



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Maria Gabriela de Lima Alvarenga

Análise de desempenho de argamassas com utilização de resíduos de construção e demolição de alvenaria como substituto parcial de agregado miúdo natural

Rio de Janeiro

2018

Maria Gabriela de Lima Alvarenga

Análise de desempenho de argamassas com utilização de resíduos de construção e demolição de alvenaria como substituto parcial de agregado miúdo natural



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa da Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Área de concentração: Estruturas.

Orientadora: Prof. D. Sc. Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares

Coorientadora: Prof. D.Sc. Luciane Farias Ribas

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A473 Alvarenga, Maria Gabriela de Lima.
Análise de desempenho de argamassas com utilização de
resíduos de construção e demolição de alvenaria como substituto
parcial de agregado miúdo natural / Maria Gabriela de Lima
Alvarenga. – 2018.
125f.

Orientadora: Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares.
Coorientadora: Luciana Farias Ribas
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Resíduos como material de
construção - Teses. 3. Argamassa - Teses. 4. Agregados (Materiais
de construção) - Teses. 5. Sustentabilidade - Teses. I. Tavares,
Maria Elizabeth da Nóbrega. II. Ribas, Luciana Farias. III.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de
Engenharia. IV. Título.

CDU 691.322:628.4.043

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Maria Gabriela de Lima Alvarenga

Análise de desempenho de argamassas com utilização de resíduos de construção e demolição de alvenaria como substituto parcial de agregado miúdo natural

Dissertação apresentada. Como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Estruturas.

Aprovada em 04 de junho de 2018.

Banca Examinadora:

Prof. D.Sc. Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares (Orientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. D.Sc. Luciane Farias Ribas (Coorientadora)
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. D.Sc. Reila Vargas Velasco
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - UFRJ

Prof. Dr^a. Margareth da Silva Magalhães
Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2018

AGRADECIMENTOS

À minha família, por serem sempre os incentivadores dos meus projetos, entenderem a minha ausência e se orgulharem das minhas vitórias. Aos meus pais Karla e José Carlos, minha avó Clara, meus irmãos Rodrigo e Heitor. Aos meus tios Cal, Marcelo e André pelo exemplo para continuidade na carreira acadêmica.

Ao meu Bruno pela parceria em todos os momentos, em especial nesses últimos dois anos, tendo acompanhado de perto todas as dificuldades que enfrentei em cada fase do mestrado, por ter me incentivado e me apoiado quando mais precisei, dividindo seu dia-a-dia comigo e tornado a jornada mais leve.

Aos funcionários, professores e alunos que por meio de atitudes solidárias permitiram que eu concluísse este mestrado durante um momento de grande dificuldade para UERJ.

Aos alunos e aos técnicos do laboratório de Engenharia Civil da UERJ. Em especial à aluna Beatriz Proeschold Bravin que se mostrou solícita desde o primeiro ao último dia dos meus ensaios e que além de uma grande profissional se mostrou uma amiga especial, teria sido muito mais difícil sem a sua ajuda.

À professora Regina Souza pelo empréstimo dos equipamentos e por sempre ter se mostrado disponível todas as vezes que a procurei.

À minha orientadora Maria Elizabeth Tavares por tudo que sempre faz pela nossa Universidade, por ter abraçado o meu trabalho quando mais precisei se mostrando sempre atenciosa e por ser um exemplo incansável de dedicação.

À minha coorientadora Luciane Ribas por desde a graduação ter sido uma inspiração, por sempre ter acreditado em mim e por ter confiado para que eu prosseguisse com este trabalho. Mesmo distante, independente de seus compromissos pessoais e profissionais, nunca deixou de atender às minhas questões e principalmente por sempre ter uma palavra motivadora em todos os momentos.

A Deus, agradeço pela honra de ser possuidora dos meus sonhos e por dar-me força para vê-los se concretizarem com o esforço de cada dia.

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei;
não fosse por elas, eu não teria saído do lugar.

As facilidades nos impedem de caminhar.

Chico Xavier

RESUMO

ALVARENGA, M.G.L. *Análise de desempenho de argamassas com utilização de resíduos de construção e demolição de alvenaria como substituto parcial de agregado miúdo natural*. 2018. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

O impacto negativo da construção civil no meio ambiente é conhecido tanto pela produção dos materiais utilizados como matéria prima, quanto pela geração de resíduos sólidos durante os processos de construção e demolição. Uma solução alternativa é a utilização de agregados reciclados. Apesar da influência de utilização de agregados reciclados já ser conhecida em concretos e pavimentação, em argamassas ainda não há um consenso na literatura. Este estudo propõe avaliar o desempenho de argamassas de revestimento e assentamento com substituição parcial de agregados naturais por agregados reciclados oriundos de três tipos de resíduos de construção e demolição de alvenarias: resíduo de bloco cerâmico, resíduo de argamassa e resíduo misto de demolição. Para análise foram confeccionadas argamassas com 30% e 50% de substituição do agregado natural miúdo com dois traços, um fraco 1:6 para revestimento e um forte 1:3 para assentamento, comparando com traços de referência. Para análise estatística dos resultados utilizou-se o método ANOVA e como complementação a análise de componente principal. Para avaliar as argamassas de revestimento foram confeccionadas paredes revestidas com as misturas estudadas que ficaram expostas em ambiente externo e realizaram-se ensaios de resistência à aderência e de permeabilidade. Observou-se que houve uma tendência crescente na resistência mecânica das argamassas com a utilização de resíduos, entretanto, apenas a argamassa de revestimento com 30% de resíduo de argamassa se mostrou efetivamente mais resistente que as demais segundo a ANOVA. Para aderência houve uma diferenciação de comportamento de acordo com o tipo de resíduo utilizado, destacando-se o resíduo de bloco cerâmico. ANOVA, todavia, indicou baixa variabilidade dos resultados. Para a permeabilidade, a mistura com 50% de bloco cerâmico se mostrou mais permeável, segundo análise estatística, as demais não apresentaram variabilidade significativa entre si. Para avaliar as argamassas de assentamento, além de análise de resistência mecânica, foi realizado ensaio de compressão de prismas de alvenaria, assentados com as misturas estudadas. Os resultados de resistência mecânica indicaram uma tendência decrescente com a utilização de resíduos, entretanto, a análise estatística indicou que não houve variação significativa dos resultados, sugerindo a baixa influência da utilização dos resíduos para essa propriedade. Por meio dos resultados, foi confirmada a aplicabilidade da utilização de agregados reciclados tanto para argamassa de revestimento quanto assentamento.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Resíduo; Argamassa; Agregado.

ABSTRACT

ALVARENGA, M.G.L. *Performance analysis of mortars with construction and demolition masonry's waste as partial substitute of natural fine aggregate*. 2018. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The negative impact of construction on the environment is known both for the production of the materials used as raw material and for the generation of solid waste during the construction and demolition processes. An alternative solution is the use of recycled aggregates. Despite the influence of the use of recycled aggregates already known in concrete and paving, in mortars there is still no consensus in the literature. This study proposes to evaluate the performance of rendering and bedding mortars with partial replacement of natural aggregates by recycled aggregates from three types of waste from building and demolition of masonry: ceramic block residue, mortar residue and mixed demolition residue. For analysis, mortars with 30% and 50% replacement of the natural aggregate with two traces were made, a weak 1: 6 for rendering and a strong 1: 3 for bedding, comparing with reference traces. Statistical analysis of the results was done using the ANOVA method and as a complement to the principal component analysis. To evaluate the rendering mortars were prepared walls rendered with the studied mixtures that were exposed in external environment and tests of resistance to adhesion and permeability were carried out. It was observed that there was an increasing tendency in the mechanical resistance of the mortars with the use of residues, however, only the mortars with 30% of the mortar residue proved to be more resistant than the others according to the ANOVA. For adherence, there was a behavioral differentiation according to the type of residue used, highlighting the ceramic block residue. ANOVA, however, indicated low variability of the results. For the permeability, the mixture with 50% of ceramic block was more permeable, according to statistical analysis, the others did not present significant variability among themselves. In order to evaluate mortar, in addition to mechanical strength analysis, a compression test of masonry prisms was performed, seated with the studied mixtures. The results of mechanical resistance indicated a decreasing trend with the use of residues, however, the statistical analysis indicated that there was no significant variation of the results, suggesting the low influence of the use of the residues for this property. Through the results, the applicability of the use of recycled aggregates for both coating mortar and settlement was confirmed.

Keyword: Sustainable; Waste; Mortar; Aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise microscópica de agregados.....	20
Figura 2 - Equipamento para medição consistência.....	25
Figura 3 - Ensaio de aderência em bloco cerâmico	31
Figura 4 - Ensaio de aderência em blocos de concreto.....	31
Figura 5 - Ensaio de aderência em placas cerâmicas	32
Figura 6 - Construção de alvenarias para testes.....	33
Figura 7 - Alvenaria construída em ambiente controlado para testes.....	33
Figura 8 - Aplicação de revestimento em alvenarias para teste	33
Figura 9 - Construção de alvenarias para testes de desempenho	34
Figura 10 - Alvenarias chapiscadas para ensaio.....	34
Figura 11 - Revestimento de alvenaria para ensaio	35
Figura 12 - Teste de aderência nas alvenarias	35
Figura 13 - Teste de permeabilidade em alvenaria	35
Figura 14 - Aplicação de revestimento para teste	36
Figura 15 - Teste de aderência e permeabilidade em alvenaria.....	36
Figura 16 - Ensaio de compressão de prismas e parede	38
Figura 17 - Teste de compressão protótipo alvenaria	39
Figura 18 - Ensaio de compressão em prismas de alvenaria	40
Figura 19 - Modelo para ensaio de aderência entre blocos de alvenaria.....	40
Figura 20 - Teste aderência à flexão.....	41
Figura 21 - Teste aderência ao cisalhamento	41
Figura 22 - Identificação dos resíduos reciclados utilizados.....	53
Figura 23 - Nomenclatura das argamassas estudadas	54
Figura 24 - Fluxograma planejamento experimental	55
Figura 25 - Modelo de bloco cerâmico para alvenaria.....	57
Figura 26 Equipamento utilizado para britar resíduos	58
Figura 27 - Resíduo de bloco cerâmico após britagem	59
Figura 28 - Produção e beneficiamento de resíduo de alvenaria	60
Figura 29 - Produção e beneficiamento do resíduo de parede de alvenaria.....	61
Figura 30 - Ensaio de caracterização dos agregados realizados	62
Figura 31 Gráfico análise granulométrica agregados.....	63
Figura 32 - Ensaio de massa unitária.....	65
Figura 33 - Homogeneização dos agregados	67

Figura 34 - Argamassadeiras utilizadas	68
Figura 35 Determinação índice de consistência.....	69
Figura 36 Moldagem corpos de prova para ensaio de resistência à tração.....	70
Figura 37 Corpos de prova desmoldados	71
Figura 38 - Recipiente vedado com solução de Cal e água	71
Figura 39 - Ensaio de resistência à tração	72
Figura 40 - Moldes para corpo de prova ensaio compressão.....	72
Figura 41 Corpos de prova para ensaio de resistência à compressão desmoldados	73
Figura 42 Ensaio de resistência à compressão axial	73
Figura 43 Corpos de prova após ensaio de compressão	74
Figura 44 Planta baixa das paredes demonstrando a disposição da aplicação dos revestimentos	75
Figura 45 Execução de alvenaria para testes de revestimento	75
Figura 46 - Revestimento das paredes com as argamassas estudadas.....	76
Figura 47 Indicação de regiões para teste de aderência e permeabilidade.....	76
Figura 48 - Furação e pastilhas para ensaio de arrancamento	77
Figura 49 Parede com pastilhas coladas para ensaio	77
Figura 50 Equipamento para ensaio de arrancamento.....	78
Figura 51 Ensaio de arrancamento de pastilhas	78
Figura 52 Pastilhas com argamassas aderidas após arrancamento	79
Figura 53 - Instrumento de medição de permeabilidade	80
Figura 54 Cachimbo com vazamento de água superficial	81
Figura 55 Confecção dos prismas.....	82
Figura 56 - Ensaio de resistência á compressão nos prismas.....	82
Figura 57- Resultados resistência à compressão argamassa de revestimento	85
Figura 58 - Resultados resistência à tração argamassas de revestimento.....	85
Figura 59 - Gráfico comparativo resultados resistência compressão ARs.....	86
Figura 60 - Gráfico resultados resistência de aderência à tração argamassa de revestimento	88
Figura 61 - Gráfico comparativo resistência aderência ARs.....	89
Figura 62 - Gráfico comparativo resistência aderência ARs.....	90
Figura 63 - Gráfico resultados ensaio de permeabilidade argamassas de revestimento	91
Figura 64 - Gráfico PCA argamassa revestimento Componentes 1 e 2	96
Figura 65 - Gráfico PCA argamassa revestimento Componentes 2 e 3	97
Figura 66 - Gráfico resultados resistência à compressão argamassas de assentamento	99
Figura 67 - Gráfico resultados resistência à tração argamassas de assentamento.....	100
Figura 68- Gráfico comparativo resultados compressão AAs.....	101

Figura 69 - Gráfico resultados resistência à compressão dos prismas argamassas de assentamento	103
Figura 70 - Gráfico comparativo resistências argamassa de assentamento.....	104
Figura 71 - Classificação argamassas de assentamento	105
Figura 72 - Gráfico PCA componente 1 e 2 Assentamento	107
Figura 73 - Gráfico PCA argamassa revestimento Componentes 2 e 3	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação resíduos sólidos	18
Tabela 2 - Classificação resíduos construção civil	18
Tabela 3 - Classificação segundo resistência à compressão e tração	26
Tabela 5 - Classificação segundo resistência de aderência à tração	28
Tabela 6 - Resistência mínima de aderência à tração.....	28
Tabela 7 - Propriedades Argamassa assentamento bibliografia	51
Tabela 8 - Propriedades Argamassas de revestimento bibliografia.....	52
Tabela 9 - Propriedade dos blocos	57
Tabela 10 - Parâmetros granulometria agregados	63
Tabela 11 - Resultado massa unitária agregados	64
Tabela 12 - Resultado massa específica agregados.....	65
Tabela 13 - Resultado absorção agregados	66
Tabela 14 - Relação a/c argamassas estudadas	68
Tabela 15 - Resultados consistência argamassa de revestimento	83
Tabela 16 - Resultados de resistência mecânica argamassa de revestimento.....	84
Tabela 17- Resultados resistência de aderência à tração.....	88
Tabela 18 - Classificação argamassas de revestimento estudadas	93
Tabela 19 - Comparação propriedades argamassas de revestimento	94
Tabela 20 - Resultados consistência argamassas assentamento	98
Tabela 21 - Resultados resistência mecânica.....	99
Tabela 22 - Resultado resistência à compressão prismas de assentamento	102
Tabela 23 Comparativo resultados argamassas de assentamento	106

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
Motivação.....	14
Objetivo geral.....	14
Objetivo específico.....	14
1 RCD- RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	16
1.1 Contextualização.....	16
1.2 Definições, composição e classificação.	17
1.3 Utilização de resíduos como agregados	19
2 ARGAMASSAS	22
2.1 Contextualização.....	22
2.2 Definições	22
2.3 Propriedades.....	23
2.3.1 Trabalhabilidade e consistência.....	23
2.3.2 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão	25
2.3.3 Aderência	26
2.3.4 Permeabilidade.....	29
2.4 Modelos e métodos de ensaios para avaliar desempenho de argamassas .	30
2.4.1 Modelos para argamassas de revestimento	30
2.4.2 Modelos para argamassas de assentamento	37
2.5 Argamassas com agregados de RCD	42
2.5.1 Resumo e compatibilização dos resultados.....	50
3 MÉTODOS E MATERIAIS	53
3.1 Planejamento experimental.....	53
3.2 Materiais.....	56
3.2.1 Cimento Portland.....	56
3.2.2 Água	56
3.2.3 Bloco cerâmico	56
3.2.3 Bloco cerâmico	56
3.2.4 Produção e beneficiamento dos resíduos.....	56
3.3.3 Propriedades Mecânicas	69
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83

4.1	Argamassas de revestimento.....	83
4.1.1	Consistência	83
4.1.2	Resistencia à compressão e resistência à tração.....	84
4.1.3	Resistência de aderência à tração na flexão	87
4.1.4	Permeabilidade.....	91
4.1.5	Classificação e análise de desempenho das argamassas	92
4.2	Argamassa assentamento.....	98
4.2.1	Consistência	98
4.2.2	Resistencia à compressão e resistência à tração na flexão	98
4.2.3	Compressão de prismas de bloco cerâmico.....	102
4.2.4	Classificação e análise de desempenho das argamassas	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
5.1	Conclusões	109
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	111
	REFERÊNCIAS	112
	ANEXOS	119

Introdução

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, sendo responsável pelo consumo de aproximadamente 50% dos recursos extraídos da natureza (MALTA, 2012). Os produtos de base cimentícia são os mais utilizados mundialmente, formados por 60 a 80% de agregados que, anualmente, correspondem a 20 bilhões de toneladas de diferentes materiais como de origem rochosa e areia que passam por processo de beneficiamento. Com o crescimento da população global, esse consumo vem aumentando, causando grande impacto no meio ambiente, muitas vezes irreversíveis (KATZER, 2013).

Estima-se que no Brasil cerca de 500 quilos de Resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados por habitante por ano (INTERCEMENT, 2018). Mais da metade dos resíduos gerados na construção civil são classificados como resíduos de alvenaria (MARTINEZ et al, 2016). O uso de resíduos de construção e demolição como substituintes de agregados naturais na produção de materiais a base de cimento é um método eficiente que adiciona valor para esses materiais, que em sua maioria eram considerados inservíveis. Devido a isso, há algum tempo já se estuda e normatiza essa utilização no que tange a concretos e materiais para pavimentação. Em países como a Coreia do Sul, por exemplo, há a obrigação do uso de agregados reciclados para construção de estradas públicas desde 2008 (YANG e LEE, 2017).

Estudos anteriores indicam que a utilização de alguns agregados graúdos reciclados na produção de concreto não afetam suas propriedades mecânicas, dependendo da composição do resíduo de origem. Quanto ao uso de agregados miúdos reciclados essa restrição quanto à composição é ainda maior devido à redução das propriedades de resistência dos concretos estruturais (LEDESMA et al, 2014). Quanto às argamassas, a resistência mecânica é importante, mas não é a propriedade determinante para o seu emprego, como por exemplo, em revestimento e assentamento. Estudos recentes indicam que o uso de resíduos em argamassas pode ser viável em alguns casos quando consideramos propriedades fundamentais para seu desempenho como aderência e permeabilidade (SILVA, 2016).

Motivação

Com a ampla utilização de materiais cimentícios na indústria da construção civil e a atual relevância da sustentabilidade, materiais alternativos com baixo impacto no meio ambiente estão sendo utilizados para substituir matérias primas de fontes não renováveis, como é o caso da areia utilizada como agregado miúdo.

Resíduos de construção e demolição de obras civis são gerados em grande volume e descartados de forma inadequada inviabilizando a sua reutilização e reciclagem, aumentando o impacto no meio ambiente.

Alguns estudos já mostraram que estes resíduos podem ser usados como substitutos de agregados naturais, em porcentagens limitadas, em materiais não estruturais como é o caso de argamassas de revestimento e assentamento (SILVA, 2016). No entanto, trabalhos que avaliam o desempenho de argamassas de assentamento e revestimento com este tipo de resíduo ainda são limitados.

Objetivo geral

Avaliar o desempenho de argamassas de revestimento e assentamento com substituição parcial de agregados naturais por agregados reciclados oriundos de três tipos de resíduo de construção e demolição de alvenaria.

Objetivo específico

- Produzir dois tipos de traços (um forte e um fraco) de argamassas com porcentagens de substituição do agregado miúdo natural por três tipos diferentes de resíduos de construção e demolição de alvenaria, analisando suas propriedades no estado fresco e endurecido.
- Avaliar a resistência à compressão de prismas de alvenaria compostos de argamassas de assentamento com porcentagens de substituição de 30% e 50% do agregado miúdo natural por três tipos de resíduos de alvenaria.

- Avaliar a aderência e a permeabilidade de argamassas de revestimento com porcentagens de substituição de 30% e 50% do agregado miúdo natural por três tipos de resíduo de alvenaria.

Estrutura da dissertação

O capítulo um trata de resíduos de construção e demolição, sua geração, gestão, classificação e características principais.

O capítulo dois trata da classificação e propriedades das argamassas, mostra quais os ensaios utilizados para avaliar seu desempenho e faz uma revisão bibliográfica de estudos que utilizaram resíduos de construção e demolição na composição de argamassas de revestimento e assentamento e quais os impactos dessa utilização nas propriedades dessas argamassas.

O capítulo três trata da metodologia utilizada para avaliar as propriedades e o desempenho das argamassas com os resíduos de alvenaria produzidos neste trabalho.

O capítulo quatro descreve e discute os resultados obtidos nos ensaios, tratados estatisticamente por meio de dois métodos: Análise de Variância (ANOVA) e Análise de Componente Principal (PCA).

O quinto e último capítulo trata das conclusões da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema.

1 RCD – RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

1.1 Contextualização

A construção civil é uma das atividades mais antigas do mundo e desde a antiguidade se tem registros de diversos processos construtivos cujas etapas sempre geraram resíduos como subprodutos. Os primeiros registros de reutilização de resíduos sólidos em novas obras se deu durante a edificação das cidades do império Romano (CALCADO, 2015 apud LEVY, 1997). Todavia, a primeira aplicação significativa de RCD só ocorreu após a segunda guerra mundial. O grande volume de resíduos gerado pela destruição das cidades europeias, após os ataques da segunda guerra, culminou em uma busca imediata de reutilização que se deu com a sua britagem e utilização como agregados na reconstrução das cidades (LEVY, 1997).

