se também que apenas os traços C_A15 e C_A20 apresentam igualdade entre as médias, sendo todas as demais interações provadas com diferença. Por estes motivos, uma possível constatação é que, até o teor de 15% de substituição pelo agregado, a quantidade de resíduo aumentou de forma significativa a absorção por imersão, uma vez que todos absorveram mais água que o traço referência, o traço C_A15 absorveu mais água que o traço C_A10, mas o traço C_A20 e o traço C_A15 absorveram a mesma quantidade de água. É necessário afirmar, no entanto, que estes resultados foram menos promissores que os encontrados por Cardoso e Forti (2015), onde o traço com 10% de substituição no agregado obteve menor absorção por imersão em relação ao traço referência e também com os demais teores testados, apesar da relevância da redução não ter sido comprovada estatisticamente.

Tabela 27–Teste Tukey dos resultados de absorção por imersão – argamassas 1:6

Traços	P -valor
Substituição no agregado	
C_REF – C_A10	5,88751E⁻⁰⁵
C_REF – C_A15	8,83804E⁻⁰⁸
C_REF – C_A20	4,96817E⁻⁰⁹
C_A15 – C_A10	0,004027182
C_A20- C_A10	4,43241E⁻⁰⁵
C_A20 – C_A15	0,135203232
Substituição no aglomerante	
C_REF – C_C5	0,046606935
C_REF – C_C10	0,021827691
C_REF – C_C15	0,000400153
C_C10 – C_C5	0,941637131
C_C15 - C_C5	0,108180508
C_C15 – C_C10	0,331470661

Fonte: Autora

Para as substituições no aglomerante, também apresentadas na Tabela 26, o valor de “P” indicou que todos os traços C_C5, C_C10 e C_C15 são significativamente diferentes do traço C_REF, no que diz respeito a absorção por imersão, sendo o traço C_C15 o que mais se afastou do comportamento referência. No entanto, os comportamentos de absorção são iguais entre eles. As referências carecem de análises sobre a absorção por imersão, no entanto, Vieira (2005) em seu trabalho apresentou resultados para argamassas com substituição do RCV pelo aglomerantes nos teores de 20% e 40%, onde os índices de vazios reduziram em relação ao traço referência.

Sendo assim, é possível afirmar que a presença do RCV nas argamassas interferiu em seus comportamentos, no que diz respeito a absorção por imersão, porém, a quantidade de resíduo não foi estatisticamente relevante para esta alteração. Neste parâmetro não foi possível realizar comparações porque não foram encontradas referências com a mesma tipologia de substituição que realizaram este ensaio.

Sendo assim, é possível afirmar que a presença do RCV nas argamassas interferiu em seus comportamentos, no que diz respeito a absorção por imersão, porém, a quantidade de resíduo não foi estatisticamente relevante para esta alteração.

5.2 Parâmetros avaliados –Argamassas mistas 1:2:8

5.2.1 Compressão axial

Estão apresentados, na Figura 27, os resultados de resistência à compressão obtidos pelos traços de argamassas mistas. Na primeira análise já é possível observar que os traços das argamassas mistas não apresentaram uma distinção tão clara de comportamento entre as substituições no agregado e as substituições no aglomerante. Além disso, após os sete dias, nenhum dos traços ultrapassou os valores de resistência do traço M_REF.

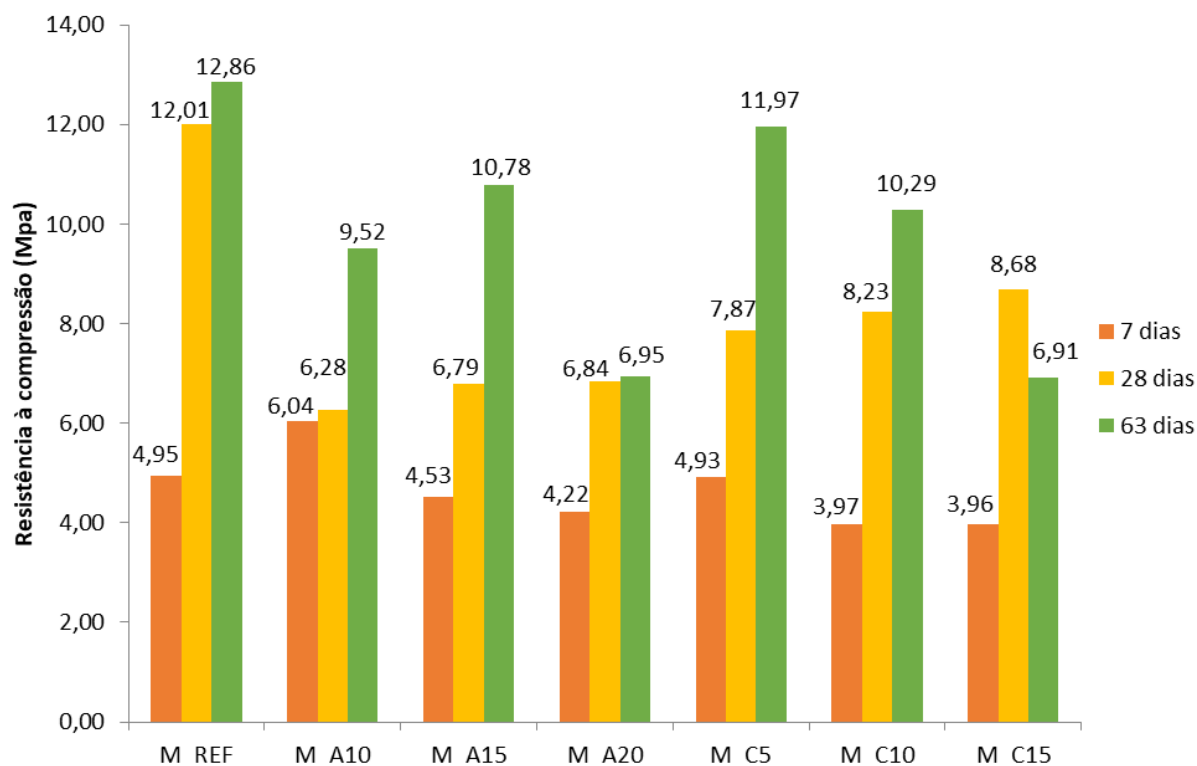


Figura 27: Resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias – argamassas 1:2:8

Fonte: Autora

A Tabela 28 contém todos os dados de resistência à compressão presentes na figura, juntamente com o desvio padrão e os ganhos de resistência apresentados em cada idade. Aos sete dias, o traço M_A10 obteve o melhor valor de resistência à compressão, embora seja possível, ainda assim, observar uma queda de resistência conforme o aumento do teor de substituição no agregado. Este fenômeno também foi observado no grupo de argamassas de cimento, e é esperado, considerando a menor resistência à compressão do RCV em comparação à areia e da reação de hidratação incompleta, mas é inconsistente com a resistência à compressão do traço com 10% de substituição apresentado neste grupo.

Tabela 28–Resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias com ganhos de resistência e desvio padrão dos resultados – argamassas 1:2:8

Traço	7 dias		28 dias		Ganho de resistência (%)	63 dias		Ganho de resistência (%)
	Resist. (MPa)	Des. P. (MPa)	Resist. (MPa)	Des. P. (MPa)		Resist. (MPa)	Des. P. (MPa)	
M_REF	4,95	0,31	12,01	1,37	142,98	12,86	1,29	8,85
M_A10	6,04	0,63	6,28	0,61	4,86	9,52	1,28	53,30
M_A15	4,53	0,68	6,79	0,60	53,09	10,78	1,06	59,04
M_A20	4,22	0,49	6,84	0,58	64,92	6,94	0,35	2,28
M_C5	4,93	0,22	7,87	1,00	64,06	11,97	0,78	54,95
M_C10	3,97	0,26	8,23	0,90	107,75	10,29	0,60	26,16
M_C15	3,96	0,22	8,68	0,61	120,03	6,91	0,95	-19,87

Fonte: Autora

No entanto, aos 28 dias, o mesmo traço apresentou não só o menor valor de resistência entre todos os traços de argamassa mista, mas também um mínimo ganho de resistência. Com isto, é possível supor que o desempenho aos sete dias não foi consequência de uma interferência do RCV, mas sim se uma reação de pega que, por algum motivo, ocorreu de maneira acelerada nos primeiros dias nos corpos de prova moldados para o ensaio de compressão. Esta reação dificilmente está atrelada ao RCV, uma vez ocorreu apenas em uma idade e em um traço, mesmo porque, entre os 28 e 63 dias o ganho de resistência voltou a crescer, sendo superior ao traço referência.

Ademais, o ganho de resistência dos traços de argamassas mistas com substituição no aglomerante foram especialmente elevados nos traços M_C10 e M_C15 aos 28 dias, mas apresentaram mais uma inconsistência aos 63 dias, onde o traço M_C15 apresentou um decréscimo de resistência de quase 20%. O mesmo ocorreu com o teor de 10% do grupo anterior, o que pode indicar que a atividade pozolânica do RCV tem efeitos diferentes de acordo com o teor, em diferentes argamassas. É inegável, no entanto, o efeito da atividade pozolânica, considerando os ganhos de resistência destes dois traços com substituição no aglomerante, e considerando também a identificação de real diferença entre as médias quando analisada estatisticamente perante a análise Anova, apresentada na Tabela 29, onde o valor para a comparação Teor de substituição x Idade foi inferior a 0,05, indicando a interferência do resíduo ao decorrer do tempo nas argamassas. Vale lembrar que o

teste de IAP com cal realizado com o RCV não atingiu o valor necessário para que possa ser considerado pozolânico, e tratando-se de argamassas mistas, esta interferência pode ser atribuída, provavelmente, a reação com a parcela de cimento da argamassa. Estas considerações são feitas levando em consideração que nenhum dos valores de resistência utilizados para calcular a média apresentou discrepância considerável em relação aos demais, como o próprio desvio padrão indica. Ainda assim, não é possível desconsiderar que alguma falha na mistura tenha ocasionado a resistência inferior.

Tabela 29—Análise Anova dos resultados de resistência à compressão – argamassa 1:2:8

Fonte	G.L.	P-valor
Substituição no agregado		
Teor de Substituição	3	3,14004E⁻¹⁹
Idade	2	3,30784E⁻²⁸
Teor de Substituição x Idade	6	2,52423E⁻¹⁴
Resíduos	60	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	1,18095E⁻¹⁷
Idade	2	1,39612E⁻³⁴
Teor de Substituição x Idade	6	4,65775E⁻¹³
Resíduos	60	

Fonte: Autora

Na verdade, todos os fatores avaliados indicaram diferenças, representando que as médias dos traços apresentaram pelo menos uma diferença entre médias, assim como entre as idades, em ambos os tipos de substituição. Para identificar estas diferenças, as médias foram analisadas de acordo com a idade, também pelo teste de Tukey, considerando as variáveis em um nível de 95% de confiabilidade. Os resultados para as médias de resistência a compressão axial aos sete dias estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30–Teste Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias – argamassa 1:2:8

Traços	P-valor
Substituição no agregado	
M_REF – M_A10	0,012982018
M_REF – M_A15	0,552996043
M_REF – M_A20	0,128202247
M_A15 – M_A10	0,000632419
M_A20- M_A10	7,00712E⁻⁰⁵
M_A20 – M_A15	0,762142528
Substituição no aglomerante	
M_REF – M_C5	0,998033244
M_REF – M_C10	1,0063E⁻⁰⁵
M_REF – M_C15	8,90589E⁻⁰⁶
M_C10 – M_C5	1,4554E⁻⁰⁵
M_C15 - M_C5	1,28642E⁻⁰⁵
M_C15 – M_C10	0,9999263

Fonte: Autora

Nas comparações entre o traço referência e as substituições no agregado, a real diferença entre as médias aconteceu apenas em relação traço M_A10, concluindo que o aumento de média deste traço discutido anteriormente é relevante, e que este traço obteve, portanto, o melhor desempenho do grupo aos sete dias. Já aos 28 dias, como indicado na Tabela 31, todos os traços se comportaram estatisticamente diferente do traço referência, embora as três substituições sejam iguais entre si, lembrando que neste momento, todos os valores foram inferiores ao traço referência.

Tabela 31–Teste Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias – argamassa 1:2:8

Traços	P-valor
Substituição no agregado	
M_REF – M_A10	1,47922E⁻⁹
M_REF – M_A15	7,56646E⁻⁹
M_REF – M_A20	8,71288E⁻⁹
M_A15 – M_A10	0,726992593
M_A20- M_A10	0,676165757
M_A20 – M_A15	0,999756528
Substituição no aglomerante	
M_REF – M_C5	3,71198E⁻⁰⁶
M_REF – M_C10	1,35241E⁻⁰⁵
M_REF – M_C15	7,15342E⁻⁰⁵
M_C10 – M_C5	0,923666071
M_C15 - M_C5	0,517866219
M_C15 – M_C10	0,866703041

Fonte: Autora

Aos 28 dias as propriedades da argamassa já devem corresponder ao especificado em norma, uma vez que a hidratação do cimento já está em estágio avançado, e por isso são mais conclusivas quanto ao comportamento do RCV. Sobre as substituições no agregado, é possível afirmar que, aos 28 dias, sua aplicação interfere no comportamento das argamassas, representando menores resistências à compressão, independente do teor de substituição. No entanto, os três traços com resíduo são iguais entre si e, além disso, ultrapassaram o valor de 6 MPa, o que possibilita sua especificação em projetos, nas classificações de P5 e P6 da NBR 13281 (ABNT, 2005). Desta forma, para argamassas mista 1:2:8, quanto a resistência à compressão ainda é possível realizar os três teores de substituição, embora, a queda de resistência indique que a substituição em outros traços deve ser avaliada.

Já aos 63 dias, a análise de Tukey, apresentada na Tabela 32, indica que a ação do resíduo causou nova alteração na argamassa, de forma que todos os traços com substituição no agregado apresentem real diferença em comparação ao traço referência. Além disso, somente os traços M_A10 e M_A15 corresponderam a hipótese de médias iguais, enquanto o traço M_A20 foi efetivamente inferior aos traços anteriores. Este fato pode ser um indicativo de que, substituições de mais de 15% do agregado pelo RCV, em argamassas mistas, pode ser prejudicial ao desempenho sobre os esforços de compressão em argamassas mistas, embora a ausência de referências que tratem de RCV como agregado miúdo, dificulte discussões mais assertivas no assunto.

Tabela 32–Teste Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 63 dias – argamassa 1:2:8

Traços	P-valor
Substituição no agregado	
M_REF – M_A10	0,000149045
M_REF – M_A15	0,01498525
M_REF – M_A20	3,69658E⁻⁸
M_A15 – M_A10	0,207257706
M_A20- M_A10	0,002419157
M_A20 – M_A15	2,51197E⁻⁵
Substituição no aglomerante	
M_REF – M_C5	3,71198E⁻⁶
M_REF – M_C10	1,35241E⁻⁵
M_REF – M_C15	7,15342E⁻⁵
M_C10 – M_C5	0,923666071
M_C15 - M_C5	0,517866219
M_C15 – M_C10	0,866703041

Fonte: Autora

Quanto aos traços com substituição no aglomerante, os traços M_C10 e M_C15 não corresponderam a hipótese de médias iguais em relação ao traço M_REF em nenhuma das idades avaliadas. Aos 28 dias, apesar da análise inicial da Figura 28 indicar um aumento de resistência conforme o aumento do teor de substituição, o teste de Tukey apresentado na Tabela 32, provou que todos os traços de substituição são iguais entre si, apesar de serem todos inferiores ao traço M_REF. Estes resultados não foram tão otimistas quanto os de Araújo (2017), em que aos 28 dias, os traços de argamassa mista com teores de substituição de 10% e 20% apresentaram valores de resistência à compressão superiores ao traço referência. É importante ressaltar, no entanto, que os valores obtidos pelas substituições, em MPa, foram inferiores aos valores do presente trabalho., e que as diferenças são justificáveis pela diferença de traço e cimento utilizados.

As análises acima feitas dos 28 dias possibilitariam a indicação de argamassas mistas com 15% de substituição no cimento, considerando o fato de que as três testadas são iguais, e de que todos os traços apresentaram valores usuais de acordo com a NBR 13281 (2005). No entanto, a análise Tukey para os resultados de 63 dias, dispostos na Tabela 31, indicaram outra mudança de comportamento, onde o traço M_C5 obteve igualdade de média de resistência à compressão com o traço M_REF, enquanto todos os outros permaneceram apresentando significativa diferença na mesma comparação. Ao decorrer do tempo, os três traços com substituição no aglomerante passaram a apresentar também significativa diferença entre eles, indicando interferência do resíduo nos resultados de compressão. A partir disto, a recomendação da substituição no aglomerante no teor de 5% pode ser mais recomendável.

5.2.2 Tração na flexão

A Figura 28 apresenta os resultados para os traços de argamassa quanto a resistência à tração na flexão. Dentre todos os ensaios, apenas os M_A15 e M_C10 apresentaram valores inferiores à resistência do M_REF.

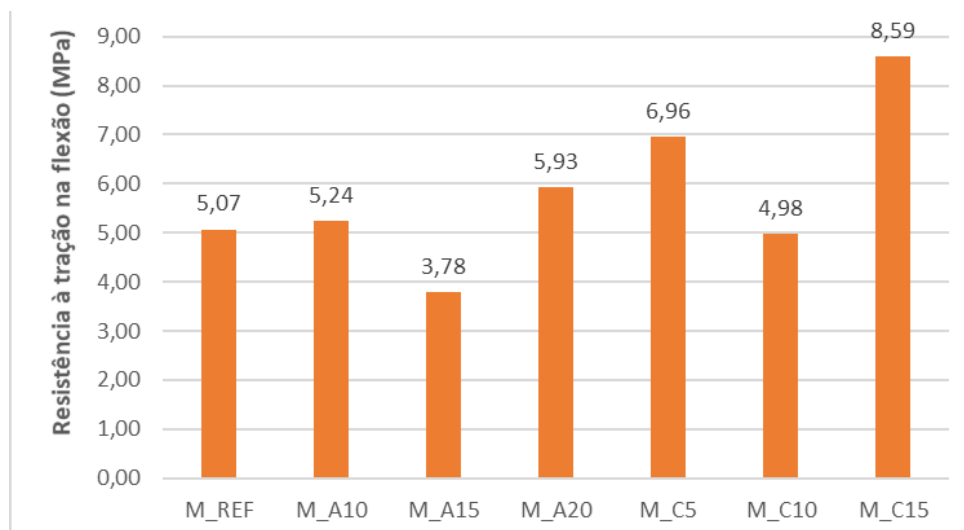


Figura 28: Resultados de resistência à tração na flexão – argamassas 1:2:8

Fonte: Autora

Ambas as substituições, no agregado e no aglomerante, não apresentaram comportamento linear entre o teor de substituição e a resistência à tração na flexão. Em ambos os casos, também, os maiores teores de substituição representaram os maiores valores de resistência. A Tabela 33 apresenta a análise estatística Anova dos resultados de tração na flexão do grupo.