No Brasil, apesar das primeiras pesquisas sobre o uso de RCD como agregados terem iniciado no final da década de 80 e início de 90, foi a partir de 2000 que surgiram pesquisas mais relevantes ampliando a discussão sobre o tema. Destaca-se ainda, nesta época, a aprovação da Resolução nº 307 do CONAMA em 2002, na qual ficaram estabelecidos critérios e procedimento para a gestão de RCD (Resíduo de Construção e Demolição) no Brasil, e a atribuição da responsabilidade do gerenciamento do RCD às empresas geradoras de resíduos, sendo estas obrigadas a destiná-los de forma eficiente e sustentável. A Resolução dispõe ainda sobre a responsabilidade do Estado em oferecer coleta e destinação adequada para os pequenos geradores. Em 2010 foi aprovada a lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) buscando a redução de resíduos sólidos, promovendo o aumento da reutilização e da reciclagem, ratificando a responsabilidade dos geradores de resíduos na sua gestão e destinação final desses resíduos.

No país, a primeira cidade que deu início ao processo de reciclagem e gestão de resíduos de construção foi Belo Horizonte (Minas Gerais). Com o incentivo do Governo Estadual passou a reutilizar os resíduos em outras áreas da construção civil, destacando-se a pavimentação, por meio de usinas de reciclagem (MALTA,

2012). Entretanto, a gestão de resíduos no canteiro de obra ainda não está amplamente difundida entre a maioria das empresas no Brasil. A prática do tratamento dos resíduos não está ligada diretamente à gestão de produtividade da obra. O país apresenta ainda mais de três mil municípios com destinação inadequada, mesmo o prazo estabelecido pela PNRS ter-se encerrado em 2014 (ABRELPE, 2016).

Em outros lugares do mundo, este setor já é mais desenvolvido. A taxa de reciclagem geral na Europa chega a 50%. Países como Dinamarca, Estônia e Holanda conseguem reciclar mais de 90% do seu entulho de construção (MARTINEZ et al, 2016). Esses dados podem estar relacionados ao tipo de gestão e aos tipos de processos construtivos adotados, como por exemplo, o uso de pré-moldados e estruturas metálicas.

1.2 Definições, composição e classificação.

A NBR 15116 (ABNT, 2004) define resíduos da construção civil como “Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

O resíduo gerado pelas atividades de construção e demolição é heterogêneo e sua composição depende de diversos fatores como a fase de construção, a tecnologia construtiva e a natureza da obra. Além disso, a falta de tratamento e disposição inadequada torna a reciclagem de RCD ainda mais complexa e onerosa devido à dificuldade de separação dos componentes (LEVY, 1997).

A NBR 10004 (ABNT, 2004) trata da classificação dos resíduos sólidos e ressalta a importância da separação dos resíduos já em sua fonte geradora, junto com a identificação de sua origem. A norma estabelece que a classificação dos resíduos esteja relacionada com seu processo de origem. Segundo esta norma, os resíduos de construção e demolição estão na classe II-B (Tabela 1), não perigosos e

inertes, significando que estes resíduos contêm elementos químicos estáveis, ou seja, que não reagem quimicamente.

Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos

Classe I	Perigosos	
Classe II	Não Perigosos	A - não inertes
		b-inertes

Fonte: NBR 10004 (2004) - adaptado

A Resolução 307 do CONAMA (2002) classifica os resíduos originados da construção civil conforme sua origem e materiais constituintes, de acordo com a Tabela 2. Segundo esta classificação, o RCD se enquadra na Classe A.

Tabela 2 - Classificação dos resíduos da construção civil

Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;	Resíduos recicláveis para outras destinações. Ex: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas e gesso;	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde;

Fonte: CONAMA (2002) - adaptado

Os RCDs podem ser divididos, genericamente, em resíduos de cor cinza ou vermelha. A composição de cor cinza é formada pelos resíduos de elementos a base de cimento (argamassas e concretos) e rochas. Os resíduos de cor vermelha são os componentes a base de argila calcinada que contenham óxido de ferro (Fe_2O_3). Existem, ainda, fragmentos compostos pelas duas composições, denominados mistos (MALTA, 2012).

Ainda não existe uma normatização para utilização de resíduos em argamassas, entretanto, a NBR 15116 (ABNT, 2004) normatiza a utilização de

resíduos sólidos em pavimentações e em concretos sem função estrutural. Segundo esta norma, podemos definir agregado reciclado como: “material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infra-estrutura” e os resíduos podem ser classificados de duas formas, conforme sua origem:

- Agregados de resíduos de concreto (ARC) – obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A (CONAMA, 2002), composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.
- Agregado de resíduo misto (ARM) – obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A (CONAMA, 2002), composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

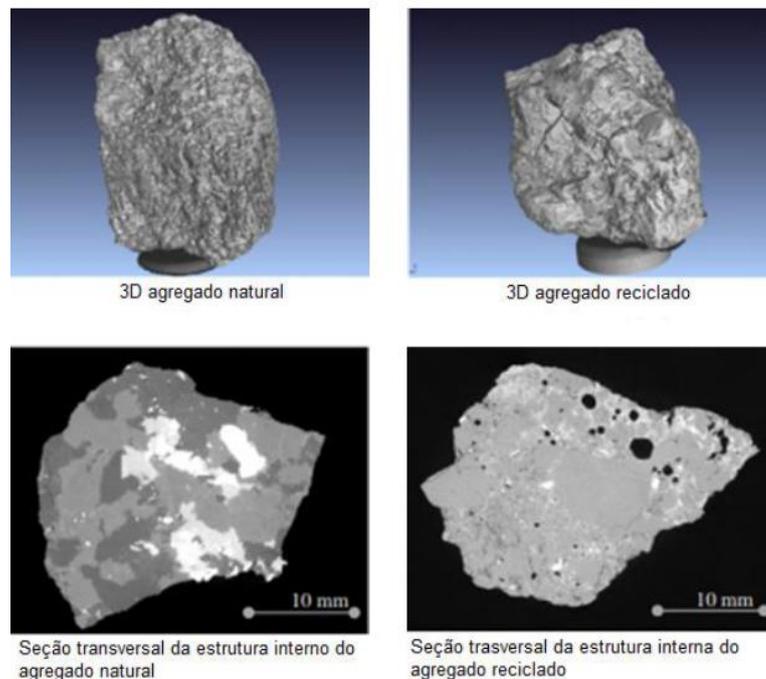
1.3 Utilização de resíduos como agregados

A utilização de resíduos em concretos, argamassas e pavimentação como substituinte total ou parcial das matérias primas vem sendo uma solução difundida mundialmente, tanto para dar uma nova destinação a esses resíduos sem funcionalidade, como para ajudar na solução da problemática de falta de matéria prima, em diversas regiões do mundo. Por meio de estudos científicos, vêm se comprovando a utilidade do RCD na função de agregados em pavimentação (BITTENCOURT, 2017), concretos (MALTA, 2012) e argamassas (SOUZA, 2015 e CORINALDESI, 2009) e na sua fração mais fina como substituintes parciais de cimento (CALCADO, 2015) e como adição (RIBAS, 2014 e VIANA et al, 2016).

A composição básica do RCD é de resíduos de tijolos, argamassa, fragmentos de concreto, cerâmica de piso e telha. Esses materiais possuem diferentes propriedades, que incluem a absorção, a massa específica, a resistência à abrasão e possuem partículas de formas diferentes. O processamento de agregados de RCD se dá por meio de britagem e peneiramento com objetivo de atingir a granulometria desejada de acordo com o tipo de utilização. Outro fator relevante é a morfologia das partículas dos agregados de resíduos que se difere dos agregados naturais, mesmo

apresentando granulometria equivalente. Por meio de microscopia, observa-se que os agregados reciclados apresentam superfície mais irregular e alongada e mais porosa, comparada ao agregado natural e se destacam por possuírem menor densidade (Figura 1). Essa porosidade acarreta diretamente em uma alta absorção de água do material que é uma característica muito significativa, levando em consideração que a absorção de água do agregado natural é quase nula (LEITE, 2001). Comparados aos agregados naturais, os reciclados apresentam massa unitária inferior, devido principalmente à forma, assim como a massa específica que também reduzida e está relacionada à composição química e aos poros não acessíveis. (CABRAL 2007).

Figura 1 - Análise microscópica de agregados



Fonte: CABRAL, 2007

A NBR 15116 (ABNT, 2004) identifica alguns requisitos para a utilização dos resíduos como agregados miúdos, entre eles que tenha absorção máxima de 12% para ARC e 17% para ARM. Além disso, estabelece que o teor de material passante na malha de 75 μ m seja menor que 15% para ARC e menor que 20% para ARM. A norma também diz que a composição granulométrica deve estar de acordo com NBR 7211(ABNT, 2005) que especifica o uso de agregados para concretos e ressalta que, caso a granulometria do agregado reciclado não esteja de acordo com

os requisitos da norma, ela pode ser corrigida por meio da adição de agregados naturais. A norma também considera necessária a pré-molhagem dos agregados miúdos e aconselha valores próximos a 80% do teor de absorção de água do agregado.

Para melhor controle da qualidade e caracterização do agregado, a NBR 15116 (ABNT, 2004) especifica que os lotes dos agregados devem ser formados de acordo com a classificação (ARM ou ARC), granulometria e compreender a produção dentro do período do mesmo mês, considerando volume máximo de 1500m³ para cada lote. Para os agregados miúdos de concreto não estrutural, a norma determina que para cada lote sejam realizados os seguintes ensaios de caracterização: composição granulométrica; teor de material passante na peneira 75µm; absorção de água; torrões de argila em materiais friáveis; composição do agregado graúdo; percentual de materiais não minerais no agregado miúdo. Para determinação de cloretos e sulfatos, sugere-se que os ensaios sejam realizados apenas uma vez por mês ou a cada 6.000m³.

2 ARGAMASSAS

2.1 Contextualização

A utilização das paredes como estrutura é a técnica construtiva mais antiga no mundo. Por volta do ano 10.000 a.c. já existem relatos de utilização de tijolos secos ao sol por civilizações assíricas e persas. Os primeiros tijolos de barro queimados em fornos surgiram próximo ao ano de 3.000 a.C. (LIMA, 2010). Já por volta de 2.000 a.C há registro da utilização de argila crua em construções de taipa ou pau-a-pique, envolvendo as estruturas resistentes de madeira na Grécia e também na arquitetura romana etrusca. Os gregos e romanos já realizavam mistura de cal, areia e água para obter um tipo de estuque que utilizavam em revestimentos internos. Em certos casos também adicionavam gesso e pó de mármore (SILVA, 2006). No Brasil, tem-se registro da utilização de argamassas no primeiro século d.c. para assentamento de alvenaria de pedra, e a cal utilizada era obtida através da queima de conchas e mariscos (WESTPHAL, 2004).

2.2 Definições

A definição de argamassa, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), é dada por: “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições.”

Dentre os diversos tipos de argamassas existentes, dois deles são abordados nesta revisão bibliográfica: Assentamento e Revestimento.

- Argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: é indicada para ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação, conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).

A argamassa de assentamento é a responsável por garantir o comportamento monolítico e a solidez necessária à alvenaria, uma vez que consegue transmitir todas as ações atuantes da estrutura para a fundação. Essas tensões verticais são

transmitidas através das unidades dos blocos que conseguem acomodar as deformações (MOTA, 2006). No estado fresco, as propriedades que se destacam são: consistência, retenção de água, coesão da mistura e exsudação (GIHAD, 2007). No estado endurecido, deve-se levar em consideração a resistência à compressão, aderência, durabilidade e capacidade de acomodar deformações (SILVA et al, 2016).

➤ Argamassa para revestimento de paredes e tetos: é indicada para o revestimento de ambientes, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única), conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).

A argamassa de revestimento é responsável por proteger e regularizar a alvenaria, impedindo que agentes externos entrem em contato (MOTA, 2006). No estado fresco, as propriedades que se destacam são: consistência, retenção de água, coesão mistura e exsudação. No estado endurecido as principais propriedades relevantes são aderência, permeabilidade e resistência à compressão e tração (SILVA et al, 2016).

2.3 Propriedades

A seguir serão detalhadas as principais propriedades das argamassas, suas influências em seu desempenho e métodos de obtenção dos resultados para análise.

2.3.1 Trabalhabilidade e consistência

A trabalhabilidade é obtida através da determinação da consistência e se refere diretamente ao manuseio e aplicação do material. Casarek e Scartezini (2001) definem trabalhabilidade como “propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea.” Em resumo, pode-se inferir que para uma boa trabalhabilidade existe uma consistência ideal equivalente para cada tipo de aplicação. Uma argamassa cujo adensamento não permitiu o espalhamento uniforme no substrato, afeta as suas propriedades no

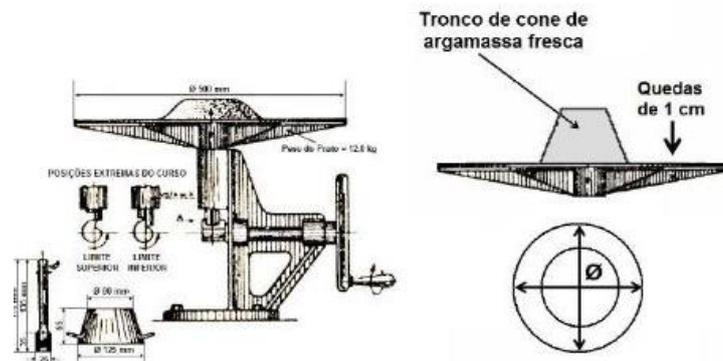
estado endurecido. Entende-se como uma argamassa com boa trabalhabilidade aquela que apresenta boa consistência e leveza para aplicação (ROSSA JUNIOR, 2009).

A consistência é uma das principais propriedades, levando em consideração que a quantidade de água requerida para se obter uma trabalhabilidade ideal de aplicação *in situ* está relacionada diretamente com sua vida útil (MOTA, 2006).

Sobre a influência dos componentes da argamassa na consistência, vale ressaltar a granulometria do agregado que pode interferir em seu desempenho, já que tem influência direta na trabalhabilidade e na quantidade de água consumida pelos aglomerantes, quando no estado fresco. Um agregado bem graduado fornece uma melhor trabalhabilidade à mistura (MOTA, 2006). Também neste estado, a utilização de cal permite que a mistura de argamassa tenha melhor trabalhabilidade, maior retenção de água e maior coesão ajudando a evitar fissuras. A quantidade de água está ligada diretamente com sua trabalhabilidade, garantindo coesão e plasticidade (ROSSA JUNIOR, 2009). Entretanto, o excesso de água pode causar exsudação, segregando os componentes, criando regiões enfraquecidas, afetando na redução da resistência mecânica e diminuição da durabilidade pelo aumento de poros.

O índice de consistência é o medidor desta propriedade. Ele é definido pelo ensaio de mesa de consistência (*flowtable*) detalhado e normatizado pela NBR 13276 (ABNT, 2016). O ensaio é realizado preenchendo um tronco-cônico metálico colocado no centro da mesa. Três camadas são preenchidas e aplicados a cada uma delas 5, 10 e 15 golpes com o soquete. Em seguida, a mesa é submetida a quedas sucessivas ao se girar uma manivela por trinta segundos totalizando 30 golpes. O índice de consistência é a medida em milímetro da média aritmética do diâmetro de duas medidas ortogonais do diâmetro do espalhamento do material na mesa após a queda (Figura 2).

Figura 2 - Equipamento para medição consistência



Fonte: ALVES (2013)

2.3.2 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

A resistência à tração e à compressão são propriedades bastante enfatizadas quando nos referimos a materiais de construção de maneira geral. Entretanto, nas argamassas, apesar de serem propriedades importantes para classificação, outras propriedades podem ser mais relevantes quando levamos em consideração sua utilização, como é o caso de aderência e permeabilidade para argamassa de revestimento e a trabalhabilidade para argamassas de revestimento e assentamento (SILVA et al, 2016). Nas argamassas de revestimento, por exemplo, o incremento da resistência mecânica em alguns casos pode ser um fator negativo, podendo indicar um baixo desempenho, tendo em vista a implicação em fissuras (GIHAD, 2007).

De acordo com os materiais constituintes da argamassa, vale ressaltar que quanto maior o teor de cimento, maior será a resistência à compressão, tração e rigidez. O teor de cimento também provoca um aumento na aderência no estado endurecido, mas diminui sua capacidade de acomodar deformações. A cal fornece à mistura de argamassa o tempo adequado à hidratação necessária do cimento e também aumento a plasticidade, já que possui menos vazios devido seu efeito filler. A quantidade de água interfere de maneira negativa no desempenho mecânico, quanto maior for a relação água-cimento, menor será a resistência à compressão e à tração das argamassas convencionais mistas (MOTA, 2006). A resistência à compressão e as deformações devido aos esforços são fatores que interferem no desempenho da alvenaria.

Gihad (2007) define o comportamento das argamassas de assentamento considerando os esforços em seus estados de serviço: “O confinamento que as argamassas de assentamento são submetidas na alvenaria causa um estado triaxial de tensões de compressão, diferentemente quando a mesma argamassa é analisada em corpos-de-prova padronizados, neste caso, o elemento fica submetido apenas a um estado de tensões uniaxial, e seus resultados passam a ser menos significativos levando em consideração as resistências das argamassas em estado de serviço na alvenaria.”

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica argamassas para assentamento e revestimento conforme sua resistência à compressão e à tração na flexão, conforme Tabela 3, dividindo em classes de 1 a 6 de resistências.

Tabela 3 - Classificação segundo resistência à compressão e tração

Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração na flexão (MPa)	
P1	≤ 2,0	R1	≤ 1,5
P2	1,5 a 3,0	R2	1,0 a 2,0
P3	2,5 a 4,5	R3	1,5 a 2,7
P4	4,0 a 6,5	R4	2,0 a 3,5
P5	5,5 a 9,0	R5	2,7 a 4,5
P6	>8,0	R6	> 3,5

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

2.3.3 Aderência

A aderência é definida como “propriedade da argamassa de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato”, conforme a NBR 15258 (ABNT, 2005).

Nas argamassas, esta propriedade é relevante para seu estado endurecido, e pode ser considerada como um fenômeno essencialmente mecânico, causado pela penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre a rugosidade da base do substrato. Isso ocorre devido a uma parte da água de amassamento presente na argamassa em estado fresco se entranhar no substrato

pelas cavidades e poros e com o passar do tempo exerce ação de ancoragem entre a base e a argamassa (SIQUEIRA, 2006).

A aderência pode ser, conforme sua natureza, mecânica ou química. A mecânica está correlacionada aos fenômenos mecânicos devidos à penetração da argamassa nos poros e rugosidade da camada suporte. Dessa maneira, há ocorrência de precipitação dos produtos de hidratação do cimento, nomeados de etringita, exercendo ancoragem da argamassa à base. A aderência de natureza química está ligada à utilização de materiais com resinas que produzem aderência a partir de ligações químicas (VIEIRA, 2009). A maior parcela de acréscimo de resistência de aderência se dá durante os primeiros 28 dias e mesmo havendo aumento, após esse período, estes não são significativos (CASAREK, 1996).

Sobre os materiais que compõem a argamassa, o teor de cimento pode influenciar na aderência. Argamassas com um alto teor de cimento apresentam inicialmente maior aderência, entretanto, com o passar do tempo podem apresentar fissuras, o que diminui a resistência já que quanto maior a quantidade de cimento, maior será o calor de hidratação. A quantidade de água também é um fator que influencia a aderência. Uma relação água/cimento baixa pode ser prejudicial, levando em consideração que em contato com substrato poroso, a argamassa em estado fresco perde grande parcela de água por sucção. A areia, como agregado natural, também pode afetar a aderência da argamassa já que é um material indeformável. Seu uso excessivo pode reduzir a retração do material durante seu endurecimento e diminuir essa propriedade (GIHAD, 2007). A distribuição granulométrica do agregado também interfere, uma granulometria bem distribuída aumenta a aderência da argamassa ao substrato. A areia de granulometria mais grossa pode reduzir a aderência prejudicando a plasticidade, assim como elevador teor de finos (inferiores a 0,075), uma vez que o material pulverulento pode penetrar nos poros do substrato diminuindo a migração da água coloidal, prejudicando a sucção do substrato. A cal é um material que pode promover o aumento da aderência no estado endurecido, aumentando conseqüentemente a resistência ao longo do tempo (MOTA, 2006).

Para mensurar e classificar a aderência, mede-se a resistência potencial de aderência à tração, grandeza que é definida pela NBR 15258 (ABNT, 2005) como: “tensão máxima aplicada por uma carga perpendicular à superfície da argamassa aplicada no substrato”. Essa grandeza é obtida por meio de ensaio conhecido como

“ensaio de arrancamento” (*pull-off test*). Uma pastilha metálica colada à argamassa é arrancada por meio de equipamento de tração, fazendo com que a argamassa se descole do substrato. Com este ensaio, obtemos a tensão de aderência em MPa.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica argamassa conforme sua resistência potencial de aderência à tração, conforme Tabela 4, dividindo em classes de 1 a 3 de resistências.

Tabela 4 - Classificação segundo a resistência de aderência à tração

Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	
A1	<0,20
A2	≥0,20
A3	≥0,30

Fonte: ABNT NBR 13281 (2005) – adaptado

A NBR 13749 (ABNT, 1996) define a resistência mínima para argamassas de revestimento, conforme sua utilização, estabelecendo limites em MPa, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Resistência mínima de aderência à tração

Resistência mínima de aderência à tração (MPa)	
Parede	
Interna	
Pintura ou base para reboco	≥0,20
Cerâmica ou laminado	≥0,30
Externa	
Pintura ou base para reboco	≥0,30
Cerâmica ou laminado	≥0,30
Teto	
	≥0,20

Fonte: NBR 13749 (ABNT,1996) – adaptado

2.3.4 Permeabilidade

Nas argamassas, a permeabilidade pode ser definida pela passagem de água no estado endurecido através de infiltração sobre pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água. A capacidade de absorver água indica a capacidade que um material poroso e não saturado tem de absorver e drenar a água por capilaridade. Esta propriedade está diretamente ligada à durabilidade dos materiais cimentícios (ROSSA JUNIOR, 2009).

A permeabilidade ocorre pelos poros capilares, mas sua intensidade depende das dimensões, distribuição, forma, tortuosidade e continuidade destes (SIQUEIRA, 2006).

Segundo o *American Concrete Institute*, durabilidade é definida como a habilidade de resistir aos ataques químicos, abrasão, ações climáticas e quaisquer processos de deterioração (ACI 201.2R-01, 2002 *apud* CORDEIRO, 2006). Esses processos de deterioração estão associados aos poros existentes na argamassa e seu comportamento na presença de água (CORDEIRO, 2006).

A permeabilidade depende das permeabilidades individuais da pasta e dos agregados (MOTA, 2006). Na pasta, existem os macroporos de dimensões milimétricas que podem ser formados pelo uso de aditivos incorporadores de ar, falhas no adensamento, ou ainda devido à água adicionada ser maior do que a necessária para hidratação do cimento, formando esses poros após sua evaporação (SILVA et al, 2016).

Sobre os materiais que compõem a argamassa, pode-se observar que, no que diz respeito aos agregados, a granulometria pode interferir no aumento ou diminuição da permeabilidade. Agregados bem graduados implicam em uma menor permeabilidade (GIHAD, 2007). Quanto ao teor de cimento, a permeabilidade é inversamente proporcional, o aumento no consumo desse material diminui a permeabilidade. Argamassas e concretos, no entanto, possuem maior permeabilidade que as pastas, isso pode ser explicado por existirem microfissuras na zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento (MOTA, 2006).

Um ensaio eficiente para analisar a permeabilidade em revestimento de paredes é o ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo, não é normalizado no Brasil. A absorção de água e também a permeabilidade do

revestimento podem ser determinadas após aplicação na alvenaria. O procedimento de ensaio é proposto pelo *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC, 1982) e já foi utilizado por diversos autores em pesquisas científicas. (SILVA, 2006 e SIQUEIRA, 2006)

2.4 Modelos e métodos de ensaios para avaliar desempenho de argamassas

Para análise do desempenho de argamassas, além dos ensaios para avaliar resistência mecânica por meio da ruptura de corpos de prova, é importante que se avalie o comportamento em situações que simulem sua utilização na prática. Para isso, alguns testes são realizados em protótipos que simulam a aplicação das argamassas em suas respectivas utilizações. Dentre as propriedades das argamassas de revestimento, as que se destacam para avaliar o desempenho são: aderência e permeabilidade que indica o grau de proteção da argamassa para o tijolo. Para as argamassas de assentamento, seu comportamento é avaliado por meio da execução de prismas ou de pequenas alvenarias que são submetidos a esforços de compressão, tração, flexão e/ou cisalhamento. No item 2.4.1 e 2.4.2, são apresentados estudos que avaliaram propriedades das argamassas por meio do revestimento de protótipos fazendo a utilização e adaptação de normas, buscando simular as reais situações de utilização dos materiais.

2.4.1 Modelos para argamassas de revestimento

Airagh *et al* (2014) e Martinez *et al* (2016) avaliaram a resistência de aderência de argamassas por meio do revestimento de blocos cerâmicos (Figura 3) e de concreto (Figura 4), respectivamente. Nos dois estudos, a aplicação do revestimento foi feita de maneira horizontal, dentro de laboratório com condições climáticas controladas. Os autores objetivaram avaliar diferentes influenciadores das propriedades das argamassas como tipo de substrato, condição de cura e utilização de resíduos.

Figura 3 - Ensaio de aderência em bloco cerâmico



(a)

(b)

Legenda: (a) Revestimento blocos cerâmico (b) Pastilha após arrancamento

Fonte: AIRAGHI, et al. (2014)

Figura 4 - Ensaio de aderência em blocos de concreto



Fonte: MARTINEZ, CORTINA, MARTINEZ & SANCHEZ (2016)

Rossa Júnior (2009) avaliou a aderência de argamassas colantes em peças cerâmicas. O autor objetivava analisar a influência da adição de escória de alto forno nas misturas. Para o ensaio, aplicou horizontalmente a argamassas em peças cerâmicas dentro de laboratório, com condições climáticas controladas e após 28 dias de cura realizou o ensaio de tração direta (Figura 5).

Figura 5 - Ensaio de aderência em placas cerâmicas



Fonte: JUNIOR (2009)

Souza *et al* (2005), Silva (2006), Siqueira (2006) e Canova *et al* (2015) avaliaram o desempenho de argamassas de revestimento por meio da construção de alvenarias que foram revestidas com as argamassas analisadas.

Souza *et al* (2005) avaliou o comportamento das argamassas ao longo de pelo menos 10 anos, objetivando analisar revestimentos que usualmente são utilizados externamente em fachadas prediais, sujeitos à ação dos intemperes e em ambientes agressivos. Para possibilitar a análise em um longo período de tempo, os autores executaram alvenarias em regiões externas sustentadas por estruturas de concreto armado (Figura 6). Para comparação dos resultados, os autores também construíram uma alvenaria na região interna do laboratório, em condições climáticas controladas (Figura 7). O trabalho de construção e revestimento foi realizado por profissionais qualificados (Figura 8). Este conjunto de alvenarias foi a base para que o grupo de pesquisadores, durante os anos, analisassem diversas propriedades como: permeabilidade, aderência, umidade, penetração de carbonatos e cloretos, além de avaliar diferentes tipos de materiais de revestimento como: argamassas naturais, argamassas com fibras, texturas, pedriscos e materiais cerâmicos.

Figura 6 - Construção de alvenarias para testes



(a) (b)
 Legenda: (a) Fundações para alvenarias; (b) Alvenarias de blocos cerâmicos;
 Fonte: SOUZA et al (2005)

Figura 7 - Alvenaria construída em ambiente controlado para testes



Fonte: SOUZA et al (2005)

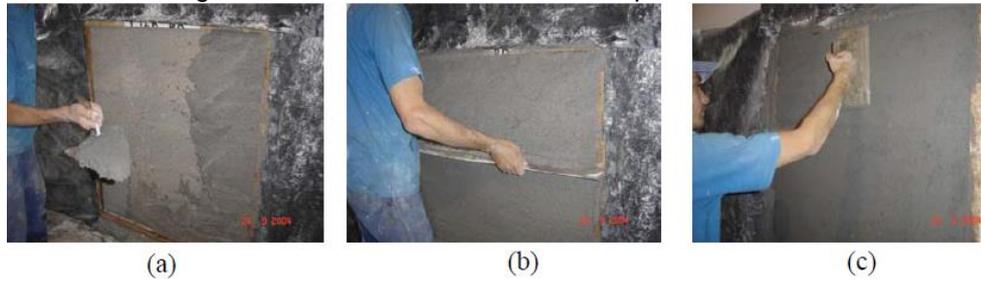
Figura 8 - Aplicação de revestimento em alvenarias para teste



(a) (b)
 Legenda: (a) Lançamento de argamassa; (b) Nivelamento de argamassa com régua;
 Fonte: SOUZA et al (2008)

Silva (2006) avaliou a utilização de resíduos de mármore em argamassas. O autor construiu alvenarias de dimensões aproximadas de 4,5x2,5m em um cômodo

Figura 11 - Revestimento de alvenaria para ensaio



Legenda: (a) Lançamento da argamassa; (b) Sarrafeamento da argamassa;
(c) Nivelamento da argamassa;

Fonte: SILVA (2006)

Figura 12 - Teste de aderência nas alvenarias



Legenda: (a) Equipamento posicionado para ensaio; (b) Alvenaria após teste;

Fonte: SILVA (2006)

Figura 13 - Teste de permeabilidade em alvenaria



Fonte: SILVA (2006)

Siqueira (2006) analisou a influência da utilização de fibras em argamassas. O autor construiu 14 paredes de blocos cerâmicos, medindo cerca de um metro quadrado cada. As paredes foram construídas na área externa do laboratório,

sujeitas a intempéries para simular real utilização. A construção das paredes foi feita por profissional habilitado, preocupando-se em orientá-las para os lados Leste-Oeste magnéticos para que tivessem a mesma incidência solar (Figura 14). O autor avaliou resistência de aderência pelo ensaio de arrancamento e permeabilidade pelo método do cachimbo (Figura 15).

Figura 14 - Aplicação de revestimento para teste



(a)



(b)

Legenda: (a) Aplicação de argamassa; (b) Nivelamento de argamassa;

Fonte: SIQUEIRA (2006)

Figura 15 - Teste de aderência e permeabilidade em alvenaria



Fonte: SIQUEIRA (2006)

Por meio dos estudos apresentados, conclui-se que a avaliação do desempenho de argamassas por meio do revestimento de alvenarias por profissionais habilitados é um método eficiente que consegue simular a real utilização do material. A exposição das alvenarias a intempéries e variação de temperatura permite analisar o comportamento de argamassas para ambientes externos.

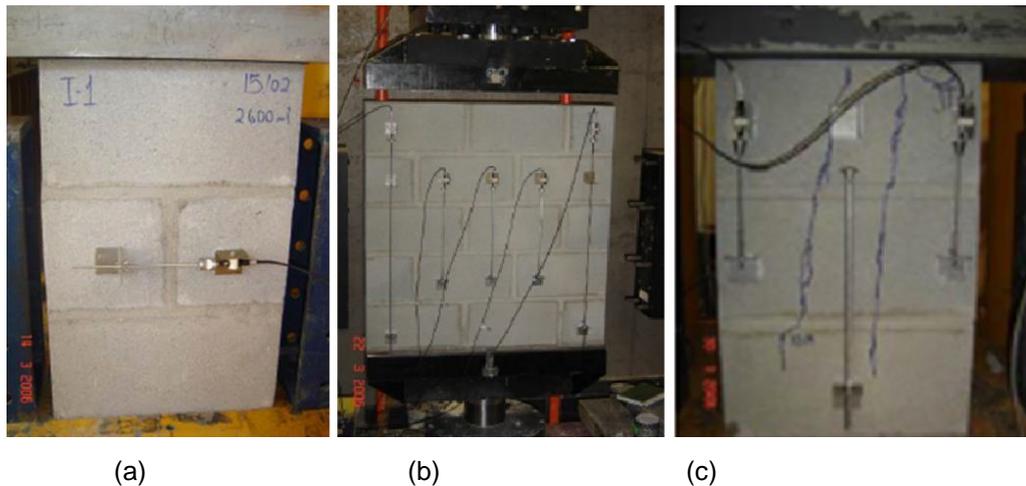
2.4.2 Modelos para argamassas de assentamento

A avaliação da resistência das paredes, principalmente no que tange à compressão, é mais complexa. Os ensaios de cargas com paredes em escalas reais são caros e de difícil realização, portanto, os testes em sua maioria são realizados em escalas menores denominados prismas, que são componentes de alvenaria contendo um ou mais blocos. Ressalta-se que no que se refere à resistência de alvenarias que as normas brasileiras são feitas baseando-se apenas em alvenarias estruturais (GIHAD, 2007). A compressão dos prismas está relacionada com a resistência de cada componente, quais sejam: a resistência à compressão, a resistência e absorção da unidade do bloco, resistência à compressão e espessura da argamassa de assentamento e resistência de ligação na interface unidade-argamassa (LIMA, 2010).

Gihad (2007), Corinaldesi (2009) e Lima (2010) realizaram estudos onde avaliaram o comportamento de argamassas de assentamento por meio da compressão de prismas e paredes de alvenaria.

Gihad (2007) analisou diversos tipos de mecanismos de rupturas de blocos, prismas e paredes em laboratório. Os prismas estudados eram compostos por três blocos de concreto assentados com argamassas e dividiam-se em dois grupos, o primeiro com os três blocos inteiros e o segundo com os dois blocos de extremidades inteiros e o do meio contendo uma junta vertical e os protótipos de paredes compostas por cinco fiadas de blocos de concreto (Figura 16).

Figura 16 - Ensaio de compressão de prismas e parede

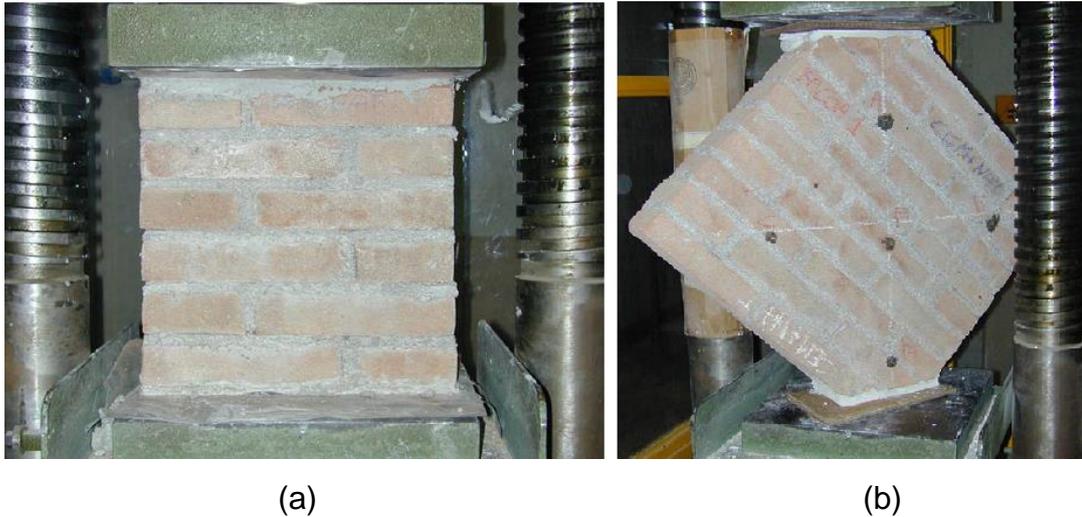


(a) Prisma de alvenaria com junta vertical; (b) Protótipo de alvenaria; (c) Prisma de alvenaria sem junta vertical;
 Fonte: (GIHAD, 2007)

Para os prismas com três blocos, durante o rompimento apareceram fissuras verticais e não apareceram pontos de esmagamento da junta de assentamento, indicando que o prisma se comportou como material único. Já o prisma com a junta vertical não se apresentou como material monolítico, já que surgiram fissuras na região da junta, esmagamento da região da argamassa e uma resistência à compressão muito inferior ao comparada com o outro tipo de prisma. Para o teste das paredes observou-se um início das trincas na junção do bloco com as argamassas, desenvolvendo fissuras entre os blocos e que o efeito de atrito entre as placas usadas para ensaio e as paredes se deu maior na base, devido ao peso da alvenaria.

Corinaldesi (2009) avaliou o comportamento de argamassas recicladas por meio da compressão de protótipos de alvenaria, observando resistência inicial e última de ruptura à compressão das alvenarias. Os testes foram realizados para avaliar a resistência à compressão das argamassas (Figura 17-a) baseado no ASTM C 1314-03b “Standart Test Method for Compressive Strenght of Mansory Prisms” e também a compressão dos prismas em posição diagonal para avaliar resistência a cargas de cisalhamento baseados nos procedimento descrito nos ASTM E 519-02 “Standart Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Mansonry Assemblages” (Figura 17-b) correlacionado aos efeitos de carregamento de vento e ações sísmicas a resistência e a rigidez do elemento.

Figura 17 - Teste de compressão protótipo alvenaria



Legenda: (a) Carregamento vertical (b) Carregamento diagonal

Fonte: CORINALDEIS (2009)

Para o teste de compressão vertical (Figura 17-a), a falha aconteceu por meio dos tijolos que quebraram devido às tensões de tração envolvidas pela dilatação transversal das argamassas circundante, concluindo que neste caso de ruptura as propriedades mecânicas da argamassa são menos importantes que outros fatores, como a qualidade da interface argamassa-tijolo, valor do módulo de elasticidade e em especial coeficiente de Poisson.

Para o teste de compressão na diagonal (Figura 17-b), o carregamento foi aumentando até ocorrer a ruptura das peças e registrado como resistência de cisalhamento última, bem como módulo de elasticidade de cisalhamento (módulo de rigidez). O padrão de falha dos corpos de prova variou de acordo com o tipo de argamassas, as argamassas de referência romperam nos tijolos, confirmando o alto nível de tensão de cisalhamento final, enquanto para as argamassas recicladas o rompimento ocorreu não só nos tijolos, mas também por meio da interface blocos argamassa.

LIMA (2010) confeccionou prisma com dois blocos cerâmicos assentados com argamassas para avaliar a influência da espessura da argamassa de assentamento em alvenarias estruturais, por meio de testes de compressão (Figura 18). Concluiu que o aumento da espessura da argamassa causa um decréscimo na resistência à compressão dos prismas.

Figura 18 - Ensaio de compressão em prismas de alvenaria

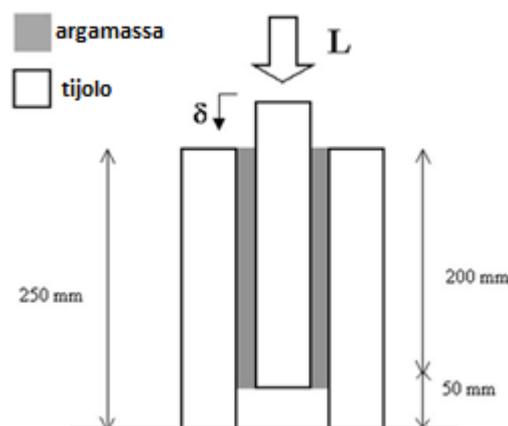


Fonte: LIMA (2010)

CORINALDESI e MORICONI (2009) e MIRANDA *et al* (2013) avaliaram a aderência entre argamassas e bloco cerâmico por meio da confecção de prismas de alvenaria.

CORINALDESI e MORICONI (2009) estudaram a influencia da utilização de resíduos em argamassas e avaliaram ensaio de aderência de acordo com o EN 1052-3 (2002) por meio da determinação da resistência ao cisalhamento inicial. O ensaio é realizado por meio de aplicação de carregamentos em direções opostas e em pontos diferentes dos prismas até o seu descolamento e falha (Figura 19).

Figura 19 - Modelo para ensaio de aderência entre blocos de alvenaria

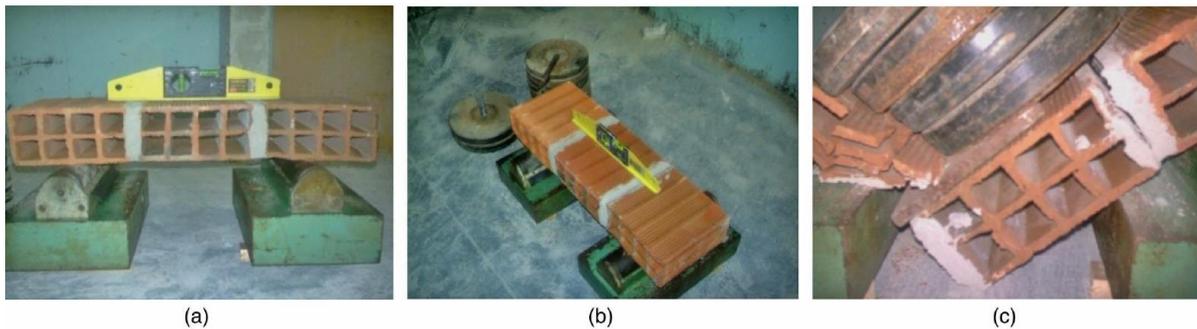


Fonte: Adaptado CORINALDESI e MARCONI (2007)

MIRANDA *et al* (2013) construíram prismas com três blocos cerâmicos para avaliar a aderência à flexão e ao cisalhamento de argamassas de assentamento, objetivando avaliar a influencia de utilização de agregados de RCD. Para análise de aderência à flexão os prismas foram posicionados horizontalmente com face do

espelho na direção horizontal com extremidades apoiadas. No centro dos prismas onde era aplicado carregamento por meio de alteres de aço cilíndricos, o carregamento era feito manualmente adicionado 8kg a cada 10s no bloco central até a falha dos primas (Figura 20). Para análise de aderência ao cisalhamento, o autor adaptou o método determinado pelo EN 1052-3 (EN, 2002), diferenciando da norma que durante a preparação do prisma não houve aplicação de carga de compressão e que a argamassa de assentamento foi aplicada na menor face do bloco, assim como é feito para execução de alvenaria (Figura 21). Com os resultados dos ensaios observou-se uma correlação com outras propriedades como: absorção dos agregados, consumo de cimento por metro cúbico e densidade das argamassas e concluem que o método de avaliação possui um alto grau de confiança levando em consideração outros resultados obtidos em estudos anteriores.