Tabela 33–Análise Anova dos resultados de resistência à tração na flexão – argamassas 1:2:8

Fonte	G.L.	P-valor
Substituição no agregado		
Teor de Substituição	3	0,551092744
Resíduos	60	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	0,119059191
Resíduos	60	

Fonte: Autora

De acordo com os valores de “P” resultante da análise, é possível afirmar que os teores das substituições não causaram real impacto na resistência a tração na flexão das argamassas mistas, com uma significância de 95. As imagens da Figura 28 ilustram de maneira mais clara a proximidade entre as médias das substituições no agregado (Figura 29 a) e no aglomerante (Figura 29 b).

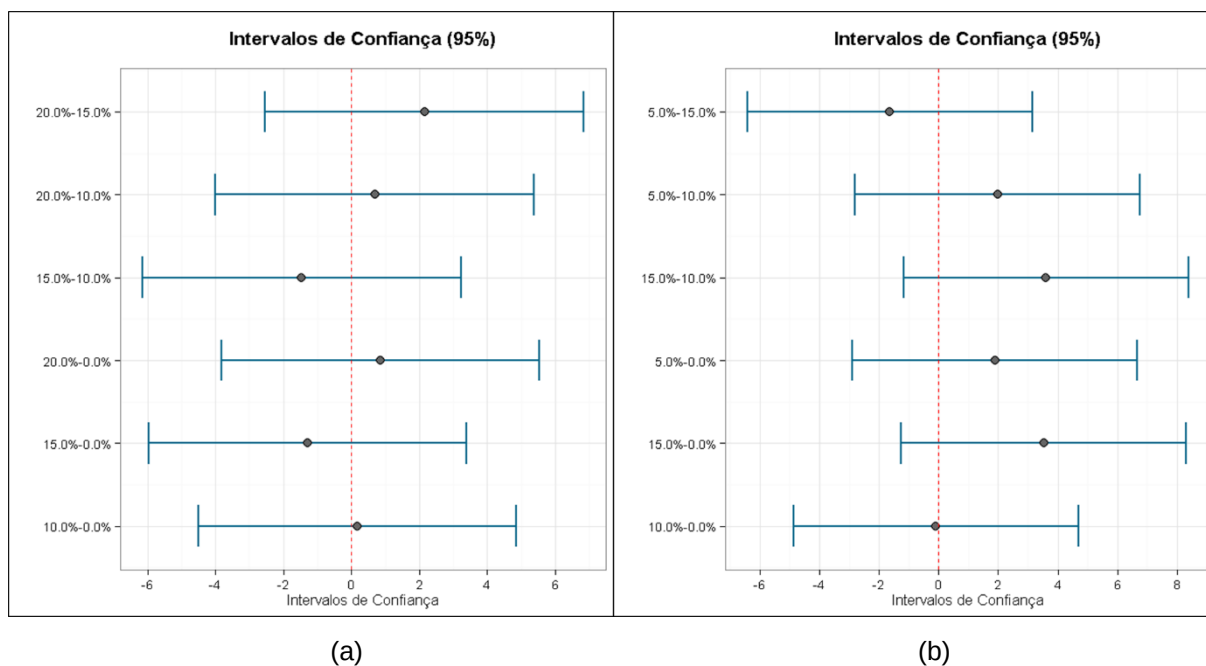


Figura 29: Teste de Tukey dos resultados de resistência a tração na flexão – argamassas 1:2:8 (a) Substituições no agregado (b) Substituições no aglomerante

Fonte: Autora

Observa-se que, quanto as substituições no agregado, o traço M_A10 (10%) foi o que mais se aproximou do traço referência, ilustrado pelo eixo em vermelho. No entanto, o traço M_A20 apresentou uma resistência superior, que é identificada inclusive pelo desvio para lado direito do gráfico em relação ao traço M_REF. Por este motivo, no que diz respeito à resistência à tração na flexão, é possível realizar a substituição no teor máximo de 20%.

O mesmo pode ser dito para as substituições no aglomerante, onde apesar de todos os traços terem apresentado igualdades de média, o traço com maior teor de substituição obteve o maior valor de resistência, sendo possível, portanto, recomendar a utilização do traço C_C15.

5.2.3 Absorção por capilaridade

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção por capilaridade dos traços de argamassa mista estão apresentados na Figura 30. Apenas um entre os seis traços com incorporação do RCV apresentou maior quantidade de água absorvida em relação ao traço referência, tendo este grupo um comportamento muito distinto ao grupo de argamassas de cimento.

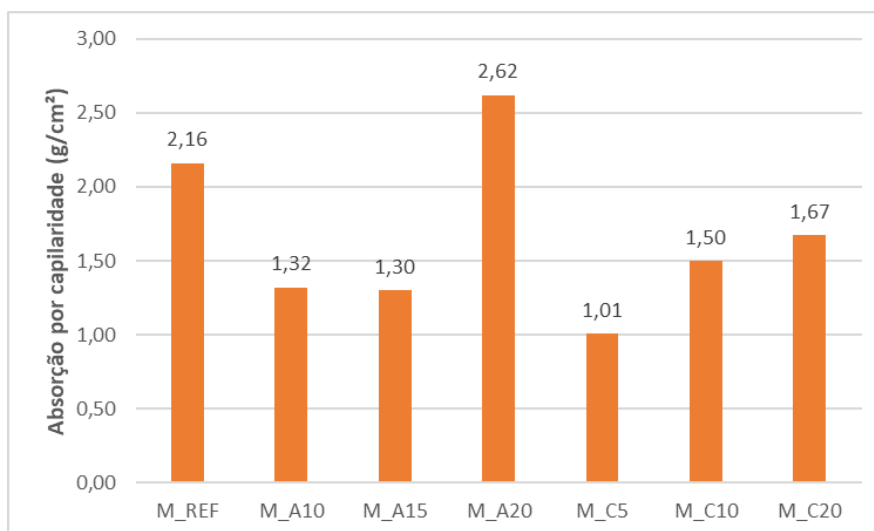


Figura 30: Resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8

Fonte: Autora

O traço M_A20 foi o maior valor de absorção do grupo, e também o único com RCV que absorveu mais água que o traço M_REF. Além disso, a quantidade de água absorvida por unidade de área foi o dobro dos traços M_A10 e M_A15. Já para os traços com substituição no aglomerante, o gráfico apresenta indicativos de aumento da absorção de água conforme o aumento do teor de substituição. Os valores foram avaliados através da Anova, resultando na Tabela 34.

Tabela 34– Análise Anova dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8

Fonte	G.L.	P-valor
Substituição no agregado		
Teor de Substituição	3	0,016557873
Resíduos	16	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	0,007585477
Resíduos	16	

Fonte: Autora

O valor de “P” indicou a ocorrência de diferença entre as médias de absorção por capilaridade para os traços com substituição no agregado em relação ao traço referência, e também para os traços com substituição no aglomerante em relação ao traço referência.

O teste de Tukey foi então aplicado para investigar onde as diferenças significativas ocorreram, estando os resultados apresentados na Tabela 35, onde o

traço M_REF foi comparado com todas as médias das substituições no agregado, e constatou-se que o aumento da absorção no traço M_A20 não foi o suficiente para possuir relevância estatística. De fato, todos os traços com substituição no agregado para as argamassas mistas quando comparados com o traço M_REF se enquadraram na hipótese de igualdade de médias. A diferença entre as médias anteriormente detectada identificou diferença apenas entre o traço M_A20 e outros dois traços com substituição no agregado.

Tabela 35–Análise Tukey dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8

Traços	P-valor
Substituição no agregado	
M_REF – M_A10	0,221717718
M_REF – M_A15	0,319459847
M_REF – M_A20	0,648762555
M_A15 – M_A10	0,994741863
M_A20- M_A10	0,025893356
M_A20 – M_A15	0,041723464
Substituição no aglomerante	
M_REF – M_C5	0,00570001
M_REF – M_C10	0,078357883
M_REF – M_C15	0,510988886
M_C10 – M_C5	0,561200212
M_C15 - M_C5	0,091703151
M_C15 – M_C10	0,628469385

Fonte: Autora

Desta forma, é possível afirmar que, quanto as substituições no agregado, os três teores testados são possíveis, sem real diferença em comparação com a argamassa padrão, embora, provavelmente, o teor máximo de 15% seja mais adequado, caso seja de interesse do sistema uma menor absorção de água pela argamassa. O fato das argamassas com RCV como agregado se equipararem ao traço referência, mesmo com a elevada absorção apresentada pelo resíduo, pode estar relacionado com a melhor estruturação interna das argamassas com uso de RCV como agregado miúdo, uma vez que o resíduo pode colaborar fechando os poros internos da mistura, como foi discutido por Jiménez et al. (2013). Mesmo trabalho dos autores tendo utilizado outro traço de argamassa, observa-se semelhante comportamento do RCV.

Na análise dos traços com substituições no cimento, também apresentado na Tabela 34, foi constatado que o RCV no teor de 5% de substituição, de fato contribui para uma argamassa com menor absorção de água por capilaridade, tendo sido

provada a diferença estatística da média apresentada pelo traço no ensaio em comparação com a média do traço M_REF, de acordo com o valor “p” encontrado pelo teste de Tukey.

As outras duas substituições, avaliadas neste trabalho, corresponderam a hipótese de igualdade das médias em relação ao traço referência, em um nível de significância de 95%. Sendo assim, é possível concluir que a substituição de 5% de RCV por cimento causa melhoria no desempenho quanto a absorção de água, enquanto os teores de 10% e 15% não causam real interferência nas argamassas, viabilizando a utilização dos três teores. Estes resultados foram melhores que os encontrados por Araújo (2017), onde as substituições no aglomerante causaram maiores teores de absorção de água em comparação com o traço referência, mesmo em outra proporção de traço.

5.2.4 Absorção por imersão e índice de vazios

Os resultados obtidos para as argamassas mistas quanto a absorção por imersão e índices de vazios estão apresentados nas Figuras 31 e 32, respectivamente. Neste parâmetro, novamente as substituições no agregado representaram maiores valores de absorção do que as substituições no aglomerante. Além disso, observa-se também um aumento da absorção em função do aumento do teor de substituição, em ambas as tipologias de substituição.

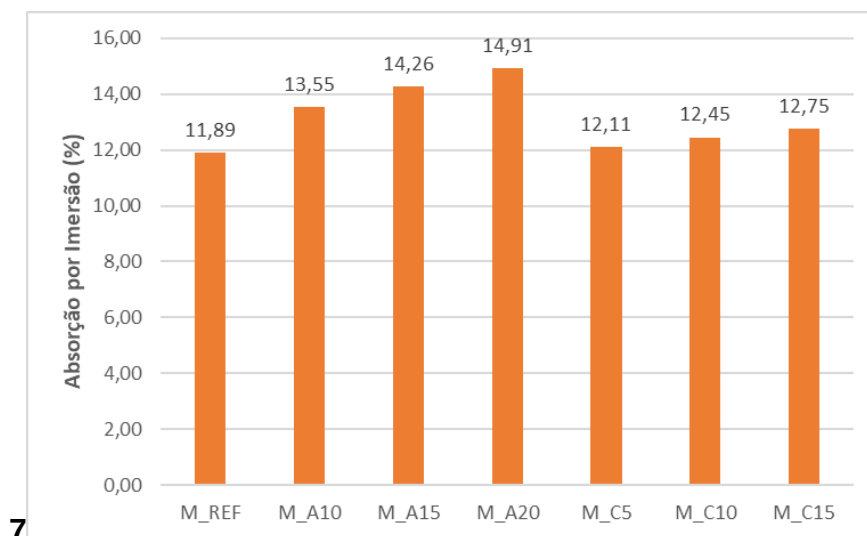


Figura 31: Resultados de absorção por imersão – argamassas 1:2:8

Fonte: Autora

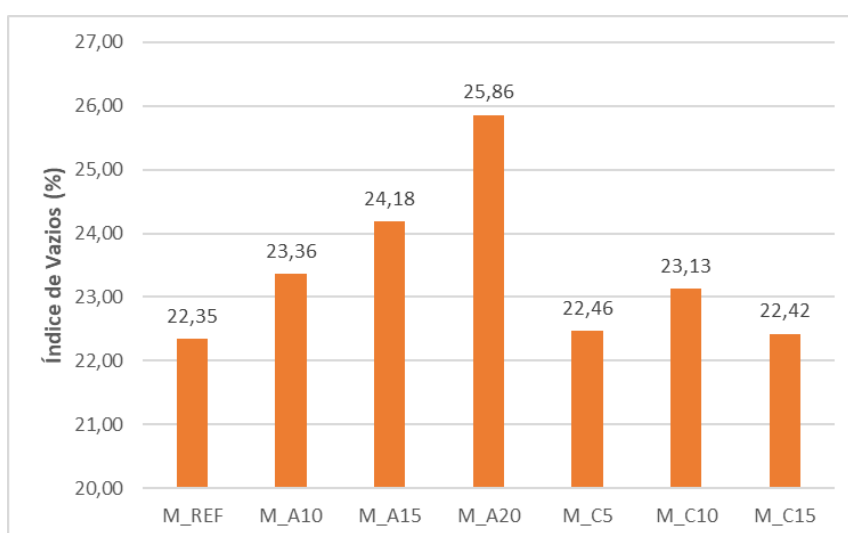


Figura 32: Resultados de índices de vazios – argamassas 1:2:8

Fonte: Autora

Já para os índices de vazios a relação só é visível nos traços com substituição no agregado. Para os traços com substituição no aglomerante, não apenas os traços apresentaram um comportamento aleatório no que diz respeito ao teor de substituição, como não apresentaram também relação direta com a absorção por imersão, como é possível observar na Tabela 36, que contém os dados completos do ensaio. Além disso, os valores de índice de vazios dos traços com substituição com substituição aglomerante foram mais próximos ao traço M_REF, podendo indicar que as substituições no agregado representam argamassas mais porosas.

Tabela 36–Absorção por imersão e índices de vazios com desvio padrão dos resultados – argamassas 1:2:8

Traço	Absorção por imersão (%)	Des. Pad. (%)	Índices de vazios (%)	Des. Pad.(%)
M_REF	11,89	0,25	22,35	0,36
M_A10	13,55	0,30	23,36	0,42
M_A15	14,26	0,97	24,18	0,82
M_A20	14,91	0,72	25,86	1,28
M_C5	12,11	0,42	22,46	0,71
M_C10	12,45	0,22	23,13	0,30
M_C15	12,75	0,71	22,42	0,84

Fonte: Autora

A análise estatística Anova realizada nos dados, e apresentada na Tabela 37, confirmou a leitura inicial dos Figura 32, constatando diferença estatisticamente significativa entre as médias de absorção das substituições no agregado e também no aglomerante, indicadas pelos valores de P inferiores a 0,05, e demarcados em vermelho na tabela.

Tabela 37–Análise Anova dos resultados de absorção por capilaridade – argamassas 1:2:8

Fonte	G.L.	P-valor
Substituição no agregado		
Teor de Substituição	3	5,669E⁻¹¹
Resíduos	16	
Substituição no aglomerante		
Teor de Substituição	3	0,003968922
Resíduos	16	

Fonte: Autora

O teste de Tukey para as substituições do agregado, apresentado na Tabela 38, identificou ocorrência de diferença estatística entre todas as médias analisadas, tanto em comparação com o traço referência, quanto entre as substituições, indicando que o RCV interfere na absorção por imersão, assim como, os diferentes teores de substituição. Os resultados reafirmam, então, a hipótese de que a substituição do agregado miúdo por RCV, em argamassas mistas, pode ocasionar em argamassas mais porosas, com influência do teor de substituição, sendo que a porosidade pode ser atribuída a porosidade do RCV, que apresenta uma elevada absorção. Este fenômeno pode ser melhor observado na Figura 33, que ilustra em gráfico os resultados do teste de Tukey. Observa-se que as linhas que representam os traços

M_A10 (10%-0%), M_A15 (15%-0%) e M_A20 (20%-0%), se afastam da referência (linha vermelha) em intervalos regulares para cada aumento no teor de substituição, representando a interferência da quantidade de resíduo, na discrepância do comportamento.

Tabela 38–Análise Tukey dos resultados de absorção por imersão – argamassas 1:2:8

Traços	P-valor
Substituição no agregado	
M_REF – M_A10	2,86991E⁻⁷
M_REF – M_A15	1,67269E⁻⁹
M_REF – M_A20	4,12953E⁻¹¹
M_A15 – M_A10	0,003802971
M_A20 – M_A10	3,65497E⁻⁶
M_A20 – M_A15	0,008679646
Substituição no aglomerante	
M_REF – M_C5	0,068968506
M_REF – M_C10	0,003847401
M_REF – M_C15	0,732627995
M_C10 – M_C5	0,488785843
M_C15 – M_C5	0,376718217
M_C15 – M_C10	0,031003756

Fonte: Autora

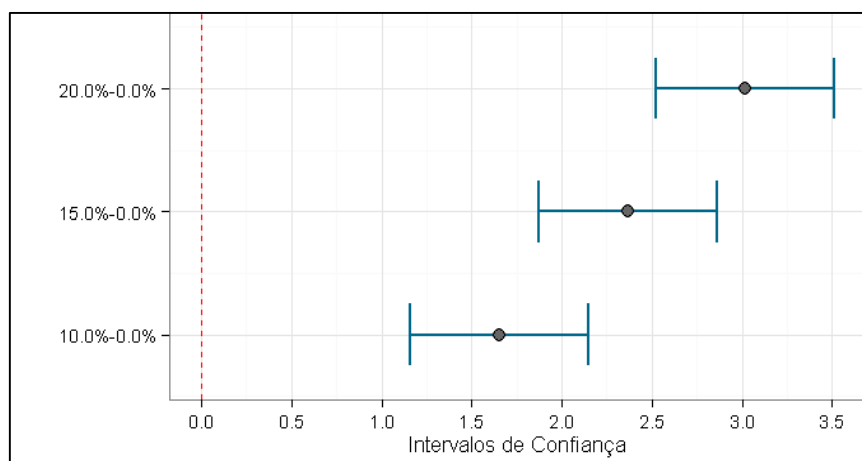


Figura 33: Análise de Tukey para os resultados de absorção por imersão e índices de vazios nos traços com substituição no agregado – argamassas 1:2:8

Fonte: Autora

Estes resultados são congruentes com os de Cabrera et al. (2015), que também concluíram que a porosidade das argamassas aumentava quando o RCV é usado como agregado, e conforme o teor de substituição utilizado. É importante ressaltar, no entanto, que tanto este trabalho quanto o de Cabreba et al. (2015) avaliaram esta propriedade física em apenas uma idade, e as autoras Forti e Cardoso

(2015), ao avaliarem em duas idades, constaram que este efeito tende a diminuir ao longo do tempo. Estas considerações são feitas considerando apenas o comportamento do RCV, e não quanto aos valores do RCV.