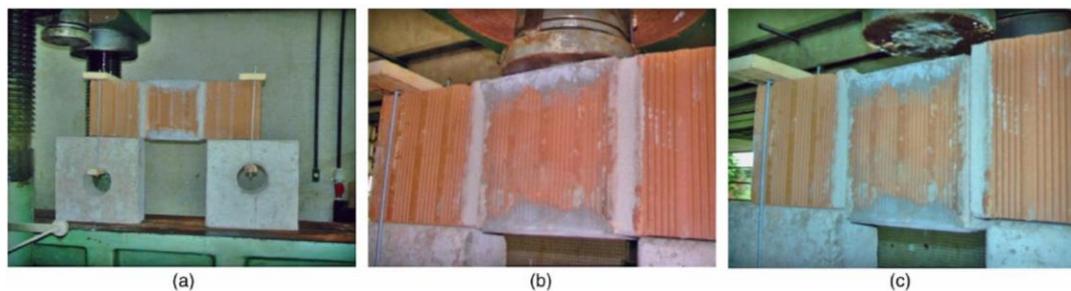
Figura 20 - Teste aderência à flexão



Legenda: (a) Prisma posicionado em suporte metálico cilíndrico; (b) Carregamento manual de cargas; (c) Falha do prisma na região entre bloco e argamassa;

Fonte: MIRANDA et al (2013)

Figura 21 - Teste aderência ao cisalhamento



Legenda: (a) Prisma posicionado em blocos de concreto; (b) Prisma posicionado para carregamento; (c) Falha do prisma cerâmico na região entre o bloco e argamassa;

Fonte: MIRANDA (2013)

Por meio dos estudos apresentados, conclui-se que a avaliação de desempenho de argamassas de assentamento por meio da confecção de prismas é um método eficiente que consegue simular a real utilização do material. Dentre os testes analisados, os testes de compressão de prismas de blocos são os que apresentam menor complexidade para execução e conseguem identificar o desempenho da argamassa e sua contribuição de resistência no conjunto bloco-argamassa. Apesar de a NBR 15961 (ABNT, 2011) aconselhar que os testes de compressão de blocos para alvenaria estrutural devam ser realizados com duas unidades de blocos, ensaios com prismas com três unidades de blocos também apresentaram resultados satisfatórios e ainda simulam o efeito de confinamento presente durante a execução de alvenarias de vedação.

2.5 Argamassas com agregados de RCD

A maioria dos estudos que avaliam a utilização de RCDs como agregados de argamassas foi feita na última década, em especial nos últimos cinco anos. A influência do uso de resíduos em algumas propriedades dos materiais ainda é divergente entre os autores.

ASSUNÇÃO et al (2007) avaliaram as propriedades das argamassas de revestimento produzidas com RCDs por meio da substituição do agregado natural pelo reciclado em 30% e 50%, comparando com um traço de referência. Os agregados reciclados utilizados pelos autores eram provenientes de entulhos da construção de um edifício na cidade de Belém na fase de alvenaria, tratando-se de resíduo misto de tijolos, concreto e argamassa. Esse material foi triturado e peneirado, retirando-se a parcela de finos. Para a realização da mistura os autores utilizaram aditivo de incorporador de ar em substituição à cal e traço em massa de 1:5,7, variando a quantidade de água de acordo com a porcentagem de substituição de agregado, utilizando fator a/c de 1,08, 1,32 e 1,38 para as argamassas com 0, 30 e 50% de substituição respectivamente, indicando a influencia da alta absorção dos agregados na consistência das misturas. Os autores analisaram também a quantidade de ar incorporado nas argamassas e verificaram que com o aumento do uso dos resíduos há uma diminuição na porcentagem de ar incorporado. Para o

estado endurecido, os autores avaliaram resistência à tração e à compressão para 7 e 14 dias de idade de cura e verificaram que nos dois casos o valor da resistência aumentava com utilização do resíduo. Ainda para avaliar o desempenho da argamassa como revestimento, os autores revestiram uma parede de tijolos e realizaram teste de arrancamento aos 14 dias de cura, obtendo resultados acima dos mínimos exigidos pela norma para utilização em ambientes internos e externos. O resultado de resistência de aderência de substituição de 30% dos autores foi semelhante à referência e o de 50% apresentou pequeno decréscimo.

CORINALDESI e MORICONI (2009) avaliaram mecânica e reologicamente o comportamento de argamassas preparadas com três diferentes tipos de agregados reciclados: rejeitos da produção de concreto pré-moldado, tijolos cerâmicos e terceiro de resíduos mistos de construção de uma obra na Itália (72% concreto, 25% alvenaria e 3% asfalto). As misturas de argamassas foram feitas utilizando traço de 1:3 em peso e quantidade de água variando para atingir a mesma consistência. Além de avaliar a resistência mecânica, os autores também observaram resistência de aderência por meio da confecção de prismas cerâmicos e aplicando esforços de cisalhamento. Os autores observaram que as resistências mecânicas das argamassas avaliadas diminuía com a utilização de resíduos, entretanto, a resistência à aderência dos prismas entre a argamassa e os tijolos aumentaram com a utilização de resíduos, destacando-se os resíduos mistos.

CORINALDESI (2009) caracterizou argamassas com utilização de agregados reciclados de resíduos de uma obra na região de Villa Musone na Itália. O resíduo utilizado era majoritariamente composto por concreto (72%). Para as misturas os autores utilizaram traço de 1:3 em peso. Além da resistência mecânica, o autor avaliou a porosimetria das argamassas, resistência à aderência de prismas de blocos assentados com a argamassa e realizou testes de compressão em protótipos de paredes com aplicação de carga na direção vertical e diagonal. Apesar de os autores observarem que as resistências mecânicas das argamassas diminuía com utilização de resíduos, foi observado uma melhoria no comportamento no que se refere à aderência entre os blocos. Nos testes com os protótipos de alvenaria, os autores observaram que a utilização de resíduos não implicou em uma variação de comportamento significativa. O autor ressaltou o bom comportamento das argamassas recicladas quando submetidas a cargas de cisalhamento e relacionou essas propriedades em regiões com sismos.

MARTINEZ et al (2013) avaliaram três misturas de argamassas utilizando três tipos de agregados reciclados oriundos de resíduos de processos construtivos da cidade de Havana em Cuba. O primeiro era majoritariamente cerâmico vindo de telhas, o segundo misto de argamassa e cerâmica da demolição de elementos de blocos cerâmicos, com argamassa e concreto e o terceiro de concreto da demolição de paredes de bloco de concreto e laje de concreto armado. Os autores substituíram 100% dos agregados naturais, objetivando encontrar um material de melhor qualidade que o agregado natural disponível na região. As misturas tinham proporção de 1:6 em volume, sendo que uma parte da parcela fina recomendada para agregado foi substituída por cal (1:5:1), variando a quantidade de água de cada mistura. Os autores observaram que as argamassas com diferentes tipos de resíduos não apresentaram variação nos ensaios de retenção de água. Entretanto, os ensaios de porosidade por capilaridade indicaram que a argamassa com resíduo de tijolo se mostrou mais permeável que as demais, o autor relaciona ao fato deste material ter necessitado de uma maior quantidade de água durante sua mistura. Os autores concluíram que o uso de resíduos como agregados em argamassas é viável e que algumas propriedades se mostraram com melhor desempenho, principalmente pela granulometria que é mais distribuída do que a do agregado natural disponível na região. Como conclusão, observou-se que todas as argamassas atingiram a resistência mínima para serem utilizadas em alvenarias. As argamassas com resíduos de cerâmica vermelha se destacaram segundo resultados de resistência à flexão e de aderência.

JIMENEZ et al (2012) avaliaram a performance no estado fresco e endurecido de argamassas produzidas utilizando RCD como parcial substituto de agregado natural. O resíduo utilizado pelos autores é oriundo de uma obra na região de Córdoba na Espanha na fase de alvenaria, logo é um resíduo misto composto de blocos cerâmicos e argamassa. Os autores utilizaram traço de 1:7 em volume nas argamassas e porcentagens de substituição do agregado natural de 0, 5, 10, 20 e 40%. Apesar de os resultados dos autores indicarem uma tendência de aumento da resistência mecânica com o uso de resíduos, a análise estatística indicou que não houve uma variação considerável entre os resultados. Os autores concluíram que porcentagens de até 40% de substituição não afetam significativamente as propriedades das argamassas, exceto no quando se trata de consistência e trabalhabilidade.

NENO et al (2014) avaliaram a performance de argamassa com agregados reciclados de concreto, substituindo agregado natural em 20, 50 e 100% em comparação com referência. Os autores utilizaram traço na mistura de 1:4 em volume e relação de a/c variando de 1,21 a 1,30 para cada porcentagem de substituição para atingir mesma consistência. Como resultados, observou-se que com a adição de resíduos as argamassas ficavam menos densas e mais resistentes, tanto à tração quanto à compressão. Sobre a durabilidade, os autores avaliaram a absorção de água por capilaridade e observaram que para todas as porcentagens de substituição não houve muita variação de absorção. Para um segundo estágio da análise, os autores escolheram a argamassa com 20% de substituição para avaliar retenção de água, aderência e permeabilidade ao vapor de água. Os resultados indicaram que para retenção de água, observou-se que a argamassa com resíduo reteve mais água do que a referência, indicando uma melhor hidratação do cimento e melhoria das propriedades mecânicas. Sobre a aderência, os resultados não variam significativamente, indicando não haver influência dos resíduos nessa propriedade. Sobre a permeabilidade de vapor de água mostrou que a permeabilidade da argamassa com 20% de resíduos se mostrou menos permeável do que a de referência. Como conclusão, os autores concluíram que o uso deste tipo de agregado em argamassa é uma solução viável com grande potencial de aplicação.

LEDESMAN et al (2014) avaliaram as propriedades de argamassas com substituição de agregado natural por agregado reciclado de resíduo misto coletado em uma obra na região de Córdoba na Espanha. Nas misturas os autores utilizaram porcentagem de substituição de 0, 5, 10, 20 e 40% e traço em volume de 1:7 em volume com quantidade de água variando para atingir a mesma consistência. Para beneficiamento dos agregados, os autores apenas passaram os resíduos na peneira de 4mm e utilizaram o material passante de acordo com granulometria original. Como conclusão, os autores observaram a viabilidade da substituição do agregado para produção de argamassas sustentáveis. Não houve variação da quantidade de ar na argamassa no estado fresco. No estado endurecido, a resistência mecânica mostrou aumento com a utilização dos resíduos, a resistência de aderência mostrou valores de mesma magnitude para todas as misturas, entretanto a absorção de vapor de água aumentou com a utilização dos resíduos. A partir da análise dos resultados, os autores indicaram o uso do material em ambientes internos, devido os

resultados de durabilidade encontrados, e sugeriram que fossem realizados novos estudos para melhorar a consistência do material.

LEDESMA et al (2015) avaliaram as propriedades de argamassas com substituição de agregado natural por agregado reciclado de resíduo misto coletado em uma obra na região de Córdoba na Espanha. Nas misturas, os autores utilizaram porcentagem de substituição de 0, 25, 50 e 75% e traço em volume de 1:5 com quantidade de água variando para atingir a mesma consistência. Os autores verificaram que os agregados natural e reciclados apresentaram similares padrões de difração de raio X. Além das propriedades no estado fresco, os autores também observaram resistência mecânica, aderência e absorção por capilaridade. Sobre a resistência mecânica, os autores observaram que a resistência diminuía com a adição de resíduos, assim como a densidade. Para a resistência à aderência, não foi observada influência para porcentagem de substituição até 75%, entretanto após essa porcentagem a resistência diminuiu consideravelmente. Sobre a capilaridade, os resultados mostraram um crescimento linear de absorção de acordo com o aumento da utilização de resíduos. Como conclusão, os autores ratificaram a viabilidade do uso de argamassas recicláveis com a substituição de agregados naturais, entretanto, limitaram porcentagem de substituição de 50% para uso em ambientes externos, levando em consideração os resultados dos ensaios de permeabilidade e ataque de sulfatos.

GE et al (2015) avaliaram a fabricação e propriedades de argamassas totalmente recicláveis de agregados de resíduos de tijolos cerâmicos e aglomerante de resíduos de PET oriundos da cidade de Jinan, na China. O agregado utilizado pelos autores foi de resíduo de tijolo, produzido por meio de britagem do material em granulometrias diferentes e depois recompondo de acordo com a distribuição granulométrica desejada. Objetivando melhorar a trabalhabilidade e resistência também foi utilizada cinza volante na mistura. Os autores avaliaram misturas com traços de 1:1, 1:2 e 1:3 de volume. Para preparar a mistura, o agregado reciclado foi seco e misturado manualmente com PET até atingir 280° C por aproximadamente 2 horas, quando o PET foi totalmente derretido, e procedeu-se à moldagem antes do total endurecimento do PET. Para essa pesquisa, os autores concluíram que a resistência à compressão e flexão das argamassas chegaram a 42,5 e 12,6 MPa respectivamente. As argamassas apresentaram baixa absorção e alta resistência à penetração e íons de cloreto e ataque de sulfatos. Por fim, os autores concluíram

que as argamassas possuíam uma estrutura densa e uniforme com baixa porosidade e não foram encontradas microfissuras.

SOUZA (2015) analisou argamassas utilizando os mesmos três tipos de resíduos utilizados neste estudo, resíduo de blocos cerâmicos, resíduo de demolição de uma placa de argamassas e resíduo de demolição de uma parede, todos produzidos controladamente dentro de laboratório. Para as misturas, o autor utilizou traço de 1:6 em peso e fator a/c 1,05 e analisou argamassas com 50% de substituição do agregado natural. O autor descartou o material pulverulento por meio do peneiramento dos agregados. Para análise no estado fresco, verificou que todas as misturas apresentavam retenções de água compatíveis, entretanto, verificou que a argamassa de resíduo misto possuía quantidade de ar incorporado muito superior à mistura de referência e com resíduos de argamassas. O autor não verificou esta propriedade para a mistura com blocos. Para análise no estado endurecido, o autor verificou resultados para misturas com pré-saturamento e sem pré-saturamento dos agregados. Verificou para resistência à compressão e resistência à tração que as argamassas recicladas sem pré-saturamento apresentaram valores de resistência semelhantes ou inferiores à referência, já as argamassas com pré-saturamento se mostraram mais resistentes, com exceção das argamassas com blocos que apresentaram resistência muito baixa para as duas análises, indicando influência da absorção dos resíduos na resistência mecânica das argamassas.

BARBIEITAS e LOPES (2015) avaliaram a aplicação de resíduos mistos de construção de uma obra localizada na cidade do Rio de Janeiro como substituto parcial de agregado em argamassas. Os autores utilizaram traço de 1:6 em peso e relação a/c de 1,05. Para as misturas, compararam com as referências argamassas com 50% de substituição de agregado natural, em três misturas diferentes, primeira somente com o agregado sem o pré-saturamento, segundo com o agregado pré-saturado e terceiro com adição de cal no agregado pré-saturado. Como conclusão, os autores observaram que a adição de cal melhorou a trabalhabilidade da mistura e apresentou maior quantidade de ar incorporado, o que foi correlacionado com a diminuição de segregação do material devido à utilização de cal. Em relação ao desempenho mecânico, as argamassas pré-saturadas apresentaram melhor desempenho comparada a sem pré-saturamento.

MARTINEZ et al (2016) em seu estudo avaliaram o desempenho de argamassas com três tipos diferentes de resíduos de típicas construções de Cuba. Os resíduos

analisados são mistos, mas com uma prevalência de um tipo de material, são eles: cerâmicos, argamassa e de concreto. O autor utilizou substituição de 100% dos agregados e traço de 1:7. Em relação à capilaridade, o autor avaliou as argamassas e concluiu que para todos os tipos de agregados, a absorção por capilaridade se mostrou maior com o acréscimo de resíduos. Apesar desse desempenho inferior, todos os traços atenderam as especificações mínimas de aderências exigidas para a utilização das argamassas, segundo as normas locais.

SILVA et al (2016) realizaram um estudo onde avaliaram a performance de argamassas com resíduos de construção e demolição e para isso realizaram uma revisão bibliográfica de 114 publicações para identificar a influência em diversas propriedades. Vale ressaltar que os autores avaliaram a influência do uso de resíduos de uma maneira geral, não fazendo diferenciação de traços ou tipos de resíduos utilizados para compatibilização dos resultados. Sobre a consistência, avaliaram que há um decréscimo por meio da alta absorção dos resíduos e ratificam a orientação dos demais autores de ajustar a quantidade de água quando há utilização de resíduos por meio do pré-saturamento ou compensação da quantidade de água utilizada levando em consideração a absorção dos agregados. Sobre a resistência mecânica, avalia que há uma ambiguidade nos resultados, mas de um modo geral quando se utiliza alta relação água/cimento a resistência mecânica das argamassas com resíduos tende a aumentar ou se manter, já com relação água/cimento baixa a resistência tende a cair. Os autores correlacionam essa variação com a hidratação da matriz cimentícia. Sobre a resistência à aderência, os autores indicam que normalmente a tendência é aumentar, principalmente com o uso de resíduos de tijolos e correlacionam isso com a retenção de água das misturas e afirmam que a aderência pode ser ainda melhor com a utilização dos finos dos tijolos. Sobre a durabilidade por meio de análise de capilaridade, os autores afirmam que, apesar da alta absorção dos agregados, alguns resultados mostram que a absorção das argamassas diminui com a utilização dos resíduos, atribuindo esses fatores aos finos presentes nos resíduos. Por fim, os autores ressaltam que a utilização de RCD como agregados em argamassa é uma alternativa viável que ainda pode contribuir positivamente para as propriedades das argamassas.

RUIPEREZ et al (2016) avaliaram argamassas leves de argila expandida combinadas com dois diferentes tipos de agregados reciclados, o primeiro de

resíduos da fabricação de blocos de concreto e o segundo resíduo misto oriundo de entulho de uma obra localizada na cidade de Burgos, na Espanha. Os autores utilizaram proporção na mistura de 1:4 em peso. Como conclusão, os autores verificaram que os agregados reciclados apresentaram desempenhos inferiores aos dos agregados naturais quando avalia-se absorção, presença de finos e presença de impurezas. Entretanto, as argamassas com agregados reciclados de concreto apresentaram um desempenho melhor comparado ao das argamassas de referência. A utilização de argila expandida aumentava a presença de ar nas misturas e aumentava ainda mais quando se utilizou os agregados reciclados. A resistência mecânica das argamassas recicladas não variou muito das de referência, mas variou de acordo com a relação água/cimento da mistura. A resistência diminuiu de acordo com a adição de água. Finalmente, os autores concluíram a viabilidade de utilizar os agregados reciclados já que o seu uso se justificava tanto pela quantidade quanto qualidade da utilização dos materiais.

GAYARRE et al (2017) avaliaram a influência da utilização de agregados de resíduos cerâmicos nas propriedades das argamassas. Os agregados utilizados foram oriundos de resíduos de peças cerâmicas defeituosas na fabricação de peças utilizadas para execução de dutos de ventilação na região de Valência, na Espanha. Para as misturas, os autores utilizaram traço de 1:6 em volume com utilização de 15% de água sobre o volume total e porcentagens de substituição do agregado natural de 20, 35, 50, 70 e 100% em comparação com a referência. Durante a mistura foram adicionadas quantidades extras de água com a adição de resíduos para manter a consistência de cada mistura. Os autores observaram diminuição na densidade das argamassas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Sobre a resistência mecânica, os autores observaram aumento com a utilização dos resíduos. Sobre a durabilidade analisada por meio de ensaio de capilaridade, os autores observaram que o coeficiente de absorção de água variava pouco com porcentagem de substituição, mas que todas as misturas com material reciclado se mostraram menos permeáveis do que a referência. Os autores correlacionaram todos os resultados encontrados à absorção dos agregados já que, segundo o autor, a variação na quantidade de água utilizada nas misturas para atingir a mesma consistência foi menor do que a absorção dos agregados, fazendo com que as argamassas com resíduos tivessem menos água efetiva, logo mais compacta, mais densa e conseqüentemente mais resistente e menos permeável.

2.5.1 Resumo e compatibilização dos resultados

As Tabelas 06 e 07 foram elaboradas de acordo com os estudos descritos no Item 2.5 com objetivo de resumir e classificar os resultados encontrados pelos autores. Para definir as análises de argamassa de assentamento, foram selecionados traços considerados fortes, com proporções entre 1:3 e 1:5 cimento:agregado e para as argamassas de revestimento traços fracos com proporções entre 1:5,7 e 1:9. Os autores variaram entre proporções de peso e volume e também na relação a/c. Além da separação por traços, os resultados foram divididos de acordo com a origem dos resíduos utilizados. Deste modo, pretende-se identificar a influência da utilização de cada tipo de resíduo para cada tipo de traço de argamassa. As setas voltadas para cima (\uparrow) indicam que em todos os resultados houve acréscimo nas propriedades, já as para baixo (\downarrow) indicam decréscimo. Os itens que apresentam duas setas em sentidos opostos ($\uparrow\downarrow$) indicam que houve uma ambiguidade nos resultados de diferentes autores. O item que apresenta o símbolo de igual (=) indica que não houve variações significativas nos resultados das argamassas com utilização de resíduos reciclados em comparação com as referências. Nos itens que não tem indicação os autores não observaram estas propriedades. A coluna amostragem indica o número de estudos diferentes que foram compatibilizados para identificar este comportamento

Tabela 6 - Propriedades das argamassas de assentamento segundo bibliografia

Argamassa de assentamento – traços fortes						
	Resíduo misto		Resíduo cerâmico		Resíduo concreto	
	Amostragem		Amostragem		Amostragem	
Consistência e trabalhabilidade	↓	3	↓	2	↓	3
Teor de ar incorporado	↑	1	-	-	-	-
Retenção de água	-	-	-	-	↑	1
Resistência mecânica	↓	3	↓	2	↑ ↓	3
Aderência	↓	2	↑	1	↓	2
Durabilidade	↑ ↓	2	-	-	↓	1

Fonte: a autora

Por meio da Tabela 6 pode-se concluir e analisar algumas previsões sobre o comportamento de argamassas de assentamento com a utilização de argamassas de resíduos. Sobre a consistência e trabalhabilidade há um consenso em todos resultados analisados que a alta absorção dos agregados influencia na consistência das misturas. Sobre o teor de ar incorporado, espera-se que aumente com a utilização de resíduos mistos e para a retenção de água nas misturas, espera-se que aumente com a utilização de resíduos de concretos. A resistência mecânica de um modo geral diminui com a utilização de resíduos, com exceção do estudo de NENO et al (2014) que apresentou pequeno acréscimo. Esse aumento já foi identificado em alguns outros estudos que utilizam resíduos de concreto. SILVA et al (2016) explicam que a alta resistência do concreto pode influenciar nesse comportamento que foge do esperado levando em consideração resultados de outros autores. A resistência à aderência se mostra variável de acordo com o tipo de resíduo utilizado, destacando-se os resíduos de blocos cerâmicos que melhoram a propriedade. Para a durabilidade, os estudos com resíduo misto fogem do esperado, associando a alta absorção dos agregados, e apresentam menor porosidade e maior durabilidade.

Tabela 7 – Propriedades das argamassas de revestimento segundo bibliografia

Argamassa de revestimento – traços fracos						
	Resíduo misto		Resíduo cerâmico		Resíduo concreto	
	Amostragem		Amostragem		Amostragem	
Consistência e trabalhabilidade	↓	4	↓	2	↓	2
Teor de ar incorporado	↑	2			=	1
Retenção de água	=	1	=	2	=	2
Resistência mecânica	↑	4	↑	2	↑	2
Aderência	↑	1	↑	1	↓	1
Durabilidade	↑	1	↓	2	↓	1

Fonte: a autora

Por meio da Tabela 7 pode-se concluir e analisar algumas previsões sobre o comportamento de argamassas de assentamento com a utilização de argamassas de resíduos. Sobre a consistência e trabalhabilidade há um consenso em todos resultados analisados que a alta absorção dos agregados influencia na consistência das misturas. Sobre o teor de ar incorporado, indica-se que há um acréscimo quando se utiliza resíduos mistos e não há influência para utilização de resíduos de concreto. Para retenção de água observa-se que todos os estudos analisados mostraram que para este tipo de traço a utilização de resíduo não influencia na propriedade. Há um consenso sobre o desempenho mecânico, indicando que há um aumento da resistência com a utilização de resíduos, diferentemente do ocorrido com as argamassas de assentamento. Para aderência indica-se uma variação de comportamento de acordo com o tipo de resíduo utilizado, indicando que para resíduos mistos e de tijolos há um acréscimo, enquanto para concretos um decréscimo. Pode-se associar esse comportamento à alta absorção dos resíduos com blocos cerâmicos. Por fim, para a durabilidade não há um consenso já que estudos apresentaram resultados distintos.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo, são descritas as variáveis de controle adotadas, bem como os métodos de caracterização dos materiais utilizados e os ensaios utilizados.

3.1 Planejamento experimental

Foi realizado um planejamento experimental, de modo a cumprir os objetivos estabelecidos neste estudo, buscando simular o mais fielmente possível as etapas da execução de uma edificação padrão. Desta maneira, foram produzidas, em laboratório, argamassas com traços e composições diferentes para serem ensaiadas com função de revestimento e também de assentamento. As argamassas em questão foram executadas substituindo parcialmente o agregado natural usual, areia, por resíduos oriundos da demolição de alvenarias. Para isto, foram produzidos em laboratório três tipos de resíduos, cujas siglas estão descritas na Figura 22.

Figura 22 - Identificação dos resíduos reciclados utilizados

RESIDUOS	
RB	Resíduo oriundo britagem de cacos de blocos cerâmicos
RP	Resíduo oriundo britagem de demolição de parede
RA	Resíduo oriundo britagem de uma placa maciça de argamassa

Fonte: a autora

O planejamento de execução das argamassas foi feito considerando dois traços diferentes, o primeiro fraco com proporção cimento agregado de 1:6, em peso, objetivando avaliar o desempenho como revestimento e o segundo mais forte com proporção cimento agregado de 1:3, em peso objetivando avaliar o

desempenho como argamassa de assentamento. Além da variação do traço, também foram estudadas duas porcentagens diferentes de substituição de agregado, 30% e 50%, além da argamassa de referência com 0% de substituição. As siglas referentes às misturas das argamassas estudadas estão descritas na Figura 23.

Figura 23 - Nomenclatura das argamassas estudadas

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO traço 1:6		ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO traço 1:3	
ARR	Referência	AAR	Referência
ARB30	30% de agregados reciclados de resíduo de bloco cerâmico	AAB30	30% de agregados reciclados de resíduo de bloco cerâmico
ARB50	50% de agregados reciclados de resíduo de bloco cerâmico	AAB50	50% de agregados reciclados de resíduo de bloco cerâmico
ARP30	30% de agregados reciclados de resíduo de parede	AAP30	30% de agregados reciclados de resíduo de parede
ARP50	50% de agregados reciclados de resíduo de parede	AAP50	50% de agregados reciclados de resíduo de parede
ARA30	30% de agregados reciclados de resíduo de argamassa	AAA30	30% de agregados reciclados de resíduo de argamassa
ARA50	50% de agregados reciclados de resíduo de argamassa	AAA50	50% de agregados reciclados de resíduo de argamassa

Fonte: a autora

O fluxograma do procedimento experimental realizado neste trabalho está representado na Figura 24.

Figura 24 – Fluxograma do planejamento experimental



Fonte: a autora

3.2 Materiais

3.2.1 Cimento Portland

O cimento escolhido para a produção das argamassas foi o CP II F-32 devido às regularidades nas propriedades físico-químicas e mecânicas, e por sua larga utilização em outros projetos de pesquisa, o que permite futuras comparações com resultados de outras pesquisas.

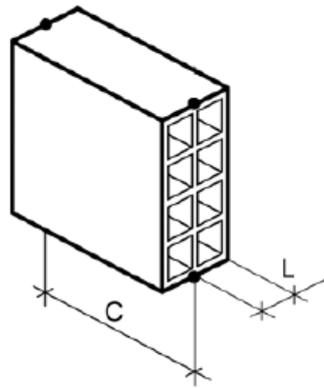
3.2.2 Água

Foi utilizada a água proveniente do sistema de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro.

3.2.3 Bloco cerâmico

Os blocos utilizados para execução de paredes foram blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal e dimensões de 19x19x10cm (Figura 25), bastante utilizados em obras padrões no Rio de Janeiro. Os blocos também foram britados para compor a amostra de resíduo apenas com este material. Na Tabela 8 estão as propriedades analisadas de acordo com as orientações da NBR 1527-3 (ABNT, 2005) por meio de análise de quatro unidades aleatórias de blocos.

Figura 25 - Modelo de bloco cerâmico para alvenaria



Fonte: ABNT NBR 1527-3 (2005)

Tabela 8 - Propriedade dos blocos

Propriedade dos blocos
Dimensões (C x L x H)
19 x 8,7 x 19 cm
Absorção (%)
20,8

Fonte: a autora

3.2.4 Produção e beneficiamento dos resíduos

De modo a analisar a utilização de resíduos provenientes de fases de execução de alvenaria de blocos cerâmicos, foram produzidos em laboratórios três tipos de agregados de resíduos, baseados em estudos anteriores, com os mesmos tipos de resíduos (SOUZA, 2015).

Para britagem dos três tipos de resíduos utilizou-se britador Queixada 200 da marca Vegedry® (Figura 26). Este equipamento é um britador de mandíbula móvel alimentado manualmente, onde os RCD são triturados e em seguida separados em três frações, duas graúdas referentes à granulometria de brita 0 e brita 1 e uma fração miúda equivalente à granulometria da areia. Neste estudo, utilizou-se somente a fração miúda dos resíduos e foi necessária a passagem do material pelo triturador apenas uma vez, atingindo a granulometria desejada.

Figura 26 Equipamento utilizado para britar resíduos



(a)

(b)

Legenda: (a) Lateral do equipamento; (b) Região de separação por granulometria do material britado;

Fonte: a autora

Os agregados reciclados, oriundos dos três tipos de resíduos, foram produzidos e beneficiados de maneira controlada em laboratório para simular os resíduos gerados durante processo de construção de alvenarias.

3.2.4.1 RB - Resíduo proveniente de blocos cerâmicos

Este tipo de resíduo foi gerado utilizando os blocos cerâmicos de vedação com propriedades detalhadas na Tabela 8. Os blocos foram obtidos por meio de uma loja de materiais de construção na região de São Cristóvão, na cidade do Rio de Janeiro. Os blocos foram previamente quebrados manualmente com ajuda de uma marreta e posteriormente inseridos no britador para atingir granulometria correspondente a do agregado miúdo (Figura 27). Após britagem, o material foi armazenado em sacos plásticos para posterior utilização.

Figura 27 - Resíduo de bloco cerâmico após britagem



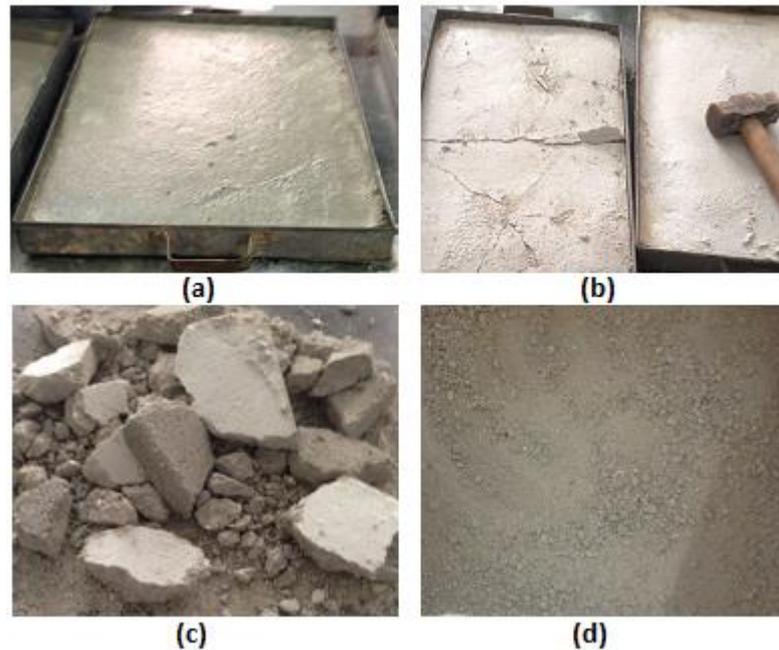
Fonte: a autora

3.2.4.2 RA - Resíduo proveniente de argamassa de revestimento

Para a obtenção deste resíduo, foram confeccionadas placas maciças de argamassa. A argamassa para a confecção das placas utilizou-se traço 1:6 em peso e relação a/c 1,05, procurando utilizar um traço fraco que se assemelha ao utilizado em campo para execução de revestimento de alvenarias.

Como moldes para as placas, utilizaram-se formas metálicas retangulares. Quinze dias após a moldagem, as placas foram quebradas manualmente com auxílio de marreta. Os fragmentos foram britados seguindo o mesmo procedimento dos demais resíduos para atingir uma granulometria semelhante a da areia (Figura 28).

Figura 28 - Produção e beneficiamento de resíduo de alvenaria



Legenda: (a) Moldagem da placa; (b) Demolição da argamassa endurecida;
(c) Fragmentos; (d) Resíduo após britagem;

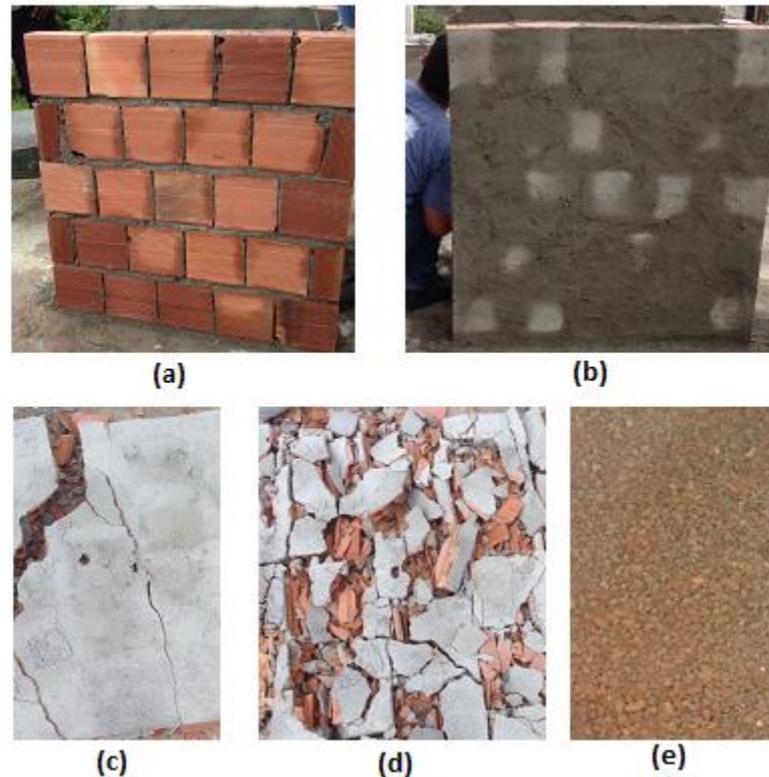
Fonte: a autora

3.2.4.3 RP - Resíduo proveniente da demolição de uma parede

Para a obtenção deste resíduo, foram construídas duas paredes de aproximadamente 1m² cada, utilizando blocos cerâmicos citados no item 3.2.3. Para assentamento dos blocos foi utilizada argamassa forte de traço 1:3 e para revestimento da parede argamassa fraca de traço 1:6. A execução das paredes foi realizada por profissional experiente e qualificado.

Após a construção, a parede permaneceu na área externa do laboratório por aproximadamente 15 dias, cujas condições são similares as da prática na construção civil. Após este período de cura, as paredes foram demolidas com auxílio de uma marreta. Os fragmentos foram britados, seguindo o mesmo procedimento dos demais resíduos anteriores. Após britagem, o resíduo foi armazenado em sacos para futura utilização. A Figura 29 mostra as etapas de produção da parede até sua britagem final.

Figura 29 - Produção e beneficiamento do resíduo de parede de alvenaria



Legenda: (a) Construção da parede; (b) Revestimento da parede; (c) Demolição da parede; (d) Fragmento da demolição; (e) Resíduo após britagem;
Fonte: a autora

3.2.5 Agregado miúdo natural e reciclado

O agregado miúdo natural utilizado nas argamassas foi areia de origem natural. A fim de simular as condições encontradas na prática, optou-se por não lavar a areia, secando-a naturalmente e descontando sua umidade na mistura da argamassa. Antes da utilização, os agregados reciclados passaram pela peneira de 150 μm e o material passante foi descartado com objetivo que os finos presentes não influenciassem no comportamento do material.

Para identificação das propriedades fundamentais dos agregados, o agregado natural e os reciclados (bloco cerâmico, argamassa e parede) foram analisados da mesma forma, seguindo as orientações normativas vigentes. Figura 30 relaciona as propriedades de acordo com suas respectivas normas.

Figura 30 – Normas para caracterização dos agregados realizados

ENSAIOS AGREGADOS	
GRANULOMETRIA	NBR NM 248 - 2003
MASSA UNITÁRIA	NBR NM 45 - 2006
MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 52 - 2009
ABSORÇÃO	NBR NM 30 - 2001

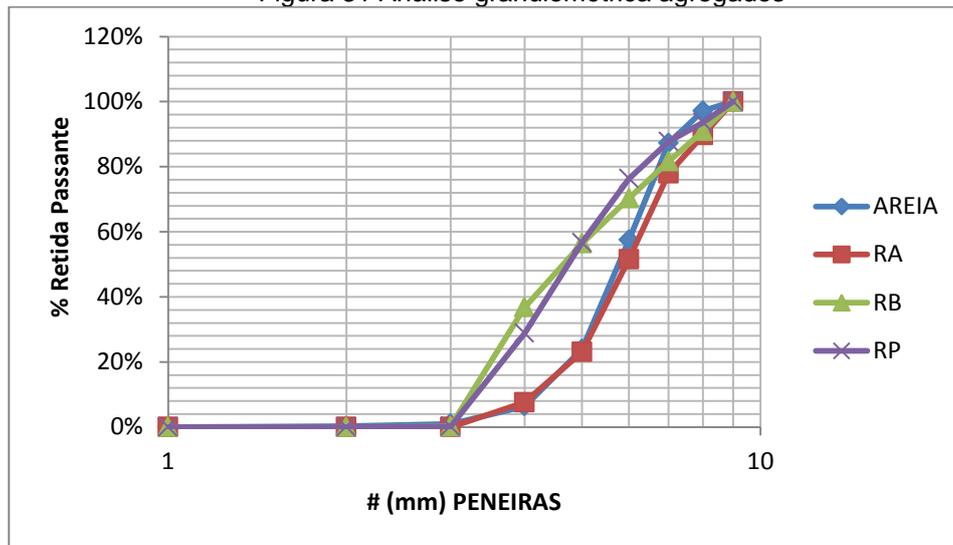
Fonte: a autora

3.2.5.1 Análise granulométrica

Os ensaios para determinação da distribuição granulométrica dos agregados foram realizados em laboratório através da técnica do peneiramento a seco, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Para realização dos ensaios foram utilizadas duas amostras de aproximadamente 1 kg cada. De acordo com a norma, por meio deste ensaio conseguimos determinar a dimensão máxima característica e o módulo de finura dos agregados. Para a realização do ensaio foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura entre 0,15 e 6,3 mm, seguindo a série normal de peneiras estabelecida pela norma.

A Figura 31 indica o gráfico de distribuição granulométrica de todos os agregados utilizados e a Tabela 8 indica os parâmetros obtidos, a partir da porcentagem em massa acumulada para cada diâmetro e peneira.

Figura 31 Análise granulométrica agregados



Fonte: a autora

Tabela 9 – Parâmetros de granulometria dos agregados

AGREGADOS				
	Natural	Reciclado Argamassa	Reciclado Blocos	Reciclado Parede
Módulo de finura	2,73	2,5	3,36	3,43
ϕ Máx. (mm)	4,8	4,8	4,8	4,8
Cnu	1,42	1,45	1,57	1,55
D10(mm)	4,3	4,3	3,25	3,3
D50(mm)	5,75	6	4,6	4,7
D60(mm)	6,1	6,25	5,1	5,1
D90(mm)	7,25	8	8	7,25

Fonte: a autora

Por meio da análise do gráfico (Figura 31) e da Tabela 09 pode-se observar que a distribuição granulométrica do agregado natural se assemelha com a do agregado de argamassas. Já os agregados de parede e de tijolo se diferenciam um pouco desses, assemelhando-se entre si e apresentando uma granulometria um pouco mais distribuída. Essa característica pode ser observada tanto pela inclinação no gráfico quanto pelo Coeficiente de não uniformidade (Cnu) da tabela.

Apesar das pequenas variações nos parâmetros de granulometria, foi decidido utilizar todos os agregados sem nenhuma correção. Levando em

consideração os módulos de finura, a NBR 7211 (ABNT, 2005) estabelece que para agregados miúdos em concreto, o limite inferior do módulo de finura utilizável varia de 1,55 a 2,20 e o limite superior 2,90 a 3,50. Todos os agregados utilizados atendem esses limites.

3.2.5.2 Massa unitária

A massa unitária é a grandeza que relaciona a massa do agregado lançado em um recipiente com seu volume. A norma que regulariza este ensaio e foi seguida durante este estudo é NBR NM-45 (ABNT, 2006) e utilizamos o método C, para agregados no estado solto. A Tabela 10 apresenta os resultados do ensaio realizado em laboratório.

Tabela 10 - Resultado de massa unitária dos agregados

Massa unitária (kg/dm³)	agregados
Natural	1,42
Reciclado Argamassa	1,36
Reciclado Blocos	1,05
Reciclado Parede	1,25

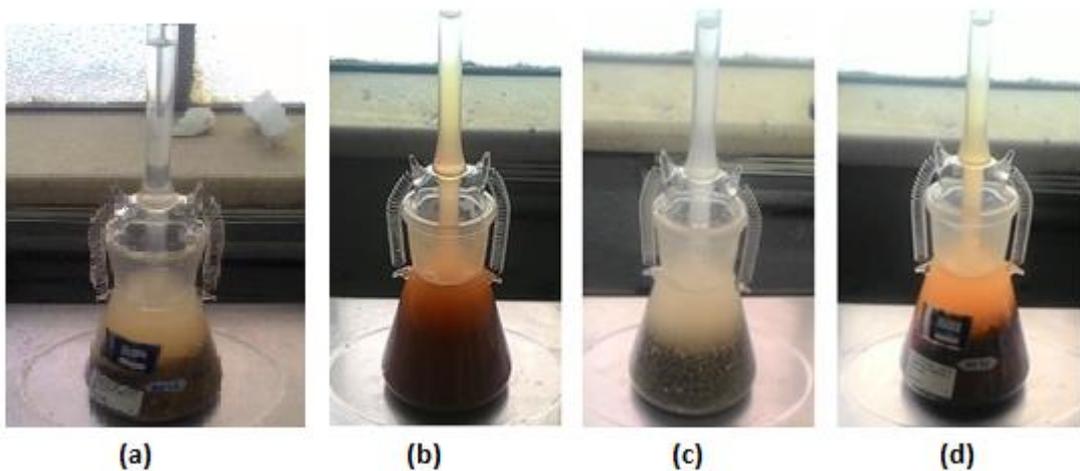
Fonte: a autora

3.2.5.3 Massa específica

Para realização deste ensaio, os agregados ficaram imersos por água em bandejas por mais de 24h e depois foram secos no ambiente, com ajuda de um secador de cabelos, até que seu estado fosse saturado com superfície seca. Para atingir este estado, foi utilizado um molde tronco-cônico metálico e uma haste de compactação. A secagem dos agregados foi repetida de maneira constante até que, após uma leve compactação dos agregados na retirada do cone ocorresse o seu desmoronamento. Os demais procedimentos foram feitos seguindo as orientações da norma, utilizando o picnômetro (Figura 32), balança de alta precisão e a estufa

para a secagem. A Tabela 11 apresenta os resultados do ensaio realizado em laboratório.