Já para as substituições no aglomerante, as diferenças encontradas pelo teste de Tukey, também apresentadas na Tabela 35, identificaram diferença estatística apenas no traço M_C10 em relação ao traço M_REF, e ao traço M_C15. Os teores de 5% e 15% de substituições se enquadraram na hipótese de igualdade entre as médias, não tendo, portanto, causado real interferência nas argamassas mistas.

Araújo (2017) obteve em seu trabalho um menor valor em porcentagem para a absorção e de índices de vazios para o traço de 10% de substituição no cimento, em comparação ao traço referência, embora não tenha sido avaliada a relevância estatística desta diferença, sendo possível, dada a proximidade dos valores, uma similaridade com o traço referência, como a aqui indicada.

Considerando estas conclusões, no que diz respeito ao parâmetro de absorção por imersão em argamassas mistas, uma vez que a argamassa de traço M_A10 já absorveu mais água que o traço referência, não cabem recomendações de maiores teores de substituição.

5.3 Desempenho mecânico

A idade de 28 dias corresponde ao estágio de hidratação do cimento que já possibilita a caracterização de resistência dos materiais cimentícios, e, portanto, normativamente esta idade é utilizada para caracterizar suas propriedades mecânicas.

5.3.1 Argamassas de cimento 1:6

Para as argamassas de cimento, a relação entre as propriedades de compressão e tração aos 28 dias, apresentada na Figura 34, demonstrou que as substituições do RCV no agregado interferem nas propriedades mecânicas da argamassa, uma vez que os três traços desta tipologia de substituição se afastaram do comportamento apresentado no traço referência do grupo. De fato, ao discutir os parâmetros de compressão e tração separadamente, a análise estatística identificou real diferença apenas nos parâmetros de compressão.

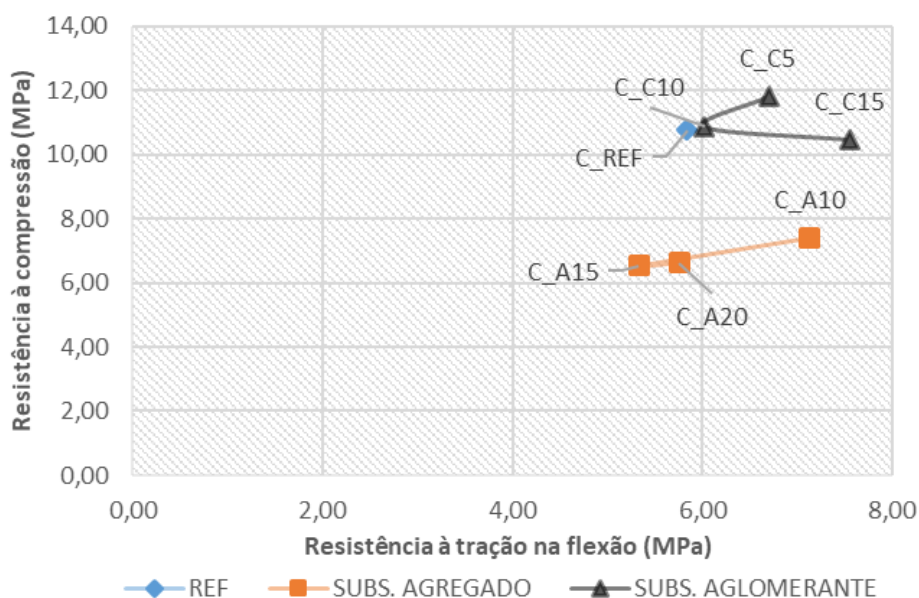


Figura 34: Relação entre as propriedades do desempenho mecânico das argamassas de cimento aos 28 dias

Fonte: Autora

Os agregados naturais e reciclados exercem influências diretas nas argamassas, como foi colocado por Souza (2011) e Caraseck et al. (2018), sendo a

porosidade do material, uma das propriedades físicas que exerce interferência no comportamento mecânico das argamassas, pois a maior quantidade de vazios implica em menor resistência à compressão do agregado. O RCV utilizado neste trabalho, ao ser caracterizado quanto suas propriedades físicas, se mostrou um material de elevada porosidade em comparação à areia, por ter apresentado uma massa unitária inferior, e absorção superior, o que é um forte indicativo de um material com grandes quantidades de vazios internos. Estas características do resíduo implicam no desempenho inferior desta tipologia de substituição.

Cabrera et al. (2015) avaliaram a porosidade das argamassas de RCV em comparação com a argamassa referência, e pode comprovar que a utilização do RCV como agregado tornou as argamassas mais porosas, tendo aumentado a porosidade proporcionalmente ao aumento do teor de substituição. No entanto, em seu trabalho, também não alterou significativamente o comportamento das argamassas quanto à flexão, e, quanto à compressão, apenas a partir dos 10% de substituição.

Para melhor compreender estas relações, identifica-se a necessidade de uma relação dos efeitos destes parâmetros físicos das argamassas, no desempenho mecânico. O gráfico da Figura 35 relaciona os índices de vazios com as resistências à compressão aos 28 dias dos traços com substituição no agregado.

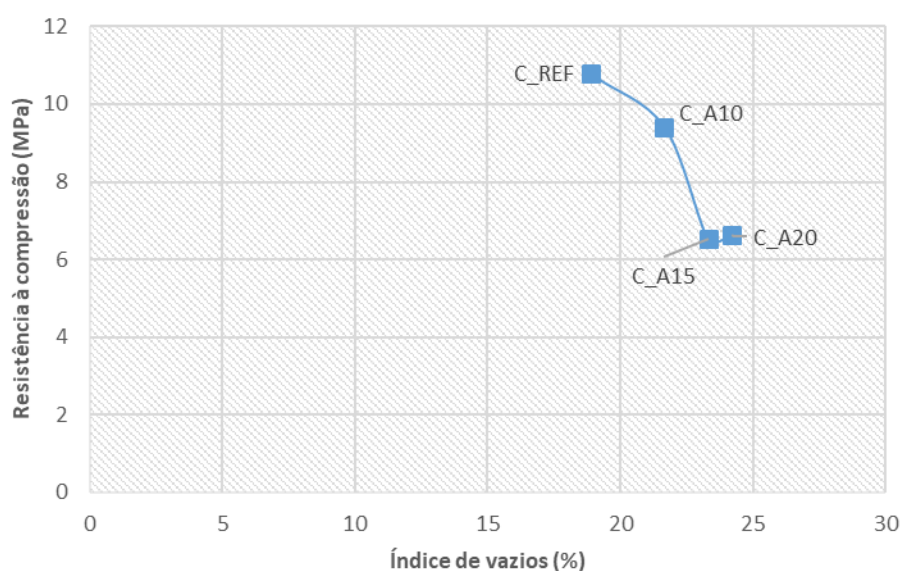


Figura 35: Relação entre o índice de vazios e a resistência à compressão das argamassas de cimento aos 28 dias

Fonte: Autora

Na relação, ficou evidente que os índices de vazios das argamassas com substituição no agregado interferiram nas resistências à compressão, até o teor de 15%, causando uma queda no desempenho. Esta relação reforça a hipótese de que o menor desempenho mecânico das argamassas com RCV como agregado é devido a elevada porosidade do resíduo na granulometria de agregado. Cabe ressaltar, também, que os traços C_A15 e C_A20 foram considerados estatisticamente iguais no que diz respeito a absorção por imersão e índice de vazios, e, como observado na Figura 33, também obtiveram comportamentos mecânicos muito próximos.

O desempenho mecânico aos 28 dias dos traços com substituição no aglomerante, ao contrário, foi muito mais próximo ao comportamento do traço C_REF. O traço C_C10, em especial, foi muito similar ao traço C_REF, como ilustrado na Figura 33, sendo que esta similaridade foi comprovada na análise estatística para os dois parâmetros mecânicos. Similaridade esta, também obtida para traço C_C5, embora a Figura 33 indique que o desempenho deste traço seja levemente superior. O traço C_C15 foi mais distante dos demais, pela comprovada melhoria que a substituição ocasionou no parâmetro de tração na flexão.

Estas conclusões permitem afirmar que, no que diz respeito ao desempenho mecânico, as substituições no aglomerante, quando realizadas nas argamassas de cimento, resultam em argamassas tão eficientes quanto a argamassa referência aos 28 dias, mesmo no maior teor de substituição de 15%. Da mesma forma, Schackow et al. (2015) também obteve, até o teor de 10% de teor de substituição, argamassa similar ao traço referência, em outro traço de argamassa, indicando similaridade no comportamento do RCV.

5.3.2 Argamassas mistas

Já nas argamassas mistas de cimento com cal hidratada, o RCV causou uma maior interferência no comportamento mecânico das argamassas em ambas as tipologias de substituição, apresentando um maior distanciamento do traço M_REF do que o identificado no grupo de argamassas de cimento, como é visível na Figura 36. Observa-se também, que o desempenho mecânico das substituições no agregado se comportaram de maneira linear, e ligeiramente crescente, conforme o aumento do teor de substituição da argamassa.

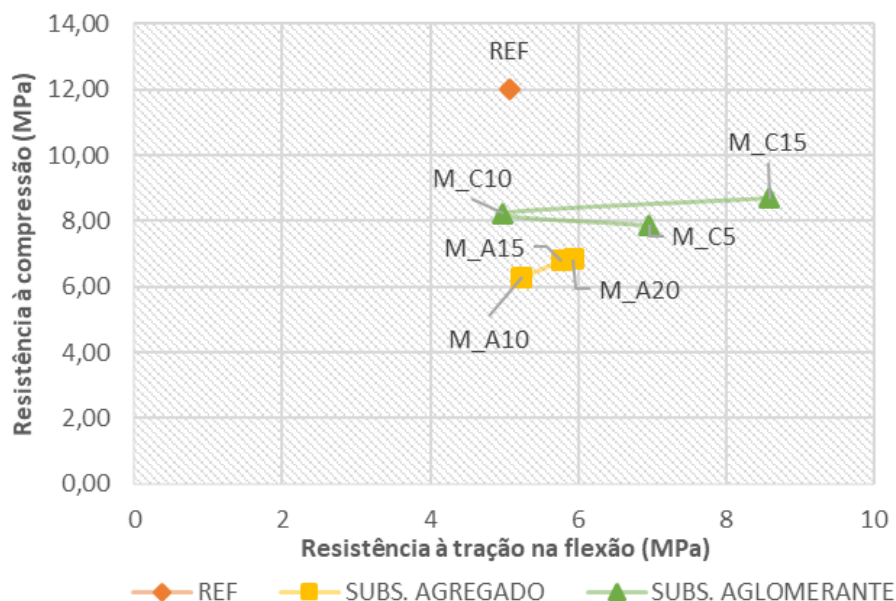


Figura 36: Relação entre as propriedades do desempenho mecânico das argamassas mistas aos 28 dias

Fonte: Autora

Analisando o gráfico, e as análises estatísticas previamente apresentadas, constata-se que a diferença entre as substituições no aglomerante em comparação com o traço referência ocorreu na resistência à compressão, enquanto a tração na flexão foi mais homogênea, de acordo com a estatística. Entretanto, falando de compressão, os traços M_C5, M_C10 e M_C15 apresentaram um aumento de resistência à compressão conforme o aumento de substituição, embora estatisticamente irrelevante. A distorção ocorreu pela diferença de resistência à tração na flexão entre os traços M_C10 e M_C15, embora seja importante ressaltar que esta distorção foi resultante de um melhor desempenho à tração, no maior teor de substituição, de 15%.

É necessário considerar a possibilidade de que o desempenho inferior dos traços com substituição no cimento no grupo de argamassas mistas, em comparação com o grupo de argamassas de cimento, possa ter relação com a interação do RCV com a cal hidratada, mesmo não havendo trabalhos que avaliem o RCV em ambas as argamassas, para corroborar com a informação. Retomando que, durante a caracterização do resíduo, o RCV não apresentou reatividade com a cal utilizada. Desta forma, mesmo que a substituição na argamassa mista tenha sido feita apenas na parcela do cimento do aglomerante, a reação pozolânica do material pode ter sido inibida pela presença da cal, e ocasionando que a substituição não tenha compensado

a parcela de cimento retirada, afetando então, a resistência frente aos esforços de compressão. Já os esforços de tração, não foram afetados negativamente pelo RCV nas argamassas mistas, pelo contrário, representou uma melhoria estatisticamente significativa no teor de 5%, e estatisticamente iguais nos outros dois traços com substituição no cimento.

O trabalho de Araújo (2017) também apresentou melhores valores de tração para os traços com substituição no cimento com RCV, até o teor máximo de 20%, para um traço diferente do aqui utilizado, indicando que a cal não exerceu influência nos resultados. No entanto, a autora também observou esta melhoria nas resistências à compressão aos 28 dias. Vale ressaltar que a autora não apresentou IAP com cal para o resíduo utilizado, embora tenha considerado o RCV pozolânicamente ativo.

Os três traços com substituição do agregado natural por RCV apresentaram desempenho mecânico inferior aos demais traços de argamassa mista. No entanto, a leve crescente no gráfico, assim como a análise estática dos parâmetros, esclareceram que esta redução no desempenho mecânico não depende da quantidade de resíduo substituída. De fato, o traço M_A20 é o desempenho mecânico mais alto entre os três, embora seja estatisticamente igual ao traço M_A15.

Novamente, uma possível justificativa para este desempenho das argamassas mistas com RCV como agregado, uma vez que as características físicas de porosidade do RCV possam influenciar nas propriedades mecânicas das argamassas, como já foi discutido anteriormente. Nas argamassas mistas, as substituições no agregado novamente representaram maiores quantidades de vazios em relação ao traço M_REF, e também menor resistência à compressão, embora entre eles, a quantidade de vazios, e também a resistência à compressão não altere significativamente, como observa-se na relação entre os dois fatores, apresentados na Figura 37.

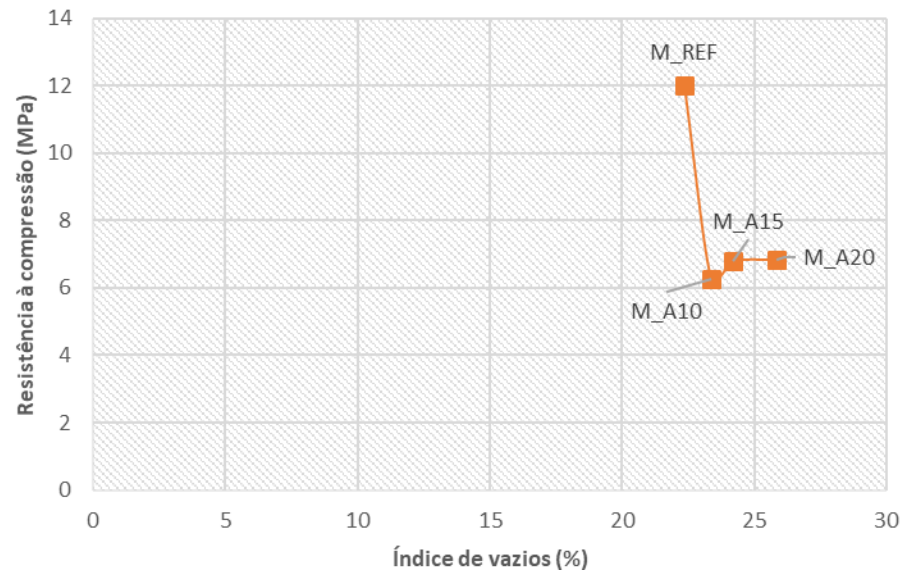


Figura 37: Relação entre as propriedades do desempenho mecânico das argamassas mistas aos 28 dias

Fonte: Autora

5.4 Desempenhos físicos

Para uma melhor compreensão dos efeitos da aplicação do RCV nas argamassas frente aos seus desempenhos físicos, os parâmetros avaliados foram relacionados, para que seja possível identificar padrões e relações no comportamento das argamassas.

5.4.1 Argamassas de cimento 1:6

A Figura 38 relaciona todos os parâmetros de desempenho físico testados para as argamassas de cimento. Para as substituições no agregado, todos estes parâmetros foram influenciados pelo RCV.