Figura 32 - Ensaio de massa unitária e massa específica



Legenda: (a) Agregado natural (b) Resíduo de parede; (c) Resíduos de argamassa; (d) Resíduos de bloco cerâmico;

Fonte: o autor

Tabela 11 – Resultado de massa específica dos agregados

Massa específica agregados (g/cm³)	
Natural	2,60
Reciclado Argamassa	1,18
Reciclado Blocos	1,92
Reciclado Parede	2,22

Fonte: a autora

3.2.5.4 Absorção

Esta propriedade foi definida seguindo a NBR NM-30 (ABNT, 2001). Segundo a norma, a absorção é o processo que um líquido tende a ocupar os poros de um corpo sólido e, mais especificamente, é o incremento de massa que um corpo sólido

poroso tem devido à penetração de um líquido, em relação a sua massa no estado seco.

Para a execução deste ensaio, uma amostra de agregado seco em estufa, ficou submersa em água por mais de 24h e depois seco com secador até que atingisse o estado de superfície seca, descrito anteriormente. E por fim, a massa foi determinada novamente. A Tabela 12 apresenta os resultados do ensaio realizado em laboratório.

Tabela 12 - Resultado de absorção dos agregados

Absorção agregados (%)	
Natural	0,22
Reciclado Argamassa	5,08
Reciclado Blocos	16,2
Reciclado Parede	10,2

Fonte: a autora

3.3 Métodos

Neste item são descritos os procedimentos e ensaios adotados para a determinação das propriedades das amostras analisadas.

3.3.1 Dosagem e mistura

Objetivando que a alta absorção dos agregados reciclados não afetasse as misturas, optou-se por utilizá-los no estado saturado superfície seca. Para isso, os agregados reciclados ficaram por mais de 24h imersos em água. Após este período, foram secos superficialmente com ajuda de um secador manual. A avaliação do estado saturado superfície seca foi a mesma descrita no item 3.2.5.3, ensaio de massa específica. Essa determinação era feita por amostragem e em seguida o material era homogeneizado para dar início à mistura (Figura 33). Os agregados

naturais foram utilizados em condição seca, levando em consideração sua baixa absorção (Tabela 12).

Figura 33 - Homogeneização dos agregados



Fonte: a autora

As dosagens, composições e nomenclaturas das argamassas estão explícitas no item 3.1.

Para as argamassas de assentamento utilizou-se relação a/c 0,8, com base em trabalhos anteriores. Sobre a relação a/c, para as argamassas de revestimento, inicialmente, tentou-se seguir o fator 1,05, que foi o mesmo adotado em estudos anteriores. (SOUZA, 2015) (BARBIEITAS E LOPES, 2015) Entretanto, este fator não foi bem aceito já que não atingia a trabalhabilidade ideal para executar o revestimento das paredes. Logo, decidiu-se por meio de tentativas definir a consistência ideal que se adequava a trabalhabilidade necessária para executar o revestimento das alvenarias. Após definida, para cada mistura era adicionada uma quantidade de água até que se atingisse a consistência desejada. A Tabela 13 mostra a relação a/c utilizada para cada tipo de argamassa.

Tabela 13 - Relação a/c argamassas estudadas

Relação água/cimento			
Revestimento		Assentamento	
ARR	1,4	AAR	0,8
ARB30	1,25	AAB30	0,8
ARB50	1,25	AAB50	0,8
ARP30	1,25	AAP30	0,8
ARP50	1,05	AAP50	0,8
ARA30	1,25	AAA30	0,8
ARA50	1,05	AAA50	0,8

Fonte: a autora

As argamassas foram produzidas segundo as orientações da NBR 13276 (ABNT, 2016). Para a mistura das argamassas foram utilizados dois equipamentos diferentes. Para as argamassas de revestimento que necessitavam de um volume maior, foi utilizado o misturador de argamassa da marca Betomaq® (Figura 34-a) com capacidade de 20 litros. Para as argamassas de assentamento foi utilizada a argamassadeira de mesa com capacidade de cinco litros. (Figura 34-b)

Figura 34 - Argamassadeiras utilizadas



Legenda: (a) De pé; (b) de mesa;
Fonte: a autora

3.3.2 Consistência

A determinação da consistência do material foi feita seguindo a NBR 13276 (ABNT, 2016), logo após o preparo das misturas, utilizando a mesa de consistência (*flowtable*). Para isso, um molde de tronco-cônico foi preenchido com argamassa em três camadas de mesma altura, e com um soquete foram aplicados 15, 10 e 5 golpes uniformes na primeira, segunda e terceira camadas, respectivamente. Depois de rasado, o molde foi retirado cuidadosamente e a argamassa submetida a 30 quedas na mesa em aproximadamente 30 segundos. A medida da consistência é determinada pela medição de suas diagonais (Figura 35).

Figura 35 Determinação do índice de consistência



Fonte: a autora

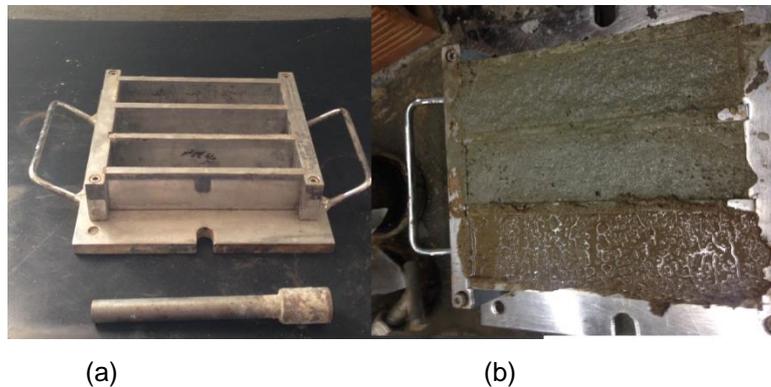
3.3.3 Propriedades Mecânicas

Para todas as argamassas, foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão e ensaio de resistência à compressão axial. Para as argamassas de revestimento, também foi realizado o ensaio de aderência à tração e para as argamassas de assentamento ensaio de compressão de prismas de blocos cerâmicos.

3.3.3.1 Resistência à tração na flexão

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, utilizaram-se corpos de provas de formato prismático retangular de dimensões 4x4x16cm. As argamassas foram introduzidas imediatamente após a mistura, nos moldes, sempre em mais de uma camada seguindo as orientações normativas de adensamento. Foram moldadas duas amostras para cada tipo de mistura (Figura 36). Os corpos de prova foram desmoldados apenas quatro dias depois de moldados, já que com 24h ainda não tinham atingido resistência inicial suficiente para desmoldagem (Figura 37). Após desmoldados, os corpos de prova foram mantidos em recipiente vedado com solução de cal e água até data de ruptura (Figura 38).

Figura 36 Moldagem dos corpos de prova para ensaio de resistência à tração na flexão



Legenda: (a) Moldes de corpos de prova; (b) Moldagem dos corpos de prova;

Fonte: a autora

Figura 37 Corpos de prova desmoldados



Fonte: a autora

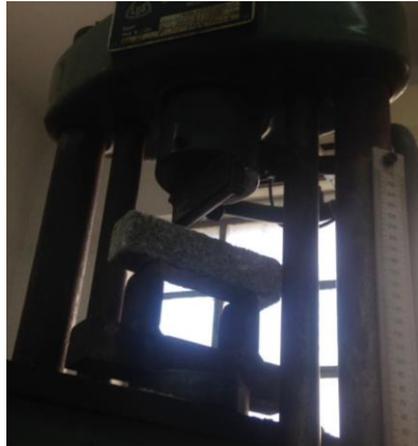
Figura 38 - Recipiente vedado com solução de Cal e água



Fonte: a autora

Após os corpos de prova atingirem a idade de 28 dias de idade, foram ensaiados por meio de dispositivos e equipamentos específicos, de acordo com a Figura 39.

Figura 39 - Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: a autora

3.3.3.2 Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão foram moldados corpos de prova cilíndricos de dimensões 50x100mm (Figura 40). Foram utilizados quatro amostras para cada mistura. A argamassa foi colocada no molde em quatro camadas de altura aproximadamente iguais, cada uma recebendo 30 golpes uniformes, garantindo o adensamento. Após quatro dias, os corpos de prova foram desmoldados (Figura 41) e em seguida imersos no mesmo recipiente dos corpos de prova de ensaio de tração (Figura 36), em solução saturada de cal e água até a idade de ensaio.

Figura 40 - Moldes para corpos de prova destinados ao ensaio de compressão



Fonte: a autora

Figura 41 Corpos de prova para ensaio de resistência à compressão



Fonte: a autora

Após 28 dias de idade, os corpos de prova foram regularizados com nata de cimento e água e em seguida rompidos em equipamento apropriado (Figura 42), As rupturas nos corpos de prova se deram na direção diagonal do elemento (Figura 43).

Figura 42 Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: a autora

Figura 43 Corpos de prova após ensaio de compressão



Fonte: a autora

3.3.3.3 Resistencia potencial de aderência à tração

Foi construída uma parede em alvenaria para analisar a aderência das argamassas com os substratos. Essa análise foi feita por meio do ensaio de arrancamento que determina a resistência de tração à aderência.

De acordo com as dimensões da alvenaria necessária para as quantidades de ensaios das argamassas a serem analisadas, decidiu-se que a alvenaria seria executada em uma área externa ao laboratório, exposta às intempéries e às variações de temperatura local. Assim, foi possível avaliar o comportamento das argamassas para revestimento de alvenarias em áreas externas. Optou-se por construir paredes de aproximadamente 1,0m de altura em formato de “U” (Figura 44). Utilizou-se duas faces das paredes para revestir com as diferentes misturas propostas de argamassas. Deste modo, das oito faces disponíveis para revestimento das alvenarias, utilizaram-se sete. Não se preocupou em orientar o revestimento para a mesma direção, levando em consideração a baixa variação de temperatura de uma face e outra no local durante o dia e resultados relevantes de estudos anteriores que também não consideraram essa variável (AIRAGHI et al, 2014) e (ASSUNÇÃO et al, 2007).

A Figura 44 representa a planta baixa da parede construída indicando qual argamassa foi utilizada para revestir cada parede.

Figura 44 Planta baixa das paredes demonstrando a disposição da aplicação dos revestimentos



Fonte: a autora

A parede foi construída por profissionais habilitados seguindo todas as recomendações normativas e preocupando-se com alinhamento e prumo das mesmas (Figura 45 a e b). Após a construção, foi aplicada às paredes uma camada de argamassa de chapisco para aumentar a aderência das argamassas de revestimento (Figura 45 c).

Figura 45 Execução de alvenaria para testes de revestimento



(a)

(b)

(c)

Legenda: (a) construção da alvenaria; (b) verificação de prumo; (c) chapisco;

Fonte: a autora

Após 28 dias da construção, a alvenaria foi revestida com as misturas de argamassas estudadas. O revestimento foi executado utilizando régua metálica para finalização do procedimento com espessura de revestimento de 2 cm, dimensão mínima de espessura para revestimento externo de acordo com NBR 13749 (ABNT, 1996) (Figura 46).

Figura 46 - Revestimento das paredes com as argamassas estudadas



(a)

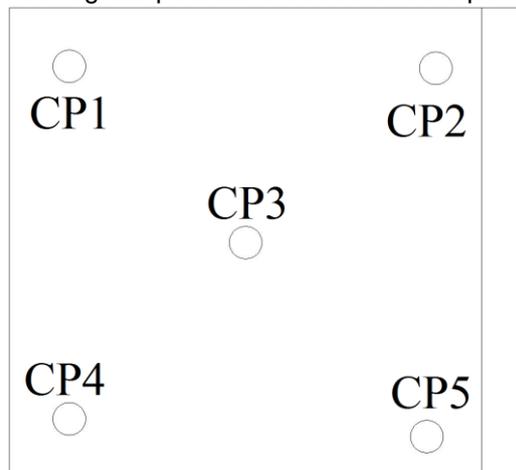
(b)

(c)

Legenda: (a) Lançamento de argamassa; (b) Sarrafeamento; (c) Nivelamento com régua;
Fonte: a autora

Após 28 dias de execução do revestimento, iniciaram-se os testes de aderência das argamassas. Para o ensaio, seguiram-se as recomendações da NBR 15258 (ABNT, 2005). Para cada parede foram retiradas cinco amostras. Procurou-se intercalar a posição da amostragem, fazendo com que os pontos fossem o mais distantes entre si. A Figura 47 apresenta os pontos de extração das amostras nas paredes.

Figura 47 Indicação de regiões para teste de aderência e permeabilidade



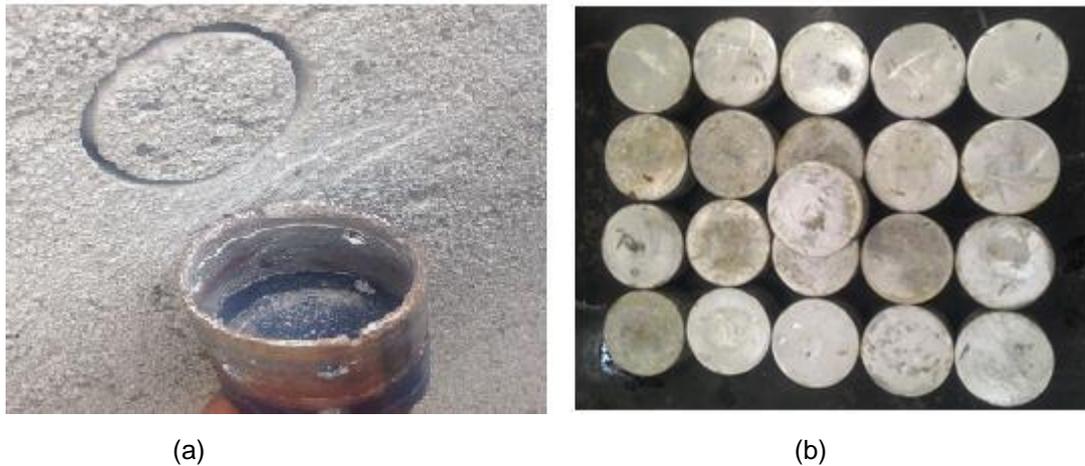
Fonte: a autora

Os furos circulares foram feitos com ajuda de uma furadeira de impacto e de uma serra copo. O objetivo dos furos era ultrapassar somente a espessura da argamassa, então a serra copo era introduzida na parede revestida e quando começava a sair uma poeira da coloração do tijolo, o procedimento era interrompido. Em alguns casos que a serra copo ultrapassou demais o limite do tijolo, ou lascou a

região de revestimento da argamassa que seria colada a pastilha, nesses casos, esses furos foram descartados e foram refeitos furos na proximidade. (Figura 48-a)

Após a furação, procedeu-se a colagem das pastilhas metálicas (Figuras 48 e 49), que possuíam dimensão compatível com os furos realizados pela serra copo. A cola utilizada para fixação foi Araldite® profissional de base epóxi, conforme especificado em norma.

Figura 48 - Furação e pastilhas para ensaio de arrancamento



Legenda: (a) serra copo com furação; (b) pastilhas metálicas;

Fonte: a autora

Figura 49 Parede com pastilhas coladas para ensaio



Fonte: a autora

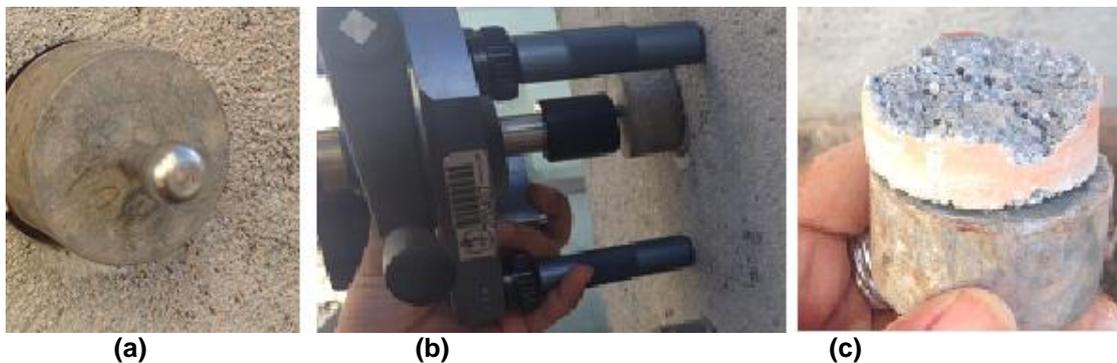
Para o arrancamento das pastilhas foi utilizado o equipamento do fabricante Proceq® (Figura 50). O processo era feito acoplando um dispositivo com ponta rosqueada que se encaixava em parte nas pastilhas coladas na parede e outra parte no próprio aparelho (Figura 51 a). O aparelho era então posicionado de maneira paralela a superfície da parede e por meio de uma manivela aplicado o carregamento até que houvesse o destacamento das pastilhas na parede. (Figura 51 b e c) Vale ressaltar que o objetivo deste ensaio era avaliar a aderência das argamassas ao substrato, que neste caso eram os blocos cerâmicos. Em alguns momentos durante o ensaio, houve destacamento das pastilhas das argamassas. Isso indica uma falha no processo de colagem as pastilhas. Neste caso, o valor de medição obtido foi descartado e a colagem refeita até que se conseguisse destacar a argamassa (Figura 52).

Figura 50 Equipamento para ensaio de arrancamento



Fonte: a autora

Figura 51 Ensaio de arrancamento de pastilhas



Legenda: (a) Pastilha colada para ensaio; (b) Equipamento posicionado para ensaio; (c) Pastilha após arrancamento com região de argamassa colada;

Fonte: a autora

Figura 52 Pastilhas com argamassas aderidas após arrancamento



Fonte: a autora

3.3.3.4 Permeabilidade

Para avaliar a permeabilidade das argamassas de revestimento foram utilizadas as mesmas paredes do ensaio de aderência. A permeabilidade foi avaliada por meio de um medidor cilíndrico de vidro denominado “cachimbo” (Figura 52 a). O instrumento possui marcações de medição, variando de 0 a 4 cm.

O medidor foi fixado nas paredes próximo a posição das pastilhas utilizadas para o ensaio de aderência, sempre buscando uma região mais uniforme sem a presença de fissuras (Figura 52c). Para fixação, utilizou massa de calafetar. O material era colocado em volta da haste do cachimbo e depois em contato com argamassa, com objetivo de vedar a passagem de água do medidor para o meio externo do cachimbo (Figura 52b).

Figura 53 - Instrumento de medição de permeabilidade



(a)

(b)

(c)

Legenda: (a) Instrumento antes de posicionamento; (b) Massa de calafetar para vedação;
(c) Cachimbo posicionado na parede para medição;

Fonte: a autora

Para mensurar a permeabilidade, o medidor era preenchido com água até a marcação máxima de 4mL. A cada 5 minutos o volume de água no instrumento era medido até 20 minutos de exposição, ou até que a parede absorvesse a quantidade total de água. Todas as paredes foram avaliadas num mesmo período de tempo para que não houvesse influência de mudança temperatura ou umidade de um dia para outro ou período do dia.

Em algumas medições, logo após a colocação da água no instrumento, notou-se um vazamento superficial da água para a superfície. Essas medições não foram descartadas já que a massa de calafetar garantia a estanqueidade entre a parede e o cachimbo (Figura 54).

Figura 54 Cachimbo com vazamento de água superficial



Fonte: a autora

3.3.3.5 Ensaio de resistência à compressão dos prismas de blocos cerâmicos

Com o objetivo de avaliar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo pelos resíduos em argamassas de assentamento, optou-se por realizar o ensaio de resistência à compressão em prismas. Os procedimentos de preparo e ensaio foram realizados baseando-se nas orientações da NBR 15961 (ABNT, 2011).

Apesar de a norma aconselhar execução de prismas com dois blocos cerâmicos, os prismas foram executados com três blocos cerâmicos cada, objetivando evitar o efeito de confinamento e baseando-se em resultados relevantes de estudos anteriores (GIHAD, 2007). Os prismas eram ligados por duas camadas de argamassas de assentamento de 1 cm de espessura, baseando-se em resultados de estudos anteriores sobre a dimensão de melhor desempenho para espessuras de argamassas de assentamento em alvenarias (LIMA,2010). Para a análise, foram executados 3 prismas de cada tipo de argamassas, totalizando 21 primas. Além da espessura das argamassas, durante a execução também foi controlado o nível, por meio de nível bolha e o prumo dos prismas. Para uniformização da aplicação de carga nos prismas, durante a realização dos ensaios de compressão, foi aplicada uma nata de cimento e água nas extremidades (Figura 55).

Figura 55 Confeção dos prismas



Fonte: a autora

Após 28 dias da execução dos prismas, eles foram submetidos à carga de compressão em suas extremidades, no eixo das peças (Figura 56).

Figura 56 - Ensaio de resistência à compressão nos prismas



Legenda: (a) prismas posicionados para ensaio de resistência à compressão; (b) prismas depois da ruptura;

Fonte: a autora

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios descritos no capítulo anterior. Os resultados são apresentados por meio da média aritmética dos resultados de cada amostra, seguida dos valores de desvio padrão correspondente. Para análise dos dados, utilizou-se o método ANOVA por meio do software ORANGE® e para complementação da análise estatística, foi feita análise de componente principal por meio do software PAST®.