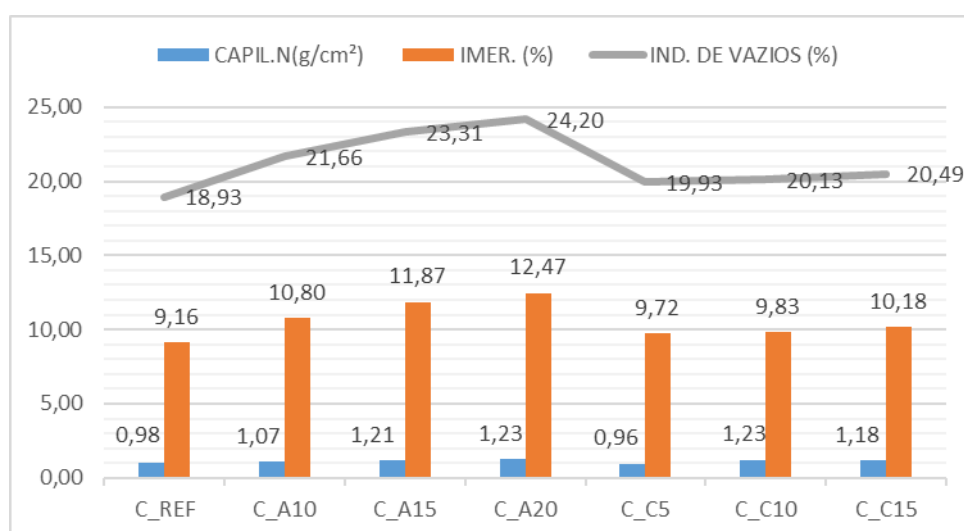


Figura 38: Parâmetros físicos das argamassas de cimento

Fonte: Autora

As argamassas de cimento com RCV como agregado tornam as mesmas mais porosas, e por consequência, resultam em maior absorção de água, tanto em relação com o traço referência, quanto entre si, até o limite de 15%. Ou seja, a quantidade de resíduo aumentou a absorção, em ambas as formas, entre os teores de 10% e 15%. Já entre os teores de 15% e 20%, não houve diferença significativa de desempenho físico.

Jimenez et al. (2013) avaliaram o RCV como substituição ao agregado em muitos teores, testando diversos parâmetros físicos, como absorção por capilaridade,

porosidade, absorção ao vapor d'água, e conseguiram identificar melhor desempenho físico nas argamassas com RCV com até 20% de substituição, obtendo, portanto, melhores resultados no que diz respeito a comparação dos traços com RCV com os traços referências de ambos os trabalhos.

Os traços com substituição no aglomerante apresentaram um comportamento muito mais próximo ao do traço C_REF. Como foi apresentado nas análises estatísticas, apenas o traço C_C10 foi verdadeiramente afetado pelo RCV, para a absorção por capilaridade. Sendo assim, mesmo os demais parâmetros tendo sido afetados pela presença do RCV, já é possível afirmar que, quanto a durabilidade, as substituições no aglomerante foram menos impactadas que as substituições no agregado.

Estes resultados não corresponderam às conclusões apresentadas por muitos autores como Schackow et al. (2015) e Forti e Cardoso (2015), de que o RCV em substituição ao cimento beneficiaria as argamassas quanto ao desempenho físico, pois atuaria fechando os microporos internos.

5.4.2 Argamassas mistas 1:2:8

Os resultados dos parâmetros de desempenho físico relacionados, para os traços de argamassa mista estão apresentados na Figura 39, sendo que para este grupo de argamassas, os resultados foram mais promissores que para as argamassas de cimento.

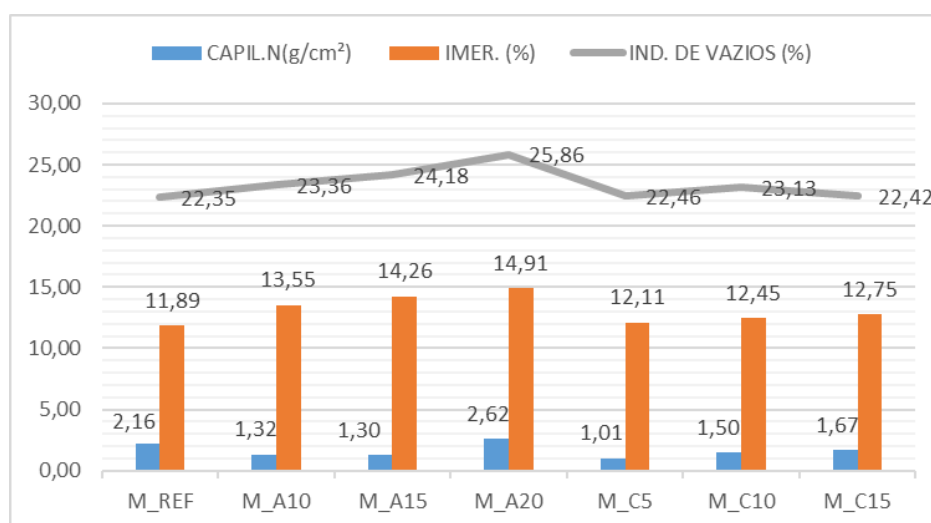


Figura 39: Parâmetros físicos das argamassas mistas

Fonte: Autora

Nas argamassas, os desempenhos físicos não foram tão distintos entre os traços com substituição no agregado e os traços com substituição no aglomerante quanto no grupo anterior, e, em comparação, os resultados foram comprovadamente melhores, uma vez que, quando a absorção por capilaridade todos os traços foram considerados iguais ao traço referência, com exceção do M_C5, que apresentou melhora no desempenho estatisticamente comprovada. Além disso, os traços M_C5 e M_C10 obtiveram comportamento igual ao traço M_REF quanto a absorção por imersão. Sendo assim, quanto às argamassas mistas com substituição no aglomerante, os resultados indicam viabilidade da substituição frente ao desempenho físico, como possibilidade na sua de melhoria, se feita em teor de 5%, e sem interferência nenhuma no comportamento, se feita no teor de 10%. Estes resultados foram bastante similares aos resultados obtidos por Araújo (2017), em seu trabalho com argamassas mistas.

O cenário de desempenho físico para as substituições no agregado também é otimista, uma vez que apenas os índices de vazios e absorção por imersão aumentaram significativamente, tendo todos os traços apresentado resultado estável frente a absorção por capilaridade. Considerando a elevada absorção apresentada pelo resíduo de RCV na caracterização física, mesmo a estabilidade do comportamento indica uma atuação positiva do RCV nas argamassas.

5.5 Compilação dos dados

A Tabela 39 apresenta, resumidamente, os resultados apresentados para os traços de argamassas de cimento, em comparação com o traço referência. A análise dos dados resumidos demonstra que o traço C_C5 foi o que indicou menor interferência do resíduo nas propriedades da argamassa. Entretanto, o traço C_C15 apresentou melhoria de desempenho frente à tração, e estabilidade em relação ao traço referência quanto à compressão aos 28 dias e absorção por capilaridade. Considerando a quantidade de material substituído em ambos os traços citados, e os resultados, o pó de RCV apresentou melhor desempenho neste teor de substituição, em relação aos outros dois teores testados.

Tabela 39–Comparação de comportamento com o traço C_REF com base na estatística

Traços	Compressão 28d	Compressão 63d	Tração	Capilaridade	Imersão
C_A10	Inferior	Inferior	Igual	Igual	Inferior
C_A15	Inferior	Inferior	Igual	Inferior	Inferior
C_A20	Inferior	Inferior	Igual	Inferior	Inferior
C_C5	Igual	Igual	Igual	Igual	Inferior
C_C10	Igual	Inferior	Igual	Inferior	Inferior
C_C15	Igual	Inferior	Melhor	Igual	Inferior

Fonte: Autora

Quanto às substituições no agregado, o traço C_A10, de maneira geral, teve melhor desempenho que os teores de 15% e 20%. É importante ressaltar, no entanto, que mesmo os traços com valores de resultados de compressão inferiores, quando comparados ao traço referência, alcançaram médias que se enquadram nas classificações da norma de argamassas NBR 13281 (2005), como observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação das argamassas de cimento com RCV de acordo com a NBR 13281 (2005)

Traços	Compressão	Tração
C_REF	P6	R6
C_A10	P5	R6
C_A15	P5	R6
C_A20	P5	R6
C_C5	P6	R6
C_C10	P6	R6
C_C15	P6	R6

Fonte: Autora

De maneira geral, é possível constatar que as substituições no aglomerante no grupo de argamassas de cimento desempenharam melhor que as substituições no agregado, podendo ser atribuído a isto, a maior relação água/cimento para as argamassas que utilizaram RCV como agregado, assim como a maior porosidade do resíduo nesta granulometria, que resultou em menor resistência mecânica e maior absorção de água.

O resumo dos resultados dos traços de argamassas mistas com RCV então apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40–Comparação de comportamento com o traço M_REF com base na estatística

Traços	Compressão 28d	Compressão 63d	Tração	Capilaridade	Imersão
M_A10	Inferior	Inferior	Igual	Igual	Inferior
M_A15	Inferior	Inferior	Igual	Igual	Inferior
M_A20	Inferior	Inferior	Igual	Igual	Inferior
M_C5	Inferior	Igual	Igual	Melhor	Igual
M_C10	Inferior	Inferior	Igual	Igual	Igual
M_C15	Inferior	Inferior	Igual	Igual	Inferior

Fonte: Autora

Neste grupo, o traço de argamassa com 5% de substituição no cimento, M_C5, considerando todas as propriedades, foi o que obteve melhor desempenho. De fato, as substituições no aglomerante novamente obtiveram mais propriedades similares à do traço referência, indicando maior eficiência nesta tipologia de substituição.

Novamente, ressalta-se que as conclusões acima feitas são em comparação com o traço referência, mas que todas as argamassas alcançaram valores de resistência mecânica das propriedades testadas, que possibilitam sua classificação e utilização de acordo com a NBR 13281 (2005), como indicado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação das argamassas mistas com RCV de acordo com a NBR 13281 (2005)

Traços	Compressão	Tração
M_REF	P6	R6
M_A10	P6	R6
M_A15	P5	R6
M_A20	P5	R6
M_C5	P6	R6
M_C10	P6	R6
M_C15	P6	R6

Fonte: Autora

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste trabalho possibilitaram uma série de conclusões que colaboram para o avanço na compreensão do comportamento do RCV quando incorporado em argamassas.

Primeiramente, pode-se concluir que o RCV avaliado neste trabalho apresenta características físicas e químicas que possibilitam sua aplicação em argamassas, inclusive com grande potencial para aplicação como material pozolânico. Esta utilização proporciona uma opção adequada para o resíduo, que hoje permanece depositados sobre áreas urbanas, sem alternativa real de descarte ou reaproveitamento. É importante ressaltar que o encaminhamento deste material para um destino adequado é interessante para o produtor tanto do ponto de vista de descarte, como da possibilidade de atuação em outros pontos do mercado da construção civil, além de possibilitar alternativas de insumos menos agressivos ao meio ambiente.

Os resultados demonstraram, também, que o RCV não se comporta da mesma maneira nas diferentes tipologias de argamassas, de maneira que são necessárias discussões específicas sobre cada um dos grupos avaliados e, também das tipologias de substituição.

Nas argamassas de cimento, o RCV causou real interferência tanto nas propriedades físicas e mecânicas, embora tenha sido mais eficiente no desempenho mecânico dos traços, especialmente daqueles com substituição no aglomerante. Nestes parâmetros mecânicos a análise estatística identificou uma maior quantidade de igualdade entre médias, indicando comportamento mais semelhante ao comportamento do traço referência. Este fato está, provavelmente, relacionado com a reatividade pozolânica com cimento apresentado pelo RCV na caracterização química, indicando a viabilidade do uso deste resíduo como substituinte parcial ao cimento. De fato, a análise detalhada deste trabalho mostrou que mesmo o teor de 15% de substituição pode indicar real melhoria de desempenho quanto a tração à flexão, quando comparado com o traço C_REF. No entanto, generalizando o desempenho mecânico, o traço C_C5 mais se aproximou do traço C_REF.

Já nas argamassas mistas, os traços com substituições no aglomerante o RCV não favoreceu o desempenho mecânico dos traços da mesma forma. Neste grupo, apenas o traço de M_C5 conseguiu se equiparar ao comportamento mecânico do traço referência, e precisou, para isto, de um maior tempo de reação, atingindo esta marca apenas aos 63 dias. Assim como no grupo anterior, este resultado é congruente com o resultado do IAP do RCV, que foi negativo com a cal. Por este motivo, no que diz respeito ao uso do RCV como substituinte parcial ao cimento nas argamassas mistas, é possível concluir que a substituição é possível, mas recomendada apenas no teor de 5%, pois o desempenho mecânico pode sofrer interferências.

Já quanto aos traços com substituição no agregado, em ambos os grupos, conclui-se que o RCV impactou negativamente no desempenho das argamassas frente aos esforços de compressão, mas não apresentou influência sobre os esforços de tração. Os dados apresentados e interpretados no trabalho embasam a conclusão de que a porosidade do RCV interfere em seu comportamento no papel de agregado miúdo, sendo este menor desempenho justificado, portanto, pelas características físicas do material.

Cabe ressaltar aqui, que a adequada aplicação do RCV em argamassas, frente ao comportamento mecânico, estará atrelada a finalidade da argamassa. As argamassas de revestimento não sofrem grandes esforços de compressão, e por natureza, são mais solicitadas quanto a tração na flexão. Por esta lógica, a aplicação das argamassas mistas com RCV, mesmo nos teores de 15% de substituição no aglomerante, e até mesmo substituições no agregado, ainda é viável. Da mesma forma, todos os traços do grupo de argamassas de cimento também são viáveis de utilização, com notável melhoria, caso seja aplicado o teor de 15% de substituição no aglomerante.

É de extrema importância ressaltar que, mesmo as argamassas que se diferenciaram dos seus respectivos traços referência, não devem ser descartadas da possibilidade de aplicação, uma vez que apresentaram valores para os parâmetros mecânicos que se enquadram dentro das classificações propostas pela norma regente das argamassas de revestimento e assentamento, NBR 13281 (ABNT, 2005).

Já quanto ao desempenho físico das argamassas, concluiu-se que as argamassas mistas foram mais beneficiadas pela aplicação do RCV nos traços, do que as argamassas de cimento. Novamente, os melhores resultados ocorreram nas

substituições no aglomerante, em especial, no traço M_C5, que absorveu uma menor quantidade de água por capilaridade, em teor estatisticamente relevante, além de ter comportamento igual ao traço M_REF quanto a absorção por imersão e índice de vazios. De fato, todos os traços de argamassa mista, com exceção do M_C5 anteriormente mencionado, se comportaram da mesma forma que o traço M_REF em relação a absorção por capilaridade. Esta propriedade que o RCV proporcionou para as argamassas mediante a substituição são fundamentais para o regular funcionamento, tanto da argamassa de revestimento, quanto de assentamento, uma vez que a umidade ascendente pelos capilares é uma das grandes problemáticas do envelope construtivo.

Considerando todos os aspectos abordados, a substituição do cimento pelo RCV das argamassas mistas se mostrou a mais eficiente, pois as interferências mecânicas causadas não inviabilizam sua utilização frente aos esforços das argamassas, e atendem as classificações da norma NBR 13281 (ABNT, 2005). E além disso, esta tipologia causou ainda uma melhora de desempenho físico, com diminuição da absorção de água e comportamento muito similar ao traço M_REF. Cabe destacar que qualquer melhoria no desempenho físico é de extrema importância para as argamassas, especialmente das argamassas de revestimento, que são frequentemente danificadas pelas ações da água.

Este trabalho se propôs a avaliar a potencialidade do RCV como substituinte ao cimento Portland e ao agregado miúdo e seus efeitos sobre diferentes tipologias de argamassas e substituições e, os resultados aqui apresentados são fundamentais para o direcionamento de avaliações mais específicas, uma vez que se mostraram viáveis em vários aspectos. Os dados apresentados apontam que a utilização do RCV aqui utilizado, coletado na cidade de Pelotas – RS, é uma realidade do ponto de vista dos parâmetros básicos de argamassa, em teores de pelo menos 5% no aglomerante, para ambas as tipologias de argamassa avaliada, embora outros teores também possam ser utilizados, dependendo da tipologia de aplicação da argamassa e da sua destinação, o que abre um vasto leque de possibilidades dentro da construção civil.

6.1 Sugestões de trabalhos futuros

Para dar seguimento aos promissores resultados aqui encontrados são necessárias e recomendadas diversas outras avaliações do RCV, tais como:

- Avaliação do desempenho do RCV em argamassas mistas e de cimento quanto a resistência de aderência à tração, à absorção pelo método de cachimbo e permeabilidade ao vapor d'água.
- Avaliação de durabilidade das argamassas mistas e de cimento com RCV, mediante ataque de sulfatos e cloretos.
- Desenvolvimento de protótipos de alvenaria revestidos com argamassas com aplicação do RCV para avaliação do comportamento frente as manifestações patológicas.
- Avaliação da viabilidade econômica da utilização do RCV como substituinte parcial ao agregado miúdo e ao aglomerante em argamassas.
- Desenvolvimento de metodologia para aplicação do RCV nas argamassas desenvolvidas em canteiro de obra.

REFERÊNCIAS

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. Estudo Técnico Setorial da Cerâmica Vermelha: Subsídios para a elaboração do plano de desenvolvimento Sustentável da cadeia produtivo de cerâmica vermelha. Brasília: Invetta, 2016. 265p.

ALVES, A. V.; VIEIRA, T. F.; BRITO, J. de.; CORREIA, J.R., Mechanical properties os structural concrete with fine recycled ceramic aggregates. **Construction and Building Materials**, vol. 64, p. 103-113, ago. 2014.

ARAÚJO, A. R.; **Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas.** Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ARAUJO, L. E. de.; **Desenvolvimento de argamassas geopoliméricas com uso o de resíduo de construção e demolição.** Trabalho de conclusão de curso, Graduação, Faculdade de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017.

Associação Brasileira de Cerâmica, Processo de fabricação. Disponível em <https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado-Determinação da composição granulométrica,** NBR NM 248, Rio de Janeiro, 2003, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação da absorção.** NBR NM 30. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.** NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Areia normal para ensaio de cimento - Especificação.** NBR 7214. Rio de Janeiro, 2014. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** NBR 9778. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.** NBR 9779. Rio de Janeiro, 2013. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** NBR 13281. Rio de Janeiro, 2001. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico,** NBR 5736, Rio de Janeiro, 1991, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à compressão.** NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.** NBR 7200. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias.** NBR 5751. Rio de Janeiro, 2015. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com cimento Portland aos 28 dias.** NBR 5752. Rio de Janeiro, 2014. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos – Requisitos.** NBR 12653. Rio de Janeiro, 2014. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Revestimentos de paredes e tetos com argamassa inorgânica,** Rio de Janeiro, 8p.

Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABREPELE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acessado em: 21/05/2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. Dados Oficiais, 2014. Disponível em: <http://anicer.com.br/setor/dados-oficiais/>. Acesso em: 05/04/18

AWOYERA, P. O.; DAWSON, A. R.; THOM, N. H.; AKINMUSURU, J. O., Suitability of mortars produced using laterite and ceramic wastes: Mechanical and microscale analysis, **Contruccion and Buildding Material**, vol. 148, p. 195-203, 2017.

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

CABRERA, F. G. C.; SOBERÓN, J. M. G.; SÁNCHEZ, J. L. A.; REA, S. P. A.; HIGUERA, R. C., Mechanical properties of mortar containing recycled ceramic as fine aggregate replacement. **Revista de la Construcción**, vol. 14, n. 3, p. 22-29, dez. 2015.

CACHEPA, M. M.; **Mitigação da reação alcali-agregado em concreto com emprego de resíduo de cerâmica vermelha e metaculim**, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2017,

CAMPOS, H. F., **Concreto de alta resistência utilizando pó-de-pedra como substituinte parcial ao cimento Portland: estudo experimental**, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CARASECK, H. **Argamassas**. In: Instituto Brasileiro de Concreto. Livro de Materiais de Construção Civil, 2007.

CARASECK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, M. S. J. dos; LEMES, N., Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa. **Revista ALCOMPAT**, vol. 1, n. 2, p.115-135, mai./ago. 2011.

CARASECK, H.; GIRARDI, A. C. C.; ARAÚJO, R. C.; ANGELIM, R.; CASCUDO, O., Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e revestimento. **Revista Cerâmica**, vol. 64, n. 370, São Paulo, abr/mai, 2018.

CARDOSO, J. T.O.; FORTI, N. C. S., Estudo para a aplicação de resíduos de cerâmica vermelha na produção de argamassas cimentíceas. Anais do V Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Campinas, 22 e 23 de setembro de 2015.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M., A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características das argamassas, **Revista Ambiente Construído**, vol. 01, n. 02 p. 37-44, jul./dez, 1997

CASSOL, G., **Caracterização e utilização do resíduo de cerâmica vermelha como material pozolânico em matrizes cimentíceas**. Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2015.

CASTRO, A. L.; SANTOS, R. F. C.; GONÇALVES, K. M.; QUAIONI, V. A., Caracterização de cimento compostos com resíduo da indústria da cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, vol. 63, n.365, São Paulo, São Paulo, jan./mar., 2017.

Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução n° 307, 5/072002, p. 95-96, Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>, Acessado em: 27/05/2019

CRESCENCIO, R. M.; BARROS, M. M. S. B., Revestimento decorativo monocamada: produção e manifestações patológicas, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, 33p., São Paulo, 2005

DANG, J.; ZHAO, J.; HU, W.; DU, Z.; GAO, D., Properties of mortar with waste clay brick as fine aggregate, **Construction and Building Materials**, vol. 166, p.898-907, mar. 2018.

EVANELISTA, P. P. de A., **Alternativa sustentável para destinação de resíduos classe A: diretrizes para reciclagem em canteiros de obra**. Dissertação, Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

FARIAS FILHO, B. F.; ROLIM, J. S.; TOLEDO FILHO, R. D., Potencialidades da metacaolinita e do tijolo queimado moído como substitutos parciais do cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol. 4, n. 3, p. 437-444, 2000.

FERREIRA, R. L. da S.; **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FIGUEIREDO, S.; SILVA, C. G.; NEVES, G. A. Durabilidade de tijolos solo-cal incorporados com resíduos de demolição da construção civil. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 64(3), p. 273-279, 2011

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHATOLI, F. F., Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de São Paulo, **Revista Cerâmica**, vol. 61, n. 358, abr./jun., São Paulo, 2015.

GUERRA, A.S.; ROCHA, E. R. D.; OKABAYASHI, J. Y., Estudo de viabilidade técnica para utilização de Polietileno Tereftalato (PET) residual em substituição ao agregado miúdo no concreto. **Revista MIX Sustentável**, vol. 3, n. 3, Florianópolis, p. 35-40, out./mar. 2017.

HANSEN, D. M., **Avaliação das propriedades pozolânicas de um resíduo de cerâmica vermelha para emprego como material cimentício suplementar**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

HANSEN, D. M.; BREHM, F. A.; KULAKOWSLI, M. P., Avaliação da geração de resíduo de cerâmica vermelha. Anais do 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Porto Alegre, jun. 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Indicadores IBGE-Contas Nacionais Trimestrais jan-abril, ano 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria.html>, Acessado em: 25/05/2019

JIMÉNEZ, J. R.; AYUSO, J.; LÓPEZ, M.; FERNÁNDEZ, J. M.; BRITO, J., Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. **Construction and Building Materials**, vol. 40, p. 679-690, 2013.

MAS, M. A.; MONZÓ, J.; PAYÁ, J.; REIJ, I.; BORRACHERO, M. V., Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement, **Institution of Civil Engineers Publishing**, vol. 00, n. 00, p.1-12, ano 2015.

MEDEIROS, M.H.F.; SOUZA, D. J.; FILHO, J. H.; ADORNO, C. S.; QUARCIONI, V. A.; PEREIRA, E., Resíduo de cerâmica vermelha e fíler calcário em compósito de cimento Portland: efeito no ataque por sulfatos e na reação álcali-sílica. **Revista Matéria**, vol.21, n. 02, p. 282-200, 2016

MENEZES, R. R.; NEVES, A. G.; FERREIRA, C. H. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias primas cerâmicas alternativas. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, vol. 6, n. 2, Campina Grande, p. 303-310, 2002.

MESQUITA, A. S. G.; Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **Holos**, vol. 2, ano 2012.

Ministério de Minas e Energia - MME, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos - 2017. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>, Acessado em: 05/05/2018

MOURA, C. A. M., SILVA, R. B. da., REZENDE, G. B. de M.; NEVES JUNIOR, A., Caracterização de resíduos telha cerâmica vermelha de fontes distintas visando proposta coprocessamento como matéria-prima para clínquer Portland, **Scientia cum Industria**, vol. 6, n. 3, p. 31-37, 2018.

NAVARINI, M. K.; **Análise da potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu, em argamassa de revestimento externo, na cidade de Pelotas/RS.** Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

NETO, L. A. C. V.; SALES, A. T. C.; SALES, L. C.; Efeitos da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto cimento Portland. **Revista Matéria**, vol. 26, n. 1, Rio de Janeiro, mar. 2018.

NURAN AY, M. U., The use of waste ceramic tile in cement production. **Cement and concrete research**, vol. 30, n. 3, p. 497-499, mar. 2000.

OLIVEIRA, E. M.; OLIVEIRA, C. M.; ANTUNES, E. G. P., **Análise da resistência à compressão e tração de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha**. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

OLIVEIRA, L. F.; MELLO, F. E.; A mineração da areia e os impactos ambientais na bacia do Rio João, RJ. **Revista brasileira de geociências**, vol. 37, n.2, p.374-389, 2007.

ORTEGA, J. M.; LETELIER, V.; SOLAS, C.; MORICONI, G.; CLIMENT, M. A.; SÁNCHEZ, I., Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars, **Construction and Building Materials**, vol. 182, p.691-702, 2019.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S., Reusing ceramic wastes in concrete. **Journal Construction and Building Materials**, vol. 24, n.5, p. 832-838, mai. 2010.

PADILHA, S. A., **Potencialidade do uso de cinza de casca de arroz em blocos de concreto de alvenaria estrutural: Segundo NBR 6136**, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

PARIS, J. M.; ROESSLER, J. G.; FERRARO, C. C.; DEFORD, H. D.; TOWNSEND, T. G., A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. **Journal of Cleaner Production**, fev. 2016.

PEDROZZO, R. F. E., **Influencia da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PEREZ, C. A.S.; PADUANI, C.; ARDISSON, J. D.; GOBBI, D.; THOMÉ, A. Caracterização das massas cerâmicas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha em São Domingos do Sul – RS. *Revista Cerâmica Industrial*, jan.fev., 2010.

PINHEIRO, I. S. **Beneficiamento e caracterização de resíduos gerados na produção de blocos cerâmicos visando a aplicação como material pozolânica**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

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

PINTO, T. de P., **Perda de materiais em processos construtivos tradicionais**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1989. /Datilografado/

PUERTAS, F.; GARCÍA-DÍAZ, I.; BARBA, A.; GAZULLA, M. F.; PALACIOS, M.; GÓMEZ, M. P.; MARTÍNEZ-RAMIRÉZ, S., Ceramic waste as alternative raw materials

for Portland cement clinker production. **Cement e Concrete Composites**, vol. 30, p.798-805, 2008.

QADIR, S. S.; Strength and behavior of self compacting concrete with crushed ceramic tiles as partial replacement for coarse aggregate to elevated temperature. **International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Science**, vol. 3, n. 04, p. 278-286, abr. 2015.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2º ed. Porto Alegre: EDIPURS, 2015. 188p.

REIS, L. R. de M.; **Utilização de resíduos da construção e demolição na fabricação de tijolos solo-cimento**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

REZENDE, C. A. de; BONTEMPO, P. C.; WENDER, A. E.; Gastos públicos com investimentos e composição de empregos nos setores da economia do distrito federal, Brasil, 1995 a 2010. **Revista de Desenvolvimento Econômico – RDE**, ano XVII , n. 02, p. 674-698, dez. 2015.

ROSSI, C. T.; HAMMES, R. F.; VIER, L. C.; SANTOS, R. R. dos; RODRIGUES, M. F., Resíduos cerâmicos incorporados na composição de concretos e argamassas como material pozolânico, **Revista Gedecon**, vol. 5, n.1, p. 53-56, 2017

SALGADO, J. C. P., Técnicas e Práticas Construtivas: da implantação ao acabamento, 1º ed. , São Paulo, Érica, 2014.

SAMANDI, M.; HUSSIN, M. W.; LEE, H. S.; SAM, A. R. M.; ISMAIL, M. A.; LIM, N. H. A. S.; ARIFFIN, N. F.; KHALID, N. H. A., Properties of mortar containing ceramic powder waste as cement replacment. **Jurnal Teknologi**, vol. 77, n.12, p. 93-97, dez. 2015.

SANTOS, A. R.; VEIHA, M. R.; SILVA, A. S.; BRITO, J. de., A influência das areias no desempenho mecânico de argamassas de cal, Lisboa, 2015, disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Brito5/publication/285056456_A_Influencia_das_Areias_no_Desempenho_Mecanico_de_Argamassas_de_Cal/links/565de29b08ae1ef9298383a4.pdf

SANTOS, A. Z. dos.; SOUSA, S. R.; **Aproveitamento de resíduos da construção civil na produção de concretos para uso em pavimentação de ciclovias**. Trabalho de conclusão de curso de Graduação, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2016.

SANTOS, W. J., **Argamassa de alto desempenho**, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, Universidade Federal de Juíz de Fora, 2011.

SCHACKOW, A; STRINGARI, D.; SENFF, L.; CORREIA, S. L.; SEGADÃES, A. M., Influence of fired clay brick waste additions o the durability of mortars. **Cement and Concrete Composites**, vol. 62, p. 82-89, set., 2015.

SHAO, J.; GAO, J.; ZHAO, Y., CHAO, X., Study on the pozzolanic reaction of clay brick powder in blended cement pastes, **Construction and Building Material**, vol.213, p.209-215, 2019.

SILVA, A. J. C.; MARANHÃO, A. G. D.; ALENCAR, L. A. A. C. Estudo do uso de resíduo de pó de vidro em substituição ao agregado em argamassas. **CONPAR POLI/UPE**, vol. 1, n.1., Recife, 2017.

SILVA, D. M., Influência da mistura de agregados graúdos, resíduo de corte de mármore e granitos e metacaulim e aditivos de desempenho mecânico do concreto. **Revista de Ciências Exatas e Tecnológicas**, vol. 12, n. 12, p.2-8, 2017.

SILVA, G. A. de O.; **Avaliação da durabilidade de concretos contendo agregados reciclados de resíduo de construção civil (RCC)**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

SILVA, G. B. da.; ANGULO, S. C.; PILEGGI, R. G.; SILVA, C. O.; Concretos secos produzidos com agregados reciclados de RCD separados por densidade. **Revista Ambiente Construído**, vol. 15, n. 4, p. 335-349, Porto Alegre, out./dez. 2015.

SILVA, J; BRITO, J. de; VEIGA, R., Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortar productions. **Journal of Materials in Civil Engineering**, vol. 22, n. 3, p. 236-244, 2010.

SILVA, N. G. da; CAMPITELI, V. C., Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas, Anais do XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído –ENTAC, Florianópolis/SC, ago., 2006.

SILVEIRA, G. T. R.; **Metodologia de caracterização de resíduos sólidos como base para uma gestão ambiental**. Estudo de caso: Entulhos de construção em Campinas. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC. Números. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares.php>. Acessado em: 21/05/2019.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. de,; A construção civil como instrumento de desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, vol. 18, n. 109, p. 9-26, Paraná, jul/dez, 2005.

TEMP, A. L., **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

TITIKIAN, B.F.; ZUCHETTO, L. K.; SOUZA, R. P.; OLIVEIRA, M. F. N., Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Revista Ambiente Construído**, vol. 17.n. 3, p. 295-306, Porto Alegre, jul./set. 2017.

TORRES, A.S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil, 2011.

WADA, P. H., Estudo da Incorporação de Resíduo de Cerâmica Vermelha em composição de concreto para uso em estaca moldadas in Loco, Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, 2010.

UNITED NATIONS. Agenda 21; Sustainable Development. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June, 1992. 351 p. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>. Acessado em: 16 de Maio de 2019.

VALVERDE, M. F.; Agregados para construção civil. **Balanço mineral brasileiro, 2001**. Disponível em: dnpm.gov.br. Acessado em: 26/04/2018

VIEIRA, A. A. P.; **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

YAGIZI, W. **A técnica de edificar**, 13ª edição, São Paulo, Editora Pini, Sinduscon, 2013.

YU, R.; ONNA, D.V.; SPIESZ, P.; YU, Q. L.; BROUWERS, H. J. H. Development of ultra-lightweight fibre reinforced concrete applying expanded waste glass. **Journal of cleaner production**. Jul., 2015.

Apêndices

APENDICE A – RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

TABELA 41: Granulometria RCV

Amostra 1					Amostra 2		
a) Massa inicial seca (kg) =		1,500		b) Massa inicial seca (kg) =		1,500	
Abertura das Peneiras (mm)	Mrg - Massa retida (g)		Mr% - Massa retida (%)		(Vr) = b-a	(Mrm)	(Mra)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Massa retida	Massa retida	Massa retida
					+ 4 %	(%)	(%)
6,30	52,89	73,59	3,54%	4,92%	1,38%	4,23%	4,23%
4,75	134,51	211,67	9,01%	14,15%	5,14%	11,58%	15,81%
2,36	366,44	418,45	24,55%	27,97%	3,42%	26,26%	42,07%
1,18	285,15	262,49	19,10%	17,54%	1,56%	18,32%	60,39%
0,60	186,60	155,09	12,50%	10,37%	2,13%	11,43%	71,83%
0,30	118,15	95,83	7,91%	6,41%	1,51%	7,16%	78,99%
0,15	143,63	123,82	9,62%	8,28%	1,35%	8,95%	87,93%
45µ	180,15	141,07	12,07%	9,43%	2,64%	10,75%	98,68%
Fundo	25,25	14,10	1,69%	0,94%	0,75%	1,32%	100,00%
Mt (Total)	1.492,77	1.496,11	D. máx.	37,5	Módulo de Finura =		3,57

TABELA 42: Granulometria da areia

Amostra 1					Amostra 2		
Massa inicial seca (kg) =		1,500		Massa inicial seca (kg) =		1,500	
Abertura das Peneiras (mm)	Mrg - Massa retida (g)		Mr% - Massa retida (%)		(Vr) = b-	(Mrm)	(Mra)
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Massa retida	Massa retida	Massa retida
					+ 4 %	(%)	(%)
6,30	4,00	5,85	0,27%	0,39%	0,1%	0,33%	0,33%
4,75	3,86	2,79	0,26%	0,19%	0,1%	0,22%	0,55%
2,36	57,45	70,11	3,83%	4,67%	0,8%	4,25%	4,80%
1,18	294,65	342,48	19,64%	22,83%	3,2%	21,24%	26,04%
0,60	531,35	570,24	35,42%	38,02%	2,6%	36,72%	62,76%
0,30	409,82	351,55	27,32%	23,44%	3,9%	25,38%	88,14%
0,15	175,84	141,11	11,72%	9,41%	2,3%	10,57%	98,70%
Fundo	23,03	15,87	1,54%	1,06%	0,5%	1,30%	100,00%
Mt (Total)	1.500,00	1.500,00	D. máx.	4,80	Módulo de Finura =		2,81

2- Resultados EDX

Sample : RCU - Fernando
 Operator: Lucas
 Comment : Analise Oxidos
 Group : Óxido sem vácuo
 Date : 2018-04-09 16:38:45

Measurement Condition

Instrument: EDX-720		Atmosphere: Air		Collimator: 10 (mm)			
Analyte	TG kV	uA	FI	Acq. (keV)	Anal. (keV)	Time (sec)	DT (%)
Ti-U	Rh 50	51-Auto	----	0 - 40	0.00-40.00	Live- 100	40
Na-Sc	Rh 15	670-Auto	----	0 - 20	0.00- 4.40	Live- 100	40

Qualitative Result

Element: Rb, Si, Rh, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Ba, Al, Ar

Peak List

Channel	Line	keV	Net Int. (cps/uA)	

Ti-U	RbLa	1.72	0.0123	
	SiKa	1.72	1.4328	
	RhLa	2.70	0.3231	
	RhLb1	2.90	0.4001	
	K Ka	3.30	2.6279	
	K Kb	3.58	0.3679	
	CaKa	3.68	1.2030	
	TiKa	4.50	4.9571	QF
	TiKb	4.92	0.6279	
	V Ka	4.92	0.3141	QF
	MnKa	5.88	0.5496	QF
	FeKa	6.40	93.6101	QF
	MnKb	6.50	0.0824	
	FeKb	7.04	14.2640	
	CuKa	8.02	0.2927	QF
	ZnKa	8.64	0.6540	QF
	Fe SUM	13.36	1.0467	
	RbKa	13.36	0.4686	QF
	SrKa	14.12	1.4741	QF
	Y Ka	14.94	0.8023	QF
	RbKb	14.96	0.0797	
	ZrKa	15.72	8.5215	QF
	SrKb	15.84	0.2668	
	ZrKb	17.62	1.4788	
	RhKaC	19.12	13.2908	
	RhKa	20.16	11.8125	
	RhKbC	21.46	2.7488	
	RhKb	22.68	1.9523	
	BaKa1	32.20	0.4530	