4.1 Argamassas de revestimento

4.1.1 Consistência

A Tabela 14 indica o índice de consistência, por meio da média de duas medições, e a relação a/c referente a cada argamassa de revestimento estudada. Conforme descrito na Tabela 14, a consistência foi mantida constante e variou-se a quantidade de água de cada mistura.

Tabela 14 - Resultados de consistência argamassa de revestimento

	a/c	consistência (cm)
ARR	1,4	31
ARB30	1,25	32
ARB50	1,05	33
ARP30	1,25	32
ARP50	1,05	32
ARA30	1,25	33
ARA50	1,25	32

Fonte: a autora

Por meio da Tabela 14, pode-se observar que a argamassa de referência necessitou de uma quantidade maior de água do que as demais e as argamassas com 50% de resíduo de blocos e resíduo de paredes uma quantidade menor. Analisando os resultados, observa-se que a alta absorção dos agregados não interferiu na consistência das argamassas no estado fresco, justificado pelo estado saturado superfície seca que os agregados de resíduos foram submetidos antes da mistura. A necessidade de variação da quantidade de água neste caso pode estar correlacionada com a distribuição granulométrica dos agregados, os agregados de parede e blocos apresentam uma granulometria mais contínua do que os demais, favorecendo à trabalhabilidade.

4.1.2 Resistência à compressão e resistência à tração

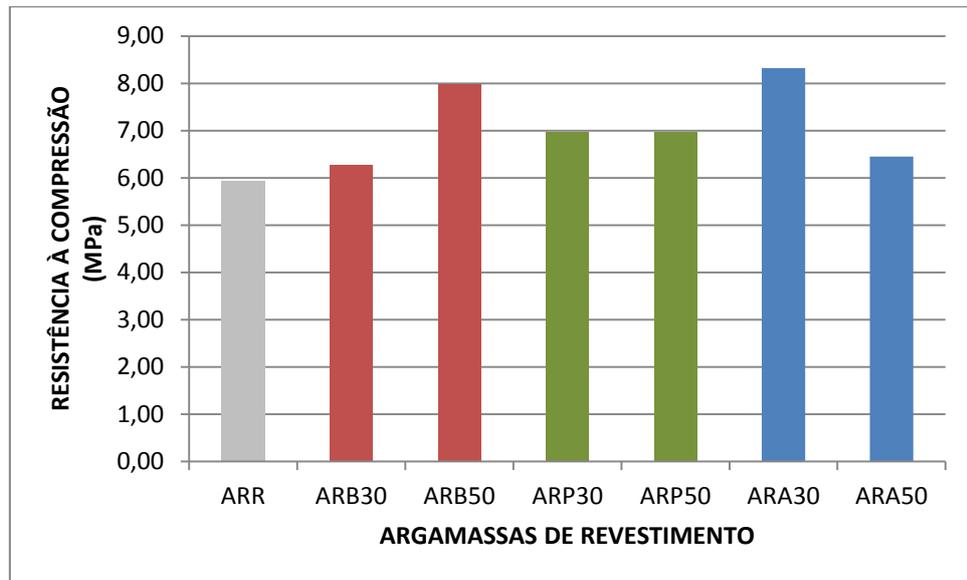
A Tabela 15 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e à tração aos 28 dias de idade, seguidos do desvio padrão referente a cada tipo de argamassa. As Figuras 57 e 58 mostram os gráficos dos resultados.

Tabela 15 - Resultados de resistência mecânica argamassa de revestimento

	Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração (MPa)	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
ARR	5,94	0,29	2,58	0,33
ARB30	6,28	1,28	2,81	0,33
ARB50	7,98	1,06	2,64	0,41
ARP30	6,96	0,29	1,78	0,80
ARP50	6,96	0,59	2,81	0,00
ARA30	8,32	0,78	2,46	0,17
ARA50	6,45	0,59	2,75	0,25

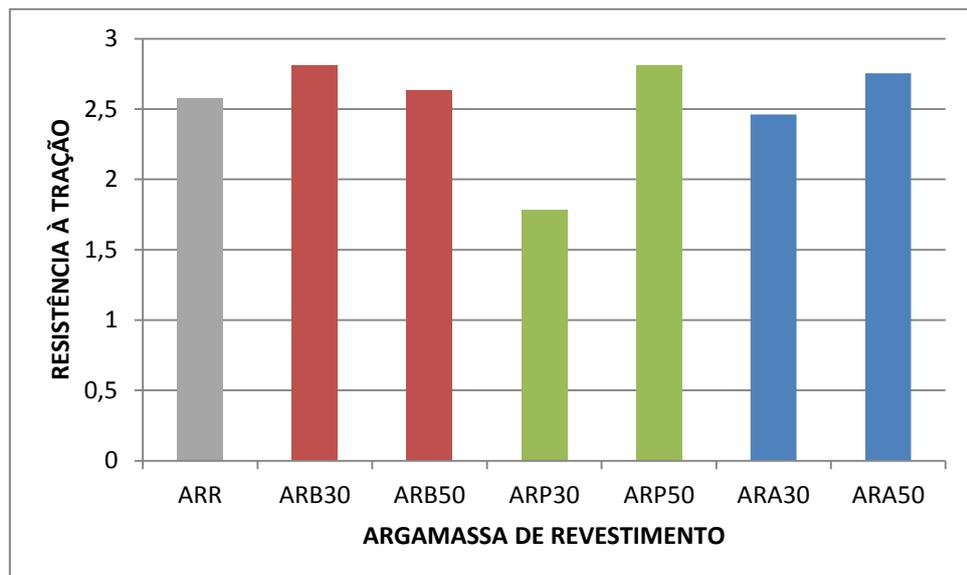
Fonte: a autora

Figura 57- Resultados resistência à compressão argamassa de revestimento



Fonte: a autora

Figura 58 - Resultados resistência à tração argamassas de revestimento



Fonte: a autora

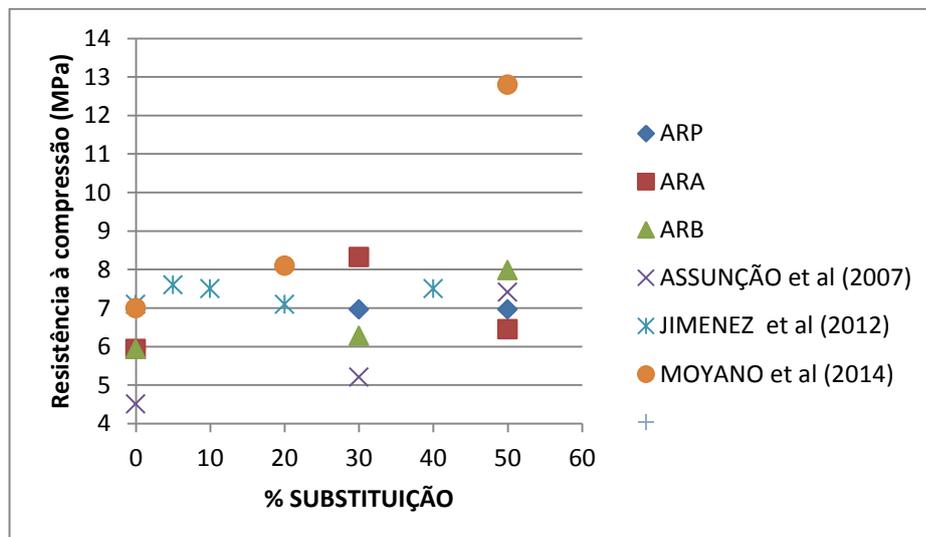
Analisando os gráficos, verifica-se que os resultados de resistência mecânica, de um modo geral, apresentam uma tendência de aumentar seu valor conforme a utilização de resíduos. Inicialmente, pode-se correlacionar esse comportamento com a variação na quantidade de água nas misturas já que a argamassa de referência foi a que necessitou de maior quantidade de água, mesmo depois da pré-saturação dos agregados reciclados e apresentou menor valor de resistência à compressão. Estudos indicam ainda que, com o mantimento da relação água/cimento, o aumento

de resistência de misturas com resíduos ainda são mais notórios, podendo ultrapassar mais de 50% da resistência da referência, levando em consideração que os resíduos absorvem certa quantidade de água livre, melhorando a ligação do novo cimento com os agregados (MOYANO, 2014). Segundo SILVA et al (2016) para argamassas de revestimento com agregados reciclados pode a resistência mecânica se manter ou se mostrar superior que a referência, esse acréscimo pode ser atribuído à superfície irregular e porosa das partículas do resíduo, que aumenta a aderência com a pasta de cimento, aumentando a resistência na zona de transição agregado-pasta de cimento.

Apesar da tendência, a análise de dados ANOVA (Anexo A) mostrou que na compressão a única mistura que realmente se destacou como mais resistente foi a ARA30, as demais não apresentaram diferença significativa. Na análise de resistência à tração nenhuma mistura mostrou diferença de resultado significativa da referência. Indicando que a utilização dos resíduos estudados não afetou a resistência mecânica das argamassas estudadas, e que para a utilização de substituição com 30% de agregado natural por resíduos de argamassa há um acréscimo na resistência à compressão.

ASSUNÇÃO et al (2007), JIMENEZ et al (2013) e MOYANO et al (2014) obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste estudo na análise de resistência à compressão, por meio da Figura 59 observamos a compatibilização dos resultados.

Figura 59 - Gráfico comparativo resultados resistência compressão ARs



Fonte: a autora

Por meio do gráfico, pode-se observar que as argamassas de revestimento produzidas pelos demais autores também apresentam aumento de resistência com a adição de resíduos. JIMENEZ et al (2012) observa redução da resistência para as entre 5 e 20% de substituição, mas um acréscimo de resistência a partir de 20%. MOYANO et al (2014) associaram os resultados a um baixo teor de ar incorporado que foi observado em suas argamassas durante o estudo para o traço. JIMENEZ et al (2012) associaram o acréscimo de resistência à presença de finos e o possível efeito pozolânico, principalmente nos resíduos com tijolo, entretanto, para as argamassas estudadas neste trabalho, acredita-se que os finos não interferiram já que houve um pré-peneiramento dos agregados antes das misturas. Observa-se que o resultado de MOYANO et al (2014) se destaca dos demais para 50% de substituição. Podemos relacionar esse comportamento ao tipo resíduo utilizado pelos autores que foi de concreto com altas resistências.

4.1.3 Resistência de aderência à tração na flexão

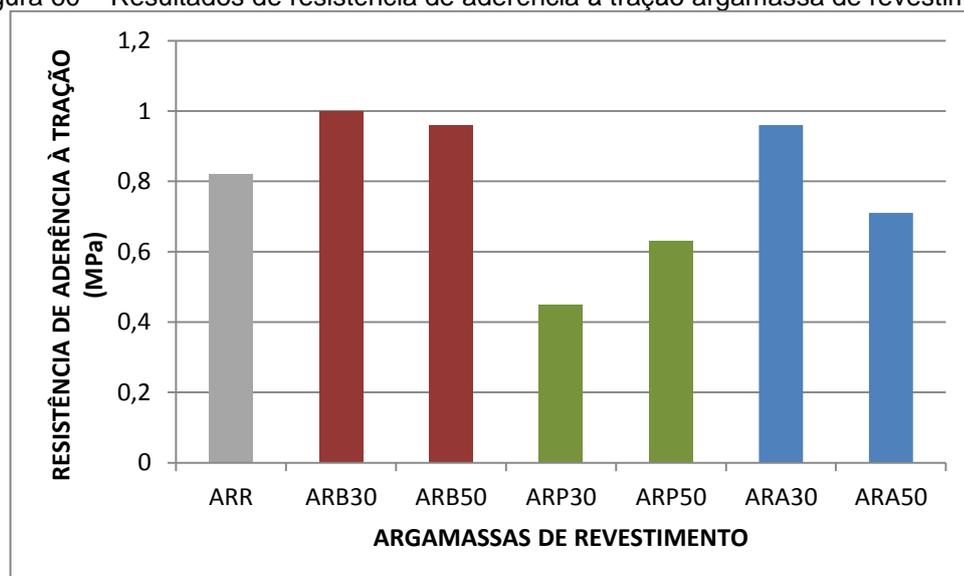
A Tabela 16 e a Figura 60 indicam as médias dos resultados de resistência à aderência obtidos para cada tipo de argamassa de revestimento e o desvio padrão referente a cada tipo de mistura. Deve-se atentar que os resultados deste tipo de ensaio são dependentes da interação argamassa/substrato, variando de acordo com as características de ambos, o que pode limitar a comparação de dados da literatura. Outro fator relevante que pode influenciar os resultados é o modo de aplicação do emboço no tijolo que é feito manualmente, não sendo capaz de manter a força e intensidade constantes em todos os pontos. Portanto, a mesma argamassa aplicada sob o mesmo substrato executada por outra pessoa pode apresentar resultados de aderência diferentes.

Tabela 16- Resultados de resistência de aderência à tração

Resistência de aderência à tração (MPa)		
	Média	Desv. Pad
ARR	0,82	0,30
ARB30	0,96	0,05
ARB50	1,02	0,13
ARP30	0,45	0,18
ARP50	0,63	0,33
ARA30	0,96	0,37
ARA50	0,71	0,15

Fonte: a autora

Figura 60 – Resultados de resistência de aderência à tração argamassa de revestimento



Fonte: a autora

Por meio dos valores de resultados encontrados, pode-se observar que as misturas ARB30, ARB50 e ARA30 destacaram-se com resultados de resistência superiores à referência. Segundo a revisão bibliográfica já era esperado que as misturas com resíduos de tijolos apresentassem uma tendência a aumentar a resistência.

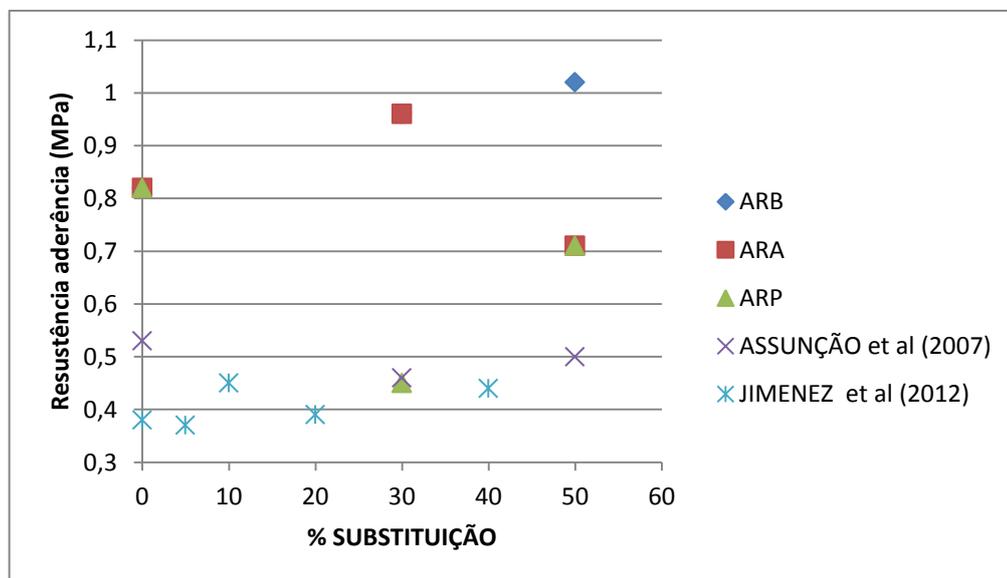
Entretanto, por meio da análise de dados ANOVA (Anexo A) observou-se que nenhuma mistura apresentou diferença significativa de resultados em relação à

referência, indicando que a utilização de resíduos não afetou essa propriedade da argamassa.

A literatura indica que, de maneira geral, a substituição parcial dos agregados naturais por resíduos tem efeito positivo na aderência de argamassas. Um dos fatores que colaboram para este resultado é a maior retenção de água dos resíduos, observada em estudos anteriores (SOUZA, 2015) (BARBIEITAS E LOPES, 2015), impedindo uma secagem rápida indesejada da argamassa, fazendo com que esta água absorvida leve a uma hidratação mais eficaz da pasta de cimento e aumento da resistência de aderência (SILVA et al, 2016). A distribuição granulométrica dos resíduos também afeta no comportamento reológico contribuindo na diminuição tanto da tensão de escoamento quanto a viscosidade causando um efeito antixotrópico, podendo permear a porosidade aberta do tijolo, que no caso é o substrato, assegurando um Inter travamento físico e maior resistência de aderência.

ASSUNÇÃO (2007) e JIMENEZ et al (2012) obtiveram resultados com comportamento coerente com os encontrados neste trabalho, a Figura 61 mostra o gráfico de compatibilização dos resultados.

Figura 61 - Gráfico comparativo: resistência de aderência



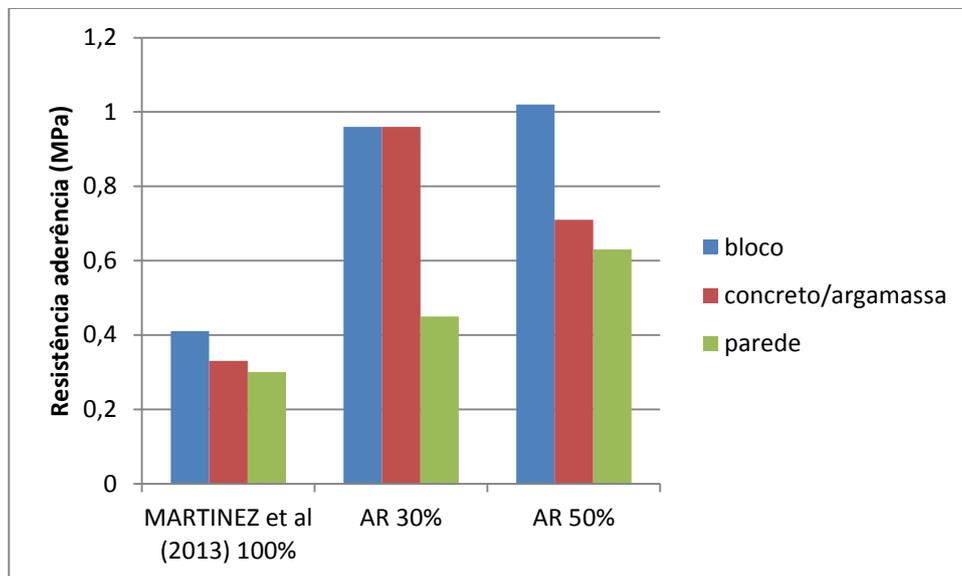
Fonte: a autora

Por meio do gráfico, pode-se observar que a ARP seguiu a tendência dos resultados de ASSUNÇÃO et al (2007) e JIMENEZ et al (2012), indicando um decréscimo de resistência entre 20 e 30% e um acréscimo para substituições

maiores que 30% em relação à referência, o que poderia ser esperado já que o resíduo utilizado na produção das ARP é o que mais se assemelha com os utilizados pelos autores, indicando uma diferença de comportamento de acordo com o tipo de resíduo utilizado.

A Figura 62 mostra a compatibilização dos resultados de MARTINEZ et al (2013) que utilizou traço e três tipos de resíduos semelhantes ao utilizados neste trabalho.

Figura 62 - Gráfico comparativo resistência à aderência das argamassas de revestimento



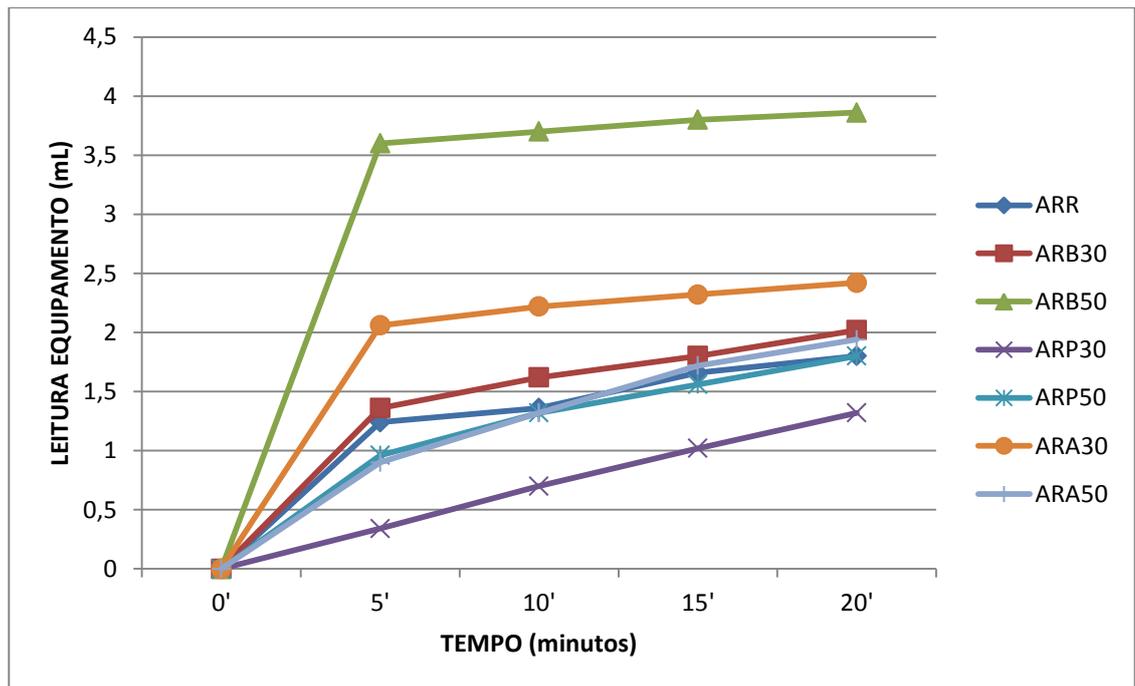
Fonte: a autora

Como os autores avaliaram apenas a variação dos resíduos para 100% de utilização do material sem argamassa de referência, decidiu-se dividir os resultados das argamassas deste estudo em dois grupos de acordo com a porcentagem de substituição objetivando analisar a variação de comportamento entre os resíduos. Apesar dos resultados de MARTINEZ et al (2013) variarem significativamente dos encontrados neste estudo, o que já era esperado pelos autores utilizarem altas porcentagens de substituição (NENO, 2014), a variação entre os tipos de resíduos seguem a mesma tendência. Dentre os três resíduos analisados, observa-se que as argamassas com resíduos de blocos apresentam valores de resistência à aderência maiores, seguidos pelas com resíduos de argamassa e por fim as com resíduos de parede, com exceção das argamassa com 30% de bloco e 30% argamassa que apresentam resistência muito semelhantes.