Na-Sc	AlKa	1.49	0.0361	QF
	SiKa	1.74	0.8965	QF
	RhLa	2.70	0.1567	
	ArKa	2.97	0.1664	QF
	K Ka	3.32	1.1892	QF
	K Kb	3.59	0.1506	
	CaKa	3.69	0.4648	QF
	CaKb	4.02	0.0606	

PrintNextPage

Quantitative Result

Analyte	Result	[3-sigma]	Proc.-Calc.	Line	Int. (cps/uA)

SiO2	48.223 %	[0.577]	Quan-PP	SiKa	0.8965
Al2O3	24.044 %	[1.045]	Quan-PP	AlKa	0.0361
Fe2O3	13.147 %	[0.057]	Quan-PP	FeKa	93.6101
K2O	11.955 %	[0.120]	Quan-PP	K Ka	1.1892

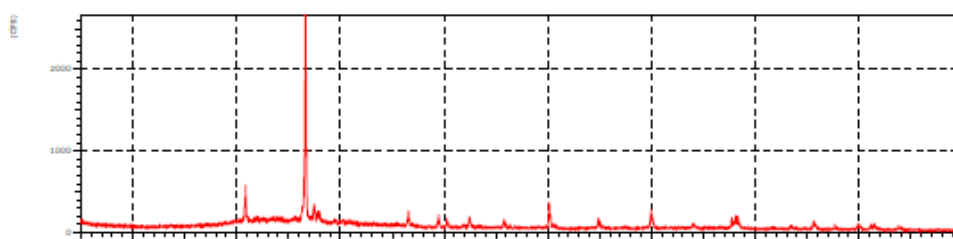
3- Resultados DRX

***** SEARCH / MATCH RESULT *****

<Unknown Data>

Group Name : Francielli_Pinz
 Data Name : Resíduo_cerâmica_tijolo
 File Name : Resíduo_cerâmica_tijolo.PKR
 Sample Name : Resíduo_cerâmica_tijol
 Comment : Resíduo_cerâmica_tijolo
 Date & Time : 01-10-19 14:02:17

<Raw Data>



***** SEARCH / MATCH RESULT *****

Group Name : Francielli_Pinz
 Data Name : Resíduo_cerâmica_tijolo
 File Name : Resíduo_cerâmica_tijolo.PKR
 Sample Name : Resíduo_cerâmica_tijol
 Comment : Resíduo_cerâmica_tijolo

<Card List>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)		Dx	WT%	S.G.	
1	46-1045	SiO ₂	0.970	0.607(17/58)	0.963	0.903	0.528
		Silicon Oxide (Quartz, syn)		2.65	-----	P3221	
2	4-0802	Pt	0.092	0.800(4/ 9)	0.397	0.728	0.231
		Platinum (Platinum, syn)		21.46	-----	Fm-3m	
3	10-0275	KSH	0.098	0.545(6/19)	0.628	0.665	0.228
		Potassium Hydrogen Sulfide		1.71	-----	R	
4	4-0564	AlSbO ₄	0.076	0.385(5/13)	0.641	0.794	0.196
		Aluminum Antimony Oxide		5.83	-----	P42/mnm	
5	42-1368	CaTi ₂ SiO ₃	0.096	0.400(4/10)	0.710	0.683	0.194
		Calcium Titanium Oxide (Loveringite)		4.26	-----	R-3	
6	11-0237	BPO ₄	0.341	1.000(10/10)	0.402	0.443	0.178
		Boron Phosphate		-----	-----	-----	
7	20-0452	CaAl ₂ Si ₂ O ₈ .4H ₂ O	0.825	0.274(17/64)	0.872	0.677	0.162
		Calcium Aluminum Silicate Hydrate (Gismon)		2.22	-----	P21/c	
8	20-0226	Ca ₃ Mn ₄ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ .3H ₂ O	0.389	0.393(11/28)	0.859	0.429	0.145
		Calcium Manganese Sulfate Hydroxide Hydrat		2.55	-----	P-62c	
9	8-0480	RbBr	0.129	0.500(4/17)	0.485	0.544	0.132
		Rubidium Bromide		3.36	-----	Fm-3m	
10	9-0429	(Cu,As)	0.137	0.625(5/14)	0.407	0.426	0.109
		Copper Arsenide (Algodonite)		8.67	-----	P63/mmc	
11	19-0225	Ca ₃ Ge(SO ₄) ₂ (OH) ₆ .3H ₂ O	0.418	0.316(6/19)	0.839	0.387	0.102
		Calcium Germanium Sulfate Hydroxide Hydrat		2.64	-----	P-62c	

4- Granulometria a laser



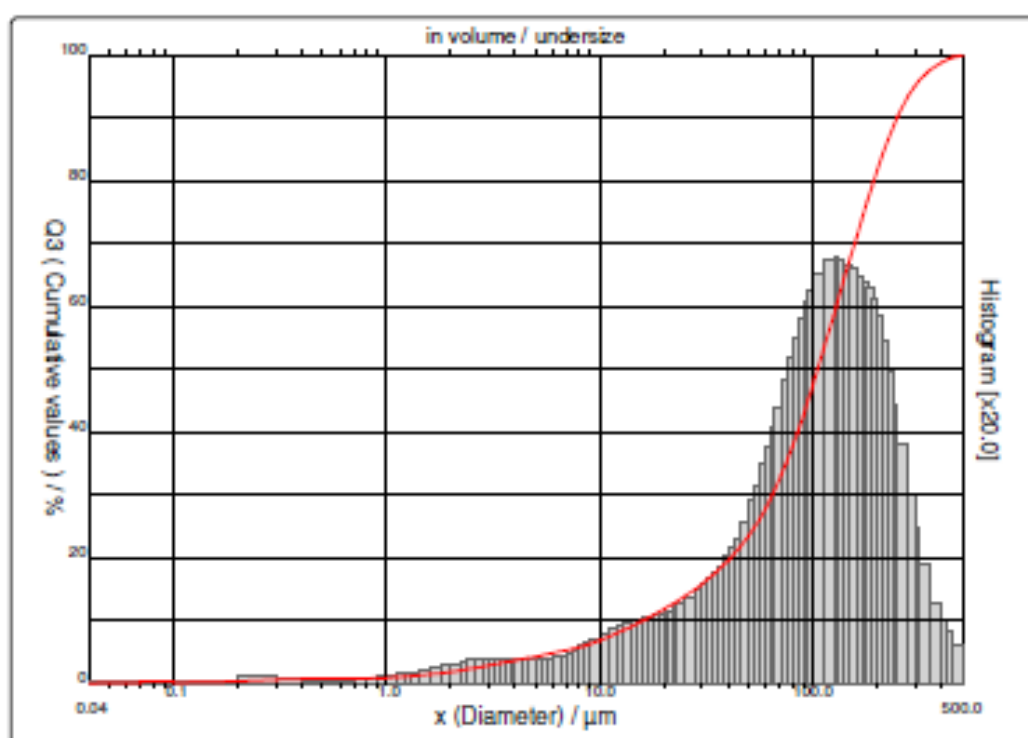
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : -
 Sample Name : RCV
 Sample type : P6
 Comments :
 Liquid : Water (eau)
 Dispersing agent : Detergente
 Operator : Veridiana
 Company :
 Location :
 Date : 09/11/2018 Time : 11:50:03
 Index meas. : 597
 Database name : Granulog

Ultrasounds : 60 s
 Obscuration : 4 %
 Diameter at 10% : 15.94 μm
 Diameter at 50% : 105.39 μm
 Diameter at 90% : 248.06 μm
 Mean diameter : 122.92 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Automatic dilution : No / No
 Meas./Rins. : 60s/60s/5
 SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 1405 | Ref : 2.1175.m030A1818V5.09187m17.12.20.40.15h.20.20.40.8hVQ-0.0.0.0/600 0.15.g10.0.0.10.1.10.P6500.1.10.N.0V 9.09/035



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1064 Liquid

Range : 0.04 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : --
 Sample Name : RCV
 Sample type : P6
 Comments :
 Liquid : Water (eau)
 Dispersing agent : Detergente
 Operator : Veridiana
 Company :
 Location :
 Date : 09/11/2018 Time : 11:50:03
 Index meas. : 597
 Database name : Granulog

Ultrasounds : 60 s
 Obscuration : 4 %
 Diameter at 10% : 15.94 μm
 Diameter at 50% : 105.39 μm
 Diameter at 90% : 248.06 μm
 Mean diameter : 122.92 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Automatic dilution : No / No
 Meas./Rins. : 60s/60s/5
 SOP name : Fraunhofer

Standards classes

in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.04	0.11	0.14	0.33	0.61	0.74	0.74	0.74	0.74	0.78
q3	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	0.84	0.91	0.99	1.07	1.15	1.24	1.43	1.63	1.84	2.05
q3	0.03	0.04	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	2.26	2.47	2.67	2.86	3.04	3.21	3.37	3.52	3.67	3.87
q3	0.16	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.18	0.19	0.18
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	4.05	4.28	4.45	4.60	4.80	5.04	5.27	5.51	5.76	6.02
q3	0.18	0.18	0.19	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.26	0.29
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	6.29	6.84	7.40	7.95	8.50	9.03	9.54	10.03	10.51	10.96
q3	0.31	0.35	0.39	0.42	0.46	0.48	0.49	0.50	0.53	0.52
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	11.40	11.82	12.24	12.64	13.04	13.83	14.98	15.74	16.50	17.26
q3	0.54	0.54	0.57	0.57	0.60	0.63	0.67	0.73	0.78	0.83
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	18.02	18.77	19.54	20.70	21.48	23.51	24.78	26.08	27.88	29.26
q3	0.88	0.92	1.00	1.07	1.14	1.28	1.45	1.57	1.73	1.88
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	30.68	33.09	35.07	37.57	40.07	42.56	45.02	47.43	52.98	58.54
q3	2.03	2.19	2.40	2.58	2.74	2.90	3.02	3.12	3.26	3.37
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	60.54	64.30	67.75	70.94	73.89	76.63	79.18	81.53	84.08	86.33
q3	3.39	3.37	3.32	3.29	3.23	3.19	3.14	3.05	2.91	2.72
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	88.90	90.26	93.48	95.03	95.93	97.60	98.74	99.19	99.54	100.00
q3	2.48	2.21	1.89	1.49	1.23	0.93	0.63	0.49	0.41	0.29

x : diameter / μm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

APENDICE B – CONSUMOS DE MATERIAL POR TRAÇO

TABELA 43: Consumos das argamassas de cimento 1:6

TRAÇO	CIMENTO	AREIA	RCV 45µm	RCV G	AGUA	A/C	I.C.
C_REF_C1 C 63	312	1872	0	0	291,8	0,94	263,5
C_REF_C2 C28	312	1872	0		413,6	1,33	265,0
C_REF_C3 C7	312	1872	0		310,7	1,00	260,0
C_REF_C4 T28	312	1872	0	0	339,8	1,09	261,0
C_REF_C5 A28	312	1872	0	0	296,9	0,95	264,0
C_REF_C6 I28	312	1872	0	0	291,9	0,94	262,5
TOTAL	1872	11236	0	0	1944,7	1,04	262,7
C_A10_C1 C63	312	1684,8	0	187,2	333,1	1,07	159,5
C_A10_C2 C28	312	1684,8	0	187,2	337,9	1,08	260,5
C_A10_C3 C7	312	1684,8	0	187,2	340,9	1,09	260,0
C_A10_C4 T28	312	1684,8	0	187,2	351,6	1,13	258,5
C_A10_C5 A28	312	1684,8	0	187,2	346,7	1,11	262,5
C_A10_C6 I28	312	1684,8	0	187,2	360,2	1,15	261,0
TOTAL	1872	10108,8	0	1123,2	2070,4	1,11	243,7
C_A15_C1 C63	343,3	440,3	0	280,8	389,1	1,13	265,0
C_A15_C2 C28	312	397,8	0	280,8	363,4	1,16	263,0
C_A15_C3 C7	312	397,8	0	280,8	355,2	1,14	260,5
C_A15_C4 T28	312	397,8	0	280,8	352,8	1,13	261,0
C_A15_C5 A28	312	397,8	0	280,8	375,9	1,20	264,5
C_A15_C6 I28	312	397,8	0	280,8	322,1	1,03	262,0
TOTAL	1903,3	9717,2	0	1714,8	2158,5	1,13	262,7
C_A20_C1 C63	312	374,4	0	374,4	372	1,19	261,0
C_A20_C2 C28	312	374,4	0	374,4	364,1	1,17	257,0
C_A20_C3 C7	312	374,4	0	374,4	391,3	1,25	265,0
C_A20_C4 T28	312	374,4	0	374,4	398,4	1,28	255,0
C_A20_C5 A28	312	374,4	0	374,4	357,1	1,14	260,0
C_A20_C6 I28	312	374,4	0	374,4	387,3	1,24	263,5
TOTAL	1872	8985,6	0	2246,4	2270,2	1,21	260,3
C_C5_C1 C63	315,4	1992	16,6	0	310,5	0,94	263,5
C_C5_C2 C28	296,4	1872	15,6	0	319	1,02	262,0
C_C5_C3 C7	296,4	1872	15,6	0	323,2	1,04	258,0
C_C5_T28	296,4	1872	15,6	0	333,7	1,07	262,5
C_C5_C5 A28	296,4	1872	15,6	0	390,1	1,25	265,0
C_C5_C6 I28	296,4	1872	15,6	0	318	1,02	265,0
TOTAL	1797,4	11352	94,6	0	1994,5	1,06	262,7
C_C10_C1 C63	280,8	1872	31,2	0	363,4	1,16	255,0
C_C10_C2 C28	292,12	1992	32,5	0	330,9	1,02	263,0
C_C10_C3 C7	289,9	1932	32,2	0	318,9	0,99	258,0
C_C10_T28	280,8	1872	31,2	0	333,3	1,07	255,0
C_C10_C5 A28	280,8	1872	31,2	0	326	1,04	261,5
C_C10_C6 I28	280,8	1872	31,2	0	307,6	0,99	257,5
TOTAL	1705,22	11412	189,5	0	1980,1	1,05	258,3
C_C15_C1 C63	287,66	2032	26,46	0	342,6	1,09	265,0
C_C15_C2 C28	265,2	1872	46,8	0	316,5	1,01	259,0
C_C15_C3 C7	265,2	1872	46,8	0	331,5	1,06	256,0
C_C15_T28	265,2	1872	46,8	0	319,2	1,02	261,5
C_C15_C5 A28	265,2	1872	46,8	0	320,1	1,03	261,0
C_C15_C6 I28	265,2	1872	46,8	0	313,6	1,01	264,0
TOTAL	1613,66	11392	260,46	0	1943,4	1,04	261,1

TABELA 44: Consumos das argamassas mistas 1:2:8

TRAÇO	CIMENTO	CAL	AREIA	RCV 45µm	RCV	AGUA	A/C	I.C.
M_REF_M1_C63	234	468	1872	0	0	406,8	0,58	255,0
M_REF_M2_C28	234	468	1872	0	0	412,7	0,59	257,5
M_REF_M3_C7	234	468	1872	0	0	435,1	0,62	252,5
M_REF_M4_T28	234	468	1872	0	0	448,4	0,64	262,5
M_REF_M5_A28	234	468	1872	0	0	419,3	0,60	260,0
M_REF_M6_I28	234	468	1872	0	0	429,4	0,61	259,0
TOTAL	1404	2808	11232	0	0	2551,7	0,61	257,8
M_A10_M1_C63	234	468	1684,8	0	187,2	437,7	0,62	262,0
M_A10_M2_C28	234	468	1684,8	0	187,2	440,5	0,63	258,0
M_A10_M3_C7	234	468	1684,8	0	187,2	453,2	0,65	255,0
M_A10_M4_T28	234	468	1684,8	0	187,2	451,3	0,64	257,0
M_A10_M5_A28	234	468	1684,8	0	187,2	469	0,67	255,0
M_A10_M6_I28	234	468	1684,8	0	187,2	472,2	0,67	255,0
TOTAL	1404	2808	10108,8	0	1123,2	2723,9	0,65	257,0
M_A15_M1_C63	234	468	1591,2	0	280,8	449,25	0,64	255,0
M_A15_M2_C28	234	468	1591,2	0	280,8	451,7	0,64	260,0
M_A15_M3_C7	234	468	1591,2	0	280,8	491,4	0,70	259,0
M_A15_M4_T28	234	468	1591,2	0	280,8	458,1	0,65	265,0
M_A15_M5_A28	234	468	1591,2	0	280,8	478,6	0,68	258,0
M_A15_M6_I28	234	468	1591,2	0	280,8	479,3	0,68	257,5
TOTAL	1404	2808	9547,2	0	1684,8	2808,35	0,67	259,1
M_A20_M1_C63	234	468	1497,6	0	374,4	478,2	0,68	256,0
M_A20_M2_C28	234	468	1497,6	0	374,4	470	0,67	262,5
M_A20_M3_C7	234	468	1497,6	0	374,4	501,4	0,71	258,0
M_A20_M4_T28	234	468	1497,6	0	374,4	479,7	0,68	265,0
M_A20_M5_A28	234	468	1497,6	0	374,4	391,5	0,56	257,0
M_A20_M6_I28	234	468	1497,6	0	374,4	497	0,71	257,5
TOTAL	1404	2808	8985,6	0	2246,4	2817,8	0,67	259,3
M_C5_M1_C63	222,3	468	1872	11,7	0	403,6	0,57	256,0
M_C5_M2_C28	222,3	468	1872	11,7	0	424,6	0,60	257,0
M_C5_M3_C7	222,3	468	1872	11,7	0	421,4	0,60	265,0
M_C5_T28	222,3	468	1872	11,7	0	417,5	0,59	255,0
M_C5_M5_A28	222,3	468	1872	11,7	0	430,6	0,61	257,0
M_C5_M6_I28	222,3	468	1872	11,7	0	436,7	0,62	263,0
TOTAL	1333,8	2808	11232	70,2	0	2534,4	0,60	258,8
M_C10_M1_C63	210,6	468	1872	23,4	0	423,7	0,60	264,5
M_C10_M2_C28	210,6	468	1872	23,4	0	418,2	0,60	257,0
M_C10_M3_C7	210,6	468	1872	31,2	0	441,9	0,62	258,0
M_C10_T28	210,6	468	1872	23,4	0	441,2	0,63	257,0
M_C10_M5_A28	210,6	468	1872	23,4	0	423,5	0,60	255,0
M_C10_M6_I28	210,6	468	1872	23,4	0	432,5	0,62	257,5
TOTAL	1263,6	2808	11232	148,2	0	2581	0,61	258,2
M_C15_M1_C63	198,9	468	1872	35,1	0	415,2	0,59	258,0
M_C15_M2_C28	198,9	468	1872	35,1	0	430	0,61	259,0
M_C15_M3_C7	198,9	468	1872	46,8	0	442,5	0,62	255,0
M_C15_T28	198,9	468	1872	35,1	0	414,6	0,59	265,0
M_C15_M5_A28	198,9	468	1872	35,1	0	439,2	0,63	262,0
M_C15_M6_I28	198,9	468	1872	35,1	0	443,8	0,63	265,0
TOTAL	1193,4	2808	11232	222,3	0	2585,3	0,61	260,7

APENDICE C – RESULTADOS ARGAMASSAS 1:6

TABELA 45: Resultados completos de resistência à compressão

REF C1 63 DIAS				REF C2 28 DIAS				REF C1 7 DIAS			
	kN.m	MPa	MPa		kN.m	MPa	MPa		kN.m	MPa	MPa
CP1	27,3	14,10	15,43	CP1	19,8	10,23	10,76	CP1	10,2	5,27	6,29
CP2	30,7	15,86		CP2	23,4	12,09		CP2	12,5	6,46	
CP3	33,1	17,10		CP3	19,9	10,28		CP3	11,7	6,04	
CP4	33,3	17,20		CP4	23,8	12,30		CP4	12,9	6,66	
CP5	24,7	12,76		CP5	17,9	9,25		CP5	12,5	6,46	
CP6	30,1	15,55		CP6	20,2	10,44		CP6	13,3	6,87	
A10 C1 63 DIAS				A10 C2 28 DIAS				A10 C1 7 DIAS			
CP1	16,5	8,52	9,42	CP1	16,1	8,32	7,41	CP1	10,3	5,32	5,79
CP2	20,9	10,80		CP2	13,7	7,08		CP2	11,5	5,94	
CP3	17,9	9,25		CP3	12	6,20		CP3	11,3	5,84	
CP4	18,5	9,56		CP4	14,9	7,70		CP4	11,2	5,79	
CP5	17,3	8,94		CP5	15	7,75		CP5	11,7	6,04	
CP6	18,3	9,45		CP6	13,6	7,03		CP6	10,2	5,27	
A15 C1 63 DIAS				A15 C2 28 DIAS				A15 C1 7 DIAS			
CP1	15,8	8,16	8,49	CP1	12,1	6,25	6,52	CP1	10,2	5,27	5,63
CP2	15,8	8,16		CP2	14,6	7,54		CP2	11,1	5,73	
CP3	16,5	8,52		CP3	11,3	5,84		CP3	9,7	5,01	
CP4	16	8,27		CP4	13	6,72		CP4	11,9	6,15	
CP5	17,7	9,14		CP5	12,1	6,25		CP5	11,6	5,99	
CP6	16,8	8,68		CP6	12,7	6,56		CP6	9,8	5,06	
A20 C1 63 DIAS				A20 C2 28 DIAS				A20 C1 7 DIAS			
CP1	19,3	9,97	9,54	CP1	12,8	6,61	6,63	CP1	10,50	5,42	5,46
CP2	17,8	9,20		CP2	12,3	6,35		CP2	12,30	6,35	
CP3	19	9,82		CP3	13,1	6,77		CP3	9,30	4,80	
CP4	18,8	9,71		CP4	14,8	7,65		CP4	10,60	5,48	
CP5	17,1	8,83		CP5	11,9	6,15		CP5	10,00	5,17	
CP6	18,8	9,71		CP6	12,1	6,25		CP6	10,70	5,53	
C5 C1 63 DIAS				C5 C2 28 DIAS				C5 C1 7 DIAS			
CP1	34,3	17,72	16,20	CP1	24,7	12,76	11,81	CP1	9,40	4,86	5,10
CP2	32	16,53		CP2	21,8	11,26		CP2	10,60	5,48	
CP3	29,7	15,34		CP3	25,9	13,38		CP3	10,20	5,27	
CP4	30,1	15,55		CP4	22,3	11,52		CP4	10,60	5,48	
CP5	32,1	16,58		CP5	21,5	11,11		CP5	9,40	4,86	
CP6	29,9	15,45		CP6	21	10,85		CP6	9,00	4,65	
C10 C1 63 DIAS				C10 C2 28 DIAS				C10 C1 7 DIAS			
CP1	19,3	9,97	9,69	CP1	23	11,88	10,88	CP1	13,60	7,03	6,79
CP2	17	8,78		CP2	21,8	11,26		CP2	12,60	6,51	
CP3	20,1	10,38		CP3	22,2	11,47		CP3	11,30	5,84	
CP4	17,5	9,04		CP4	20,8	10,75		CP4	12,30	6,35	
CP5	18,5	9,56		CP5	18,6	9,61		CP5	14,20	7,34	
CP6	20,1	10,38		CP6	19,9	10,28		CP6	14,90	7,70	
C15 C1 63 DIAS				C15 C2 28 DIAS				C15 C1 7 DIAS			
CP1	24	12,40	12,49	CP1	20	10,33	10,47	CP1	11,30	5,84	5,72
CP2	22	11,37		CP2	20,4	10,54		CP2	10,80	5,58	
CP3	23,7	12,24		CP3	19,6	10,13		CP3	10,20	5,27	
CP4	23,7	12,24		CP4	20,2	10,44		CP4	10,80	5,58	
CP5	26,1	13,48		CP5	20,8	10,75		CP5	11,30	5,84	
CP6	25,6	13,23		CP6	20,6	10,64		CP6	12,00	6,20	

TABELA 46: Resultados completos de resistência à tração na flexão

REF TC			
	kN.m	MPa	MPa
CP1	2,3	5,93	5,84
CP2	2,4	6,19	
CP3	2,1	5,41	
A10 TC			
CP1	2,3	5,93	7,13
CP2	3,1	7,99	
CP3	2,9	7,48	
A15 TC			
CP1	2,1	5,41	5,33
CP2	1,7	4,38	
CP3	2,4	6,19	
A20 TC			
CP1	2,5	6,45	5,76
CP2	2,1	5,41	
CP3	2,1	5,41	
C5 TC			
CP1	2,4	6,19	6,70
CP2	2,8	7,22	
CP3	2,6	6,70	
C10 TC			
CP1	2,4	6,19	6,02
CP2	2	5,16	
CP3	2,6	6,70	
C15 TC			
CP1	3	7,73	7,56
CP2	3,2	8,25	
CP3	2,6	6,70	

TABELA 47: Resultados completos de absorção por capilaridade

TRAÇO	A (g)					B (g)	S (g)	C (g)				
	3h	6h	24h	48h	72h			3h	6h	24h	48h	72h
REF A	378,8	385,4	387,3	390,3	391,9	373,8	19,634	0,255	0,591	0,688	0,840	0,922
REF A	382,8	384,3	390,8	395,3	397,3	377,7	19,634	0,260	0,336	0,667	0,896	0,998
REF A	383,7	385,6	391,4	396,0	398,3	378,5	19,634	0,265	0,362	0,657	0,891	1,008
REF A	382,3	384,8	389,9	394,0	396,0	378,3	19,634	0,204	0,331	0,591	0,800	0,901
REF A	385,1	391,2	393,5	397,5	399,7	380,4	19,634	0,239	0,550	0,667	0,871	0,983
							média	0,255	0,362	0,667	0,871	0,983
A 10 1	373,0	379,1	384,5	390,2	393,0	370,8	19,634	0,112	0,423	0,698	0,988	1,131
A 10 2	387,7	391,2	395,6	400,7	403,4	382,4	19,634	0,270	0,448	0,672	0,932	1,070
A 10 3	375,8	377,1	383,9	389,4	392,1	370,5	19,634	0,270	0,336	0,682	0,963	1,100
A 10 4	373,3	375,8	382,3	387,0	389,4	370,8	19,634	0,127	0,255	0,586	0,825	0,947
A 10 5	372,5	375,6	379,2	383,9	386,7	368,4	19,634	0,209	0,367	0,550	0,789	0,932
							média	0,209	0,367	0,672	0,932	1,070
A 15 1	369,1	375,2	382,0	388,9	390,2	364,5	19,634	0,234	0,545	0,891	1,243	1,309
A 15 2	379,5	383,9	396,4	402,6	405,2	376,8	19,634	0,138	0,362	0,998	1,314	1,446
A 15 3	379,8	382,1	388,4	394,2	396,8	374,9	19,634	0,250	0,367	0,688	0,983	1,115
A 15 4	364,3	368,4	374,8	381,8	385,1	361,7	19,634	0,132	0,341	0,667	1,024	1,192
A 15 5	374,8	379,2	386,9	392,9	394,9	371,2	19,634	0,183	0,407	0,800	1,105	1,207
							média	0,183	0,367	0,800	1,105	1,207
A 20 1	385,4	391,6	396,4	401,0	402,4	378,6	19,634	0,346	0,662	0,907	1,141	1,212
A 20 2	380,0	383,2	393,4	398,0	400,5	372,5	19,634	0,382	0,545	1,064	1,299	1,426
A 20 3	384,3	391,5	397,8	403,2	405,6	379,4	19,634	0,250	0,616	0,937	1,212	1,334
A 20 4	371,5	376,5	383,8	388,5	390,0	365,8	19,634	0,290	0,545	0,917	1,156	1,233
A 20 5	380,0	384,8	390,8	395,9	397,4	374,1	19,634	0,300	0,545	0,851	1,110	1,187
							média	0,300	0,545	0,917	1,156	1,233
C 5 1	376,8	379,3	384,0	387,6	389,5	373,9	19,634	0,148	0,275	0,514	0,698	0,795
C 5 2	378,8	382,4	387,4	393,3	397,4	375,4	19,634	0,173	0,357	0,611	0,912	1,120
C 5 3	377,0	379,2	384,2	389,7	391,2	373,8	19,634	0,163	0,275	0,530	0,810	0,886
C 5 4	372,1	375,2	382,5	390,8	394,3	367,3	19,634	0,244	0,402	0,774	1,197	1,375
C 5 5	384,9	387,6	392,6	396,9	399,1	380,2	19,634	0,239	0,377	0,632	0,851	0,963
							média	0,173	0,357	0,611	0,851	0,963
C 10 1	375,5	379,3	386,3	391,7	395,1	371,0	19,634	0,229	0,423	0,779	1,054	1,227
C 10 2	376,7	380,4	387,6	393,2	396,0	373,3	19,634	0,173	0,362	0,728	1,014	1,156
C 10 3	379,8	384,6	397,6	405,4	405,6	374,8	19,634	0,255	0,499	1,161	1,558	1,569
C 10 4	375,0	381,6	390,4	397,9	401,6	372,6	19,634	0,122	0,458	0,907	1,289	1,477
C 10 5	381,3	377,1	393,0	397,5	399,7	376,9	19,634	0,224	0,010	0,820	1,049	1,161
							média	0,224	0,423	0,820	1,054	1,227
C 15 1	378,4	384,7	388,4	393,7	396,2	373,6	19,634	0,244	0,565	0,754	1,024	1,151
C 15 2	381,2	385,4	392,8	399,1	402,1	376,1	19,634	0,260	0,474	0,851	1,171	1,324
C 15 3	379,2	384,2	389,2	394,6	397,9	374,8	19,634	0,224	0,479	0,733	1,008	1,177
C 15 4	389,2	393,9	402,8	409,3	412,6	382,3	19,634	0,351	0,591	1,044	1,375	1,543
C 15 5	376,9	379,5	383,6	388,9	392,0	369,8	19,634	0,362	0,494	0,703	0,973	1,131
							média	0,260	0,494	0,754	1,024	1,177

FIGURA 1- Corpos de prova de argamassas mistas rompidos após o ensaio de capilaridade

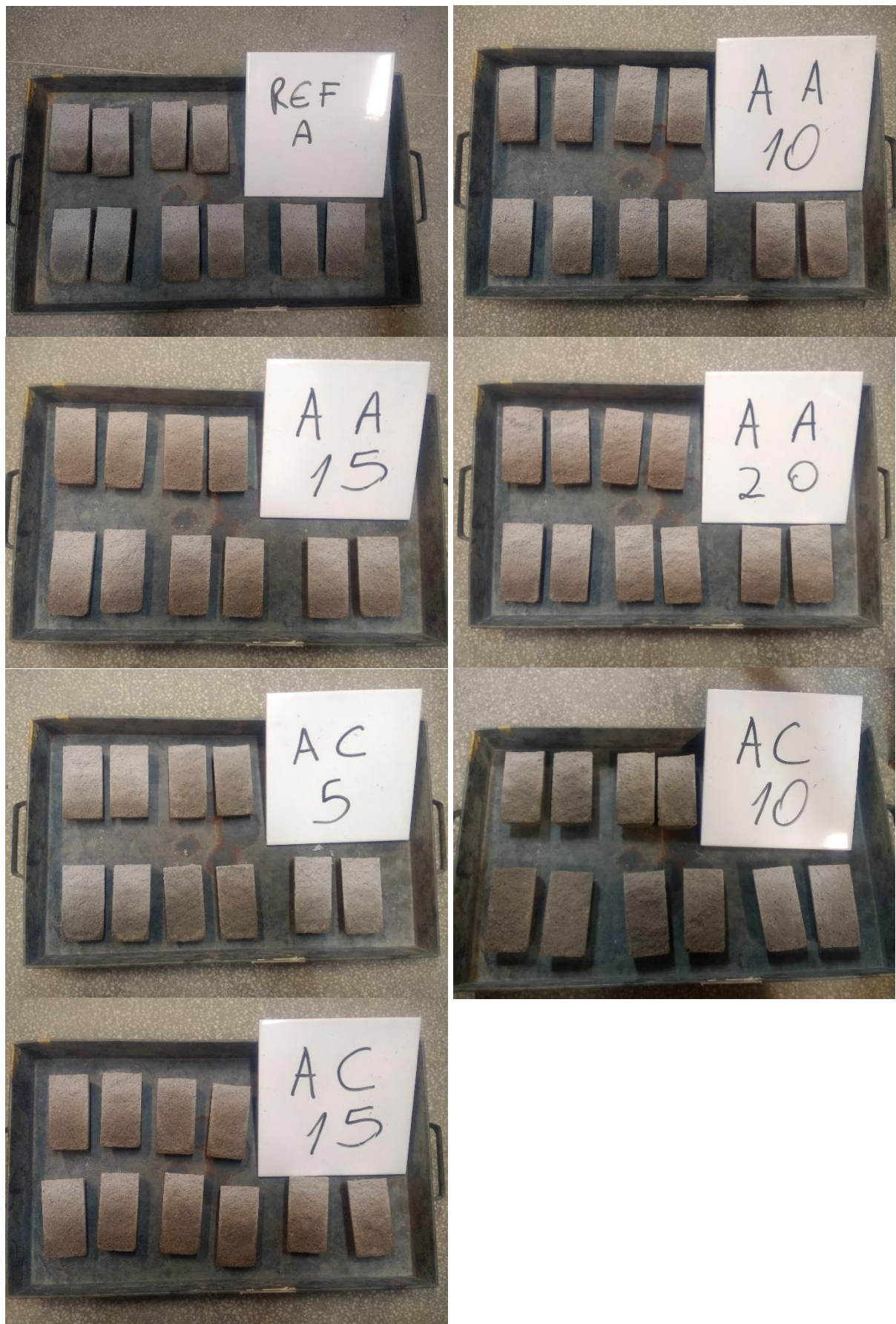


TABELA 48: Resultados completos de absorção por imersão

Código	Peso Seco	Imersão 23°C			Balança Hidrostática pós fervura	Absorção por imersão	Média	Índice de vazios	Média
	48h	24h	48h	72h					
REF 1	371,8	406,40	407,20	407,30	226,30	9,55	9,16	19,61	18,93
REF 2	374,4	406,30	407,10	407,50	227,30	8,84		18,37	
REF 3	388,1	420,20	421,40	421,90	235,40	8,71		18,12	
REF 4	376,2	411,40	412,10	412,50	229,40	9,65		19,83	
REF 5	371,8	404,50	405,00	405,50	225,60	9,06		18,73	
C5 1	386,6	422,40	423,20	423,80	235,60	9,62	9,72	19,77	19,93
C5 2	379,4	415,50	416,40	416,90	231,90	9,88		20,27	
C5 3	374,5	409,40	410,10	410,50	228,40	9,61		19,77	
C5 4	371,0	407,30	407,30	407,20	225,60	9,76		19,93	
C5 5	371,9	407,40	407,80	408,00	226,90	9,71		19,93	
C10 1	387,4	423,80	424,30	424,30	236,40	9,53	9,83	19,64	20,13
C10 2	383,6	419,60	420,30	420,40	234,20	9,59		19,76	
C10 3	370,0	405,20	406,10	406,10	225,30	9,76		19,97	
C10 4	368,6	406,10	406,70	407,10	225,00	10,44		21,14	
C15 1	372,5	409,40	410,00	410,00	226,90	10,07	10,18	20,48	20,49
C15 2	369,3	406,40	406,70	406,60	225,30	10,10		20,57	
C15 3	381,1	419,80	420,30	420,40	222,80	10,31		19,89	
C15 4	379,3	417,40	417,80	418,50	231,70	10,33		20,99	
C15 5	376,1	413,20	413,70	414,10	229,10	10,10		20,54	
A10 1	371,3	410,80	411,20	411,20	225,60	10,75	10,80	21,50	21,66
A10 2	367,4	406,60	407,30	407,30	224,30	10,86		21,80	
A10 3	366,8	405,90	406,10	406,30	223,50	10,77		21,61	
A10 4	363,9	403,60	403,70	403,90	221,80	10,99		21,97	
A10 5	383,2	423,10	423,70	423,90	233,80	10,62		21,41	
A15 1	364,4	406,00	406,10	406,50	222,40	11,55	11,87	22,87	23,31
A15 2	370,3	413,00	413,40	413,60	225,80	11,69		23,06	
A15 3	358,2	399,40	399,90	400,10	218,30	11,70		23,05	
A15 4	361,7	405,50	405,90	406,20	220,20	12,30		23,92	
A15 5	371,0	415,20	415,50	415,90	226,10	12,10		23,66	
A20 1	353,2	397,40	398,20	398,20	215,40	12,74	12,47	24,62	24,20
A20 2	355,9	399,70	400,30	400,00	216,60	12,39		24,05	
A20 3	356,4	402,60	402,90	403,00	218,10	13,08		25,20	
A20 4	360,5	401,60	402,00	401,80	219,30	11,46		22,63	
A20 5	355,0	399,60	399,90	400,10	215,90	12,70		24,48	