4.1.4 Permeabilidade

O gráfico da Figura 63 representa a relação entre os resultados da média de leitura do nível de água permeada pelas paredes, em mL, por tempo de exposição.

Figura 63 – Resultados do ensaio de permeabilidade argamassas de revestimento



Fonte: a autora

Ao analisar a tendência dos resultados do gráfico observa-se que a ARB50 se mostra claramente mais permeável, atingindo o valor máximo em quase todas as regiões, indicando inclusive que seria necessário outro tipo de teste para estimar sua permeabilidade mais precisamente. Este resultado era esperado levando em consideração a alta absorção do bloco cerâmico. Apesar das demais misturas variarem um pouco na velocidade de absorção inicial, não apresentam grande variação na quantidade de água absorvida no fim do ensaio, especial as misturas ARB30, ARA50 e ARP50 que apresentaram quantidade de água absorvida muito próxima da argamassa de referência.

A análise de dados ANOVA (anexo A) indicou que a única mistura que apresentou resultados com diferença significativa foi a ARB50, as demais não mostraram significativa diferença de resultados em relação à referência.

Por meio da revisão bibliográfica não se encontrou nenhum estudo que avalia argamassas com agregado de RCD por meio do método de cachimbo. Entretanto, avaliando os resultados de ensaios de porosimetria e absorção por capilaridade realizados por outros autores (Tabela 7) pode-se observar que, de uma maneira geral, salvo algumas exceções, é esperado um aumento de absorção da argamassa e diminuição da durabilidade. Esse comportamento não inutiliza a aplicação do material, mas apenas limita sua aplicação para ambientes internos sem umidade e sem exposição de intempéries. Para os resíduos avaliados neste estudo, conclui-se que essa limitação aplica-se somente para a utilização igual ou superior de 50% de resíduos de blocos já que os demais mostraram não afetar significativamente essa propriedade das argamassas. Ressalta-se ainda que esse comportamento de aumento de permeabilidade pode tentar ser mitigado pela utilização de cal e aditivos nos traços dos materiais.

Pode-se observar ainda que, os pares de misturas ARP50 x ARA50 e ARB30 x ARA30 obtiveram resultados semelhantes de permeabilidade, mesmo estando posicionados e faces opostas segundo a exposição solar (Figura 44), confirmando a não influencia do posicionamento para avaliação dessa propriedade.

4.1.5 Classificação e análise de desempenho das argamassas

4.1.5.1 Classificação das argamassas

Na Tabela 17 observa-se que as argamassas não variam muito em sua classificação de acordo com a NBR 1321 (ABNT, 2005). Indicando que o acréscimo de resíduos não interferiu significativamente nas argamassas. Em relação à classificação da aderência, que é uma das propriedades mais relevantes para argamassa de revestimento, observa-se que todas as misturas apresentaram classificação máxima.

Tabela 17 – Classificação das argamassas de revestimento estudadas

ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO - ABNT NBR 1321			
2005			
	compressão (P1 ao P6)	tração (R1 ao R6)	aderência (A1 ao A3)
ARR	P5	R4	A3
ARB30	P5	R5	A3
ARB50	P5	R5	A3
ARP30	P5	R5	A3
ARP50	P5	R5	A3
ARA30	P5	R5	A3
ARA50	P6	R4	A3

Fonte: a autora

Ainda sobre a aderência, todas as argamassas atingiram a resistência mínima segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996) para todos os tipos de utilização, sendo assim, segundo a norma, as misturas seriam capazes de desempenhar a função de revestimento para acabamentos de pintura e revestimento cerâmico, tanto em áreas internas e áreas externas.

4.1.5.2 Desempenho das argamassas

A Tabela 18 apresenta a variação de cada propriedade em relação à argamassa de referência, de acordo com os resultados mostrados anteriormente. Deste modo, pode-se observar a influência de cada resíduo para cada traço de argamassa, ou seja, identificar se o acréscimo de resíduo resultou em um desempenho positivo ou negativo comparado com a argamassa de referência sem agregado reciclado. As células em verde indicam que houve uma melhoria da propriedade em relação à de referência com o acréscimo de resíduos e a em vermelho que houve um decréscimo. Para a comparação dos resultados de permeabilidade, considerou-se a absorção total de cada argamassa depois dos 20 minutos de exposição.

Tabela 18 - Comparação propriedades argamassas de revestimento

	COMPRESSÃO	TRAÇÃO	ADERÊNCIA	PERMEABILIDADE
ARB30	6%	9%	17%	14%
ARB50	34%	2%	24%	114%
ARP30	17%	-31%	-45%	-29%
ARP50	17%	9%	-23%	0%
ARA30	40%	-5%	17%	66%
ARA50	9%	7%	-13%	66%

Fonte: a autora

Por meio dos resultados da Tabela 18 podemos observar que a adição de resíduos se mostrou eficiente em algumas propriedades e em outras não, não observando uma relação direta entre os resultados das propriedades mecânicas com a aderência e a permeabilidade.

Analisando as argamassas com a utilização de resíduos de blocos, avaliamos acréscimo na compressão e tração. Entretanto, para 30% de substituição observa-se um acréscimo na permeabilidade e um acréscimo na aderência. De todas as misturas estudadas com resíduos, pode-se considerar que a ARB30 foi a que apresentou melhores resultados relativos. Entretanto, para a ARB50, apesar de ter apresentado acréscimo na compressão e tração e um acréscimo na aderência, a permeabilidade foi maior que a ARB30 e o dobro da ARR, conseqüentemente prejudicando a durabilidade. Essa característica não descarta sua utilização, apenas limita para que se utilize apenas em ambientes internos.

Sobre a utilização de resíduos mistos de parede, as argamassas mostraram um melhor/igual desempenho para a permeabilidade, mas apresentaram uma queda da aderência, apresentando uma diminuição 45% para a ARP30 e 23% para a ARP50 em relação à referência. Vale ressaltar que essa perda na resistência à aderência pode ser controlada com a utilização de cal no traço da argamassa e apesar dos resultados terem se mostrados mais baixos do que os de referência, eles continuam sendo superiores aos mínimos exigidos pela norma para todos os tipos de aplicação e apresentando classificação máxima (Tabela 17). Considerando as propriedades de permeabilidade pode-se sugerir o uso deste material em ambientes externos já que se mostram mais duráveis do que a referência.

Sobre as misturas com resíduos de argamassa, a ARA50 mostrou um comportamento semelhante com a de referência, apresentando pequenas variações no que refere à resistência mecânica e aderência, entretanto, apresentou pior desempenho na permeabilidade. A ARA30 apresentou valores mais elevados na resistência à compressão, e valores semelhantes em relação a resistência à tração e à aderência e, assim como a com 30% de substituição, também se mostrou mais permeável do que a referência.

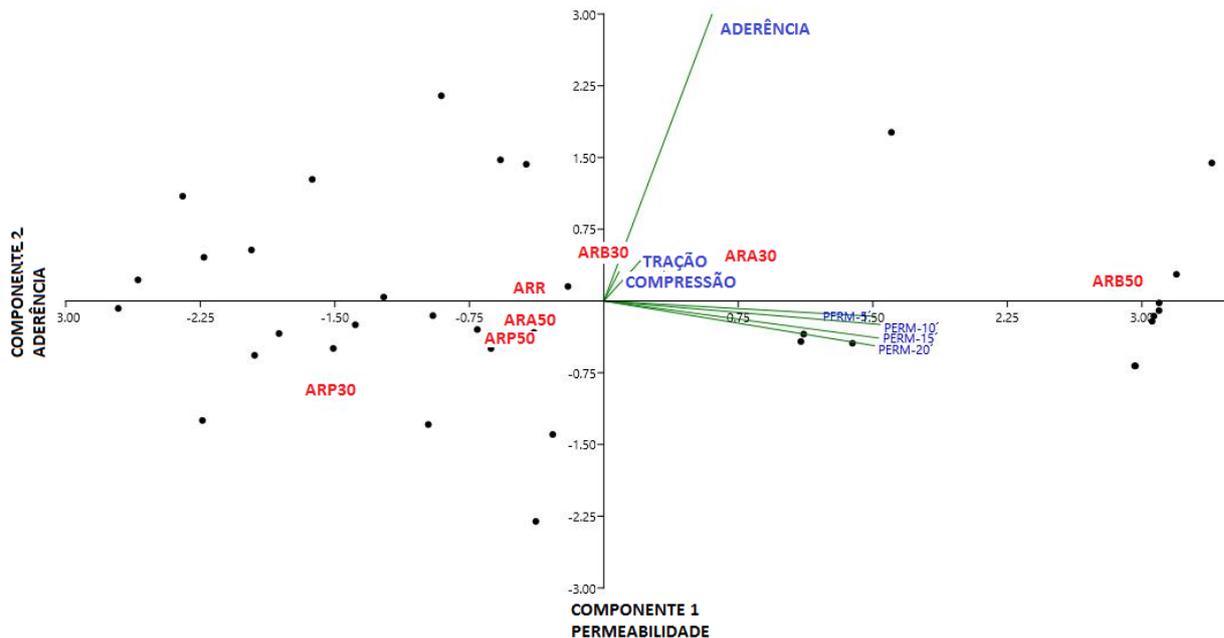
Sobre a porcentagem de substituição, de um modo geral, podemos indicar que houve uma variação, dependendo do tipo de resíduo estudado.

4.1.6 PCA – Análise de componente principal

Objetivando complementar a análise de dados ANOVA, foi feita a análise de componente principais (*principal component analysis*), por meio do software PAST. Esta é uma análise de múltiplas variáveis onde as propriedades são avaliadas em conjunto. Por meio desta análise, pode-se identificar qual propriedade variou mais para o conjunto de ensaios realizados, identificando qual propriedade é mais afetada com o uso dos resíduos estudados. Por meio de valores percentuais consegue-se indicar quanto cada propriedade afeta na variância de comportamento das argamassas. Por meio desta análise, podemos comparar separadamente as propriedades, permitindo avaliar quais misturas desempenharam melhor de acordo com as propriedades fundamentais de utilização para cada situação.

Por meio da análise de comportamento principal dos resultados das argamassas de revestimento, observou-se que das propriedades analisadas a Permeabilidade representa 67,77% da variância total, seguido pela Aderência com 15,12%, Compressão com 10,78% e por último, Tração com 6,33%. A Figura 64 indica o gráfico que correlaciona a componente 1 da análise (Permeabilidade) e a componente 2 (Aderência), explicando em conjunto 82,89% da variância total. A Figura 65 indica o gráfico que correlaciona a componente 1 (Aderência) com a componente 3 (Compressão) explicando em conjunto 78,55% da variância total.

Figura 64 - Gráfico PCA das argamassas de revestimento: Componentes 1 e 2

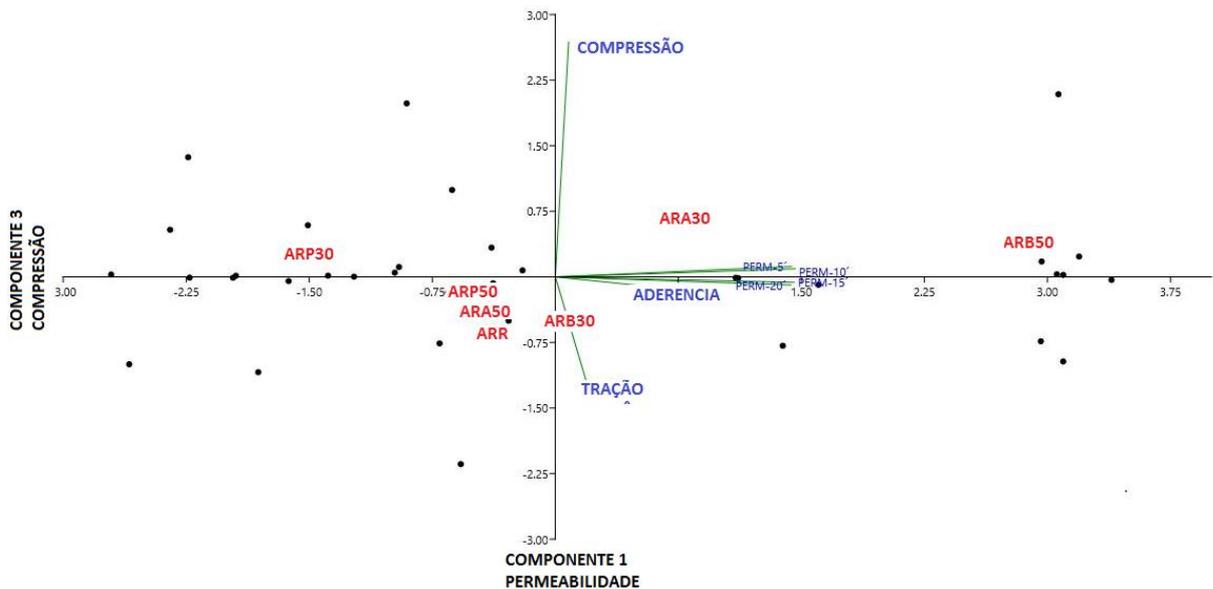


Fonte: a autora

Por meio do gráfico representado na Figura 64, identificamos que os melhores valores para comportamento à aderência estão nos quadrantes superiores. Para Permeabilidade, o melhor comportamento se encontra no quadrante esquerdo, já que são os valores negativos, levando em consideração que para uma argamassa quanto menor a permeabilidade melhor será o desempenho em relação à durabilidade. Deste modo, as melhores misturas de acordo com as duas propriedades deveriam estar no quadrante superior esquerdo. Analisando, pode-se observar que apenas a ARR cumpriu este requisito apresentando maior aderência e menor permeabilidade.

As argamassas ARP30, ARP50 e ARA50 apresentaram menor permeabilidade, porém menor resistência à aderência. Já as argamassas ARA30 e ARB50 mesmo apresentando melhor aderência, são as mais permeáveis. As argamassas com maior valor de aderência são indicadas para o uso de revestimento, porém sua aplicabilidade fica limitada a ambientes internos. As misturas com menor permeabilidade são indicadas para ambientes externos, para melhoria de sua aderência devem ser estudados novos traços. Observa-se que para as argamassas com agregado de tijolo a redução do teor de substituição reduz a permeabilidade, como pode ser observado por meio do resultado de ARB30.

Figura 65 - Gráfico PCA argamassa revestimento: Componentes 2 e 3



Fonte: a autora

Por meio do gráfico representado na Figura 65, identificamos que os melhores valores para a resistência à compressão estão nos quadrantes superiores. Para Permeabilidade, o melhor comportamento se encontra no quadrante esquerdo, já que são os valores negativos, levando em consideração que para uma argamassa quanto menor a permeabilidade melhor será o desempenho em relação à durabilidade. Deste modo, as melhores misturas de acordo com as duas propriedades devem estar no quadrante superior esquerdo, analisando, pode-se observar que apenas a ARP30 cumpre este requisito. Quando aumentamos o teor de substituição ao utilizar agregado reciclado de parede, observamos que a argamassa se mostra menos resistente e um pouco menos permeável por meio do resultado de ARP50, concluindo que para este tipo de resíduo, é recomendável utilizar teor entre 30 e 50% para garantir a durabilidade.

4.2 Argamassa assentamento

4.2.1 Consistência

A Tabela 19 mostra os resultados de índice de consistência para cada mistura de argamassa de assentamento analisada.

Tabela 19 - Resultados consistência argamassas assentamento

	a/c	consistência (cm)
AAR	0,8	29
AAB30	0,8	28
AAB50	0,8	27
AAP30	0,8	27
AAP50	0,8	26
AAA30	0,8	30
AAA50	0,8	26

Fonte: a autora

De acordo com os resultados, observa-se que a absorção dos agregados interferiu na consistência das argamassas, já que as argamassas com porcentagem maior de substituição de resíduos apresenta índice de consistência mais baixo do que as com menores e com a referência.

4.2.2 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

Na Tabela 20 são apresentados os resultados de Resistência à compressão e à tração das argamassas de assentamento com seus respectivos desvios padrões.

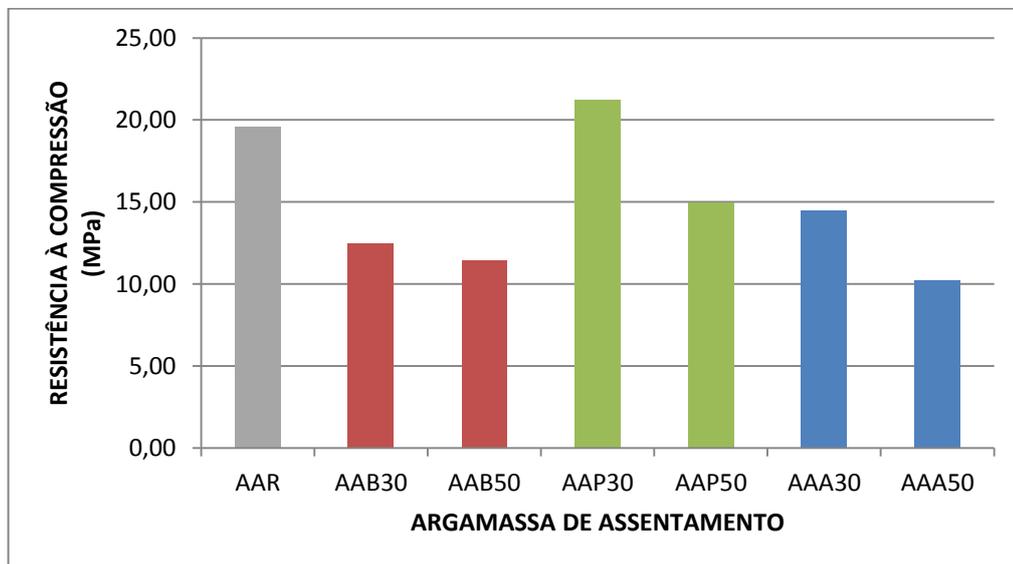
Tabela 20 - Resultados resistência mecânica

	Resistência à compressão (MPa)		Resistência à tração (MPa)	
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.
AAR	19,58	1,59	4,75	0,25
AAB30	12,48	2,02	2,55	0,03
AAB50	11,47	1,17	2,06	0,27
AAP30	21,23	1,28	5,10	0,08
AAP50	14,95	1,64	4,51	0,58
AAA30	14,51	3,52	2,50	0,35
AAA50	10,19	0,51	2,65	0,10

Fonte: a autora

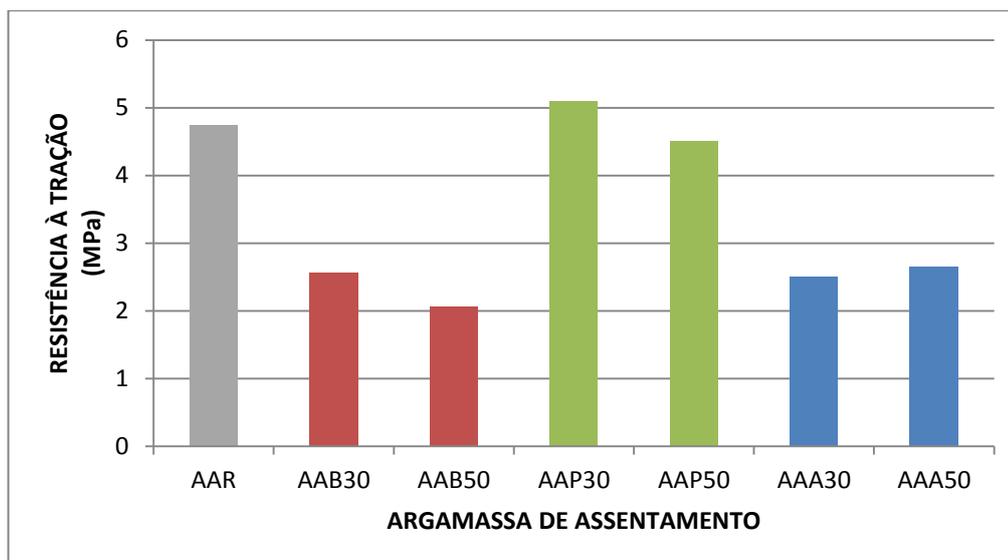
Nas Figuras 66 e 67 estão representados graficamente os resultados de resistência à compressão e à tração respectivamente para cada mistura de argamassa de assentamento estudada.

Figura 66 - Gráfico resultados de resistência à compressão argamassas de assentamento



Fonte: a autora

Figura 67 - Gráfico resultados de resistência à tração argamassas de assentamento



Fonte: a autora

Por meio dos valores de resistência encontrados, pode-se observar que o comportamento de resistência à compressão das misturas seguiu o de resistência à tração, apresentando uma tendência de decréscimo da resistência mecânica com a utilização de resíduos, com exceção da argamassa AAP