APENDICE D – RESULTADOS ARGAMASSAS 1:2:8

TABELA 49: Resultados completos de resistência à compressão

REF C1 63 DIAS				REF C2 28 DIAS				REF C1 7 DIAS			
	kN.m	MPa	MPa		kN.m	MPa	MPa		kN.m	MPa	MPa
CP1	25,9	13,38	12,86	CP1	18,8	9,71	12,01	CP1	9,8	5,06	4,95
CP2	28,3	14,62		CP2	21,5	11,11		CP2	8,8	4,55	
CP3	21	10,85		CP3	24,5	12,66		CP3	9,4	4,86	
CP4	25,9	13,38		CP4	25,6	13,23		CP4	9,5	4,91	
CP5	24,8	12,81		CP5	23,6	12,19		CP5	9,4	4,86	
CP6	23,4	12,09		CP6	25,5	13,17		CP6	10,6	5,48	
A10 C1 63 DIAS				A10 C2 28 DIAS				A10 C1 7 DIAS			
CP1	20,7	10,69	9,52	CP1	12,1	6,25	6,28	CP1	12,2	6,30	6,04
CP2	16,8	8,68		CP2	12,3	6,35		CP2	9,6	4,96	
CP3	20,9	10,80		CP3	13,7	7,08		CP3	12,1	6,25	
CP4	16,7	8,63		CP4	11,7	6,04		CP4	13,1	6,77	
CP5	15,2	7,85		CP5	12,9	6,66		CP5	12,1	6,25	
CP6	20,3	10,49		CP6	10,2	5,27		CP6	11	5,68	
A15 C1 63 DIAS				A15 C2 28 DIAS				A15 C1 7 DIAS			
CP1	21,8	11,26	10,78	CP1	11,8	6,10	6,79	CP1	7,20	3,72	4,53
CP2	22,2	11,47		CP2	14,1	7,28		CP2	7,50	3,87	
CP3	19,4	10,02		CP3	12,2	6,30		CP3	9,90	5,11	
CP4	23,1	11,93		CP4	14,4	7,44		CP4	9,40	4,86	
CP5	17,5	9,04		CP5	12,3	6,35		CP5	10,40	5,37	
CP6	21,2	10,95		CP6	14,1	7,28		CP6	8,20	4,24	
A20 C1 63 DIAS				A20 C2 28 DIAS				A20 C1 7 DIAS			
CP1	14	7,23	6,95	CP1	12,2	6,30	6,84	CP1	9,10	4,70	4,22
CP2	13	6,72		CP2	13,8	7,13		CP2	8,50	4,39	
CP3	13,4	6,92		CP3	13,1	6,77		CP3	9,20	4,75	
CP4	14,3	7,39		CP4	12,4	6,41		CP4	7,70	3,98	
CP5	12,4	6,41		CP5	12,7	6,56		CP5	7,80	4,03	
CP6	13,6	7,03		CP6	15,2	7,85		CP6	6,70	3,46	
C5 C1 63 DIAS				C5 C2 28 DIAS				C5 C1 7 DIAS			
CP1	23,7	12,24	11,97	CP1	12,10	6,25	7,87	CP1	9,40	4,86	4,93
CP2	24,8	12,81		CP2	14,60	7,54		CP2	9,30	4,80	
CP3	23,3	12,04		CP3	16,00	8,27		CP3	9,90	5,11	
CP4	23,2	11,99		CP4	15,10	7,80		CP4	10,20	5,27	
CP5	20,3	10,49		CP5	18,00	9,30		CP5	9,30	4,80	
CP6	23,7	12,24		CP6	15,60	8,06		CP6	9,10	4,70	
C10 C1 63 DIAS				C10 C2 28 DIAS				C10 C1 7 DIAS			
CP1	19,1	9,87	10,29	CP1	15,2	7,85	8,23	CP1	8,40	4,34	3,97
CP2	21,8	11,26		CP2	17,8	9,20		CP2	8,00	4,13	
CP3	20	10,33		CP3	14,8	7,65		CP3	7,10	3,67	
CP4	18,5	9,56		CP4	18,5	9,56		CP4	7,70	3,98	
CP5	19,6	10,13		CP5	14,5	7,49		CP5	7,80	4,03	
CP6	20,5	10,59		CP6	14,8	7,65		CP6	7,10	3,67	
C15 C1 63 DIAS				C15 C2 28 DIAS				C15 C1 7 DIAS			
CP1	12,1	6,25	6,91	CP1	17,3	8,94	8,68	CP1	7,90	4,08	3,96
CP2	12,5	6,46		CP2	15,8	8,16		CP2	8,00	4,13	
CP3	11,8	6,10		CP3	18,4	9,51		CP3	7,00	3,62	
CP4	16,8	8,68		CP4	16,6	8,58		CP4	7,30	3,77	
CP5	13,3	6,87		CP5	15,2	7,85		CP5	7,70	3,98	
CP6	13,8	7,13		CP6	17,5	9,04		CP6	8,10	4,18	

TABELA 50: Resultados completos de resistência à tração na flexão

REF TM			
	kN.m	MPa	MPa
CP1	1,7	4,38	5,07
CP2	2,1	5,41	
CP3	2,1	5,41	
A10 TM			
CP1	1,7	4,38	5,24
CP2	2,2	5,67	
CP3	2,2	5,67	
A15 TM			
CP1	1,6	4,13	3,78
CP2	1,7	4,38	
CP3	1,1	2,84	
A20 TM			
CP1	3,8	9,80	5,93
CP2	1,6	4,13	
CP3	1,5	3,87	
C5 TM			
CP1	2,1	5,41	6,96
CP2	2,9	7,48	
CP3	3,1	7,99	
C10 TM			
CP1	1,8	4,64	4,98
CP2	1,9	4,90	
CP3	2,1	5,41	
C15 TM			
CP1	4,8	12,38	8,59
CP2	2,8	7,22	
CP3	2,4	6,19	

TABELA 51: Resultados completos de absorção por capilaridade

TRAÇO	A (g)					B (g)	S (g)	C (g)				
	3h	6h	24h	48h	72h			3h	6h	24h	48h	72h
REF A	378,3	382,6	396,4	407,9	413,6	372,0	19,634	0,321	0,540	1,243	1,828	2,119
REF A	371,6	376,4	390,0	401,9	406,9	363,9	19,634	0,392	0,637	1,329	1,935	2,190
REF A	375,9	383,8	404,0	406,5	406,7	362,5	19,634	0,682	1,085	2,114	2,241	2,251
REF A	369,0	374,1	385,9	397,6	401,6	360,0	19,634	0,458	0,718	1,319	1,915	2,119
REF A	372,1	377,8	393,6	404,9	405,4	362,9	19,634	0,469	0,759	1,564	2,139	2,165
							média	0,458	0,718	1,329	1,935	2,165
A 10 1	357,4	359,8	368,2	374,1	377,6	353,4	19,634	0,204	0,326	0,754	1,054	1,233
A 10 2	359,5	361,9	370,4	377,6	381,5	355,6	19,634	0,199	0,321	0,754	1,120	1,319
A 10 3	365,6	368,2	376,6	385,8	391,7	360,8	19,634	0,244	0,377	0,805	1,273	1,574
A 10 4	360,0	361,6	368,1	374,5	378,7	356,7	19,634	0,168	0,250	0,581	0,907	1,120
A 10 5	379,2	388,9	412,2	415,7	416,1	365,2	19,634	0,713	1,207	2,394	2,572	2,592
							média	0,204	0,326	0,754	1,120	1,319
A 15 1	367,6	368,6	373,6	379,9	383,5	364,5	19,634	0,158	0,209	0,463	0,784	0,968
A 15 2	351,0	352,5	359,6	367,3	373,4	347,8	19,634	0,163	0,239	0,601	0,993	1,304
A 15 3	361,6	366,5	383,8	398,4	400,4	353,4	19,634	0,418	0,667	1,548	2,292	2,394
A 15 4	361,4	363,4	371,0	376,6	380,3	358,0	19,634	0,173	0,275	0,662	0,947	1,136
A 15 5	382,3	386,9	400,9	413,8	421,3	374,2	19,634	0,413	0,647	1,360	2,017	2,399
							média	0,173	0,275	0,662	0,993	1,304
A 20 1	353,7	356,7	369,3	381,7	391,6	348,0	19,634	0,290	0,443	1,085	1,716	2,221
A 20 2	358,0	366,2	393,9	398,9	399,4	347,9	19,634	0,514	0,932	2,343	2,597	2,623
A 20 3	368,6	374,5	390,4	408,0	412,3	359,8	19,634	0,448	0,749	1,558	2,455	2,674
A 20 4	355,5	358,4	370,6	385,6	398,1	350,0	19,634	0,280	0,428	1,049	1,813	2,450
A 20 5	357,2	362,1	384,9	400,3	401,0	349,4	19,634	0,397	0,647	1,808	2,592	2,628
							média	0,397	0,647	1,558	2,455	2,623
C 5 1	369,5	371,6	376,6	380,5	383,4	365,9	19,634	0,183	0,290	0,545	0,744	0,891
C 5 2	364,5	366,2	372,3	377,4	380,9	361,0	19,634	0,178	0,265	0,576	0,835	1,014
C 5 3	377,1	379,0	384,9	389,0	391,6	374,2	19,634	0,148	0,244	0,545	0,754	0,886
C 5 4	368,8	371,2	378,6	385,7	394,4	364,9	19,634	0,199	0,321	0,698	1,059	1,502
C 5 5	369,2	372,0	378,8	386,5	392,2	364,9	19,634	0,219	0,362	0,708	1,100	1,390
							média	0,183	0,290	0,576	0,835	1,014
C 10 1	372,0	376,0	390,0	403,5	409,1	366,1	19,634	0,300	0,504	1,217	1,905	2,190
C 10 2	367,9	369,7	376,2	382,0	385,5	364,8	19,634	0,158	0,250	0,581	0,876	1,054
C 10 3	368,4	370,9	379,1	387,1	393,4	363,9	19,634	0,229	0,357	0,774	1,182	1,502
C 10 4	378,7	380,9	389,8	399,1	405,7	374,2	19,634	0,229	0,341	0,795	1,268	1,604
C 10 5	365,4	366,9	373,1	379,3	383,4	362,5	19,634	0,148	0,224	0,540	0,856	1,064
							média	0,229	0,341	0,774	1,182	1,502
C 15 1	363,7	365,0	370,9	376,8	380,1	360,8	19,634	0,148	0,214	0,514	0,815	0,983
C 15 2	372,0	377,3	394,4	404,4	405,6	359,8	19,634	0,621	0,891	1,762	2,272	2,333
C 15 3	367,1	370,1	380,8	389,3	394,6	361,9	19,634	0,265	0,418	0,963	1,396	1,665
C 15 4	387,7	395,7	417,6	419,4	419,8	371,0	19,634	0,851	1,258	2,373	2,465	2,485
C 15 5	367,1	369,0	379,1	387,7	393,0	362,9	19,634	0,214	0,311	0,825	1,263	1,533
							média	0,265	0,418	0,963	1,396	1,665

Figura 2 - Corpos de prova de argamassas mistas rompidos após o ensaio de capilaridade

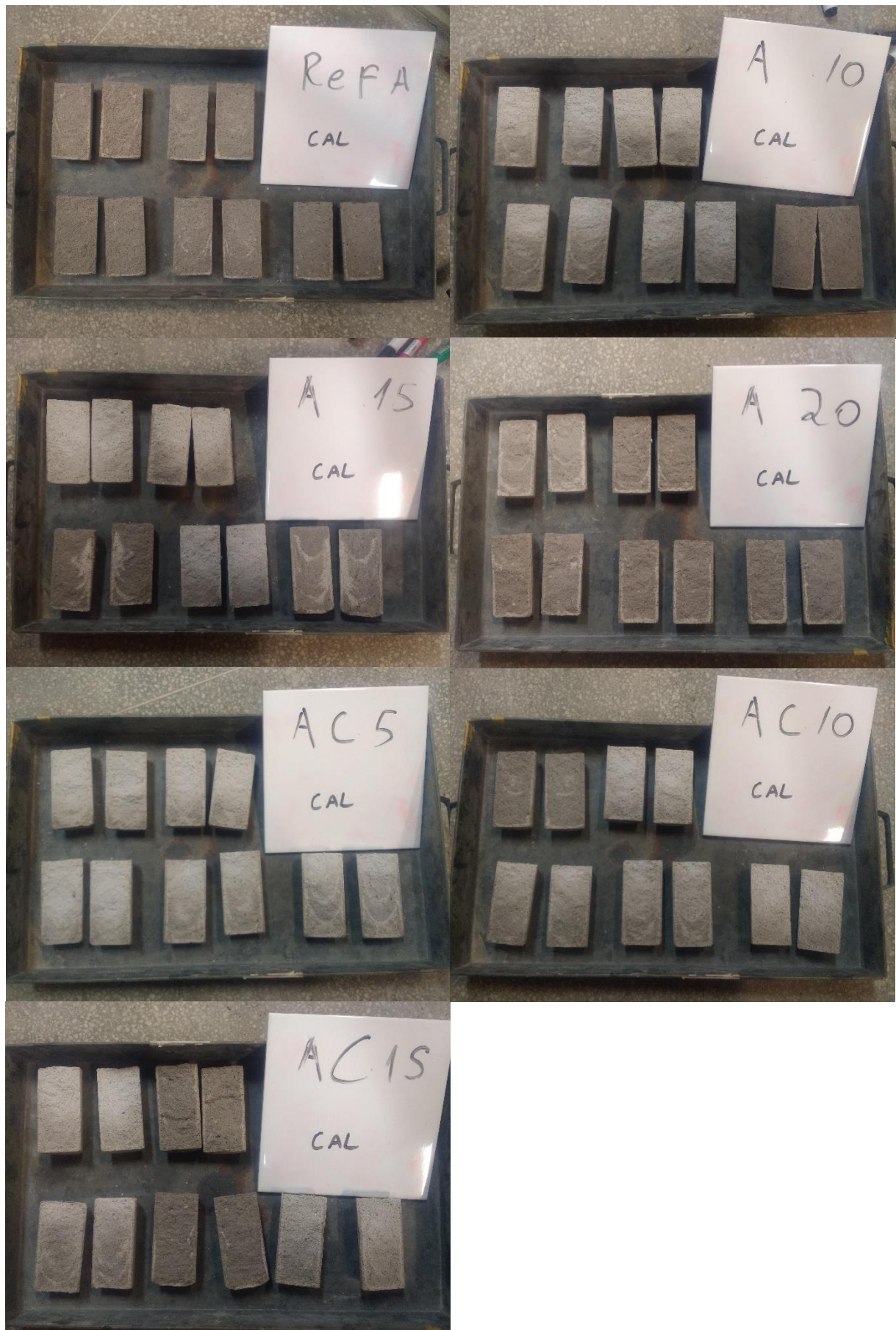


TABELA 52: Resultados completos de absorção por imersão

Código	Peso Seco	Imersão 23°C	Balança Hidrostática pós fervura	Absorção por imersão	Média	Índice de vazios	Média
	48h	72h					
REF 1	364,2	407,50	214,90	11,64	11,89	22,07	22,35
REF 2	365,6	410,60	215,90	12,06		22,70	
REF 3	372,5	418,90	218,20	12,13		22,57	
REF 4	361,7	406,10	212,50	12,03		22,52	
REF 5	362,9	405,80	212,90	11,61		21,88	
C5 1	369,6	414,00	213,30	11,83	12,11	21,82	22,46
C5 2	376,9	424,30	221,90	12,46		23,22	
C5 3	360,4	402,50	209,80	11,53		21,59	
C5 4	362,8	407,80	213,70	12,22		22,87	
C5 5	368,2	414,80	212,70	12,50		22,81	
C10 1	371,8	419,10	219,50	12,63	12,45	23,55	23,13
C10 2	364,0	410,60	212,90	12,65		23,32	
C10 3	366,4	413,30	215,50	12,62		23,41	
C10 4	364,5	409,80	215,00	12,18		22,84	
C15 1	360,1	407,40	202,00	12,88	12,75	22,64	22,42
C15 2	358,9	405,80	200,60	12,82		22,47	
C15 3	359,1	405,30	202,80	12,52		22,27	
C15 4	358,6	403,70	199,60	12,29		21,66	
C15 5	371,0	420,90	207,80	13,24		23,09	
A10 1	365,4	414,50	205,00	13,16	13,55	23,01	23,36
A10 2	366,0	418,10	204,50	13,92		23,92	
A10 3	358,4	407,00	198,10	13,34		22,93	
A10 4	352,4	401,20	195,60	13,62		23,39	
A10 5	366,3	417,10	204,10	13,68		23,57	
A15 1	362,5	414,70	201,40	14,15	14,26	24,10	24,18
A15 2	365,0	418,40	202,90	14,41		24,45	
A15 3	352,6	402,90	194,60	14,04		23,81	
A15 4	350,2	402,10	193,80	14,59		24,58	
A15 5	356,7	408,10	197,30	14,12		23,96	
A20 1	346,4	399,10	188,90	14,98	14,91	24,74	25,86
A20 2	355,8	408,00	209,70	14,51		26,07	
A20 3	346,6	398,90	190,90	14,86		24,81	
A20 4	345,9	397,90	202,40	14,83		26,29	
A20 5	348,0	401,00	205,90	15,36		27,37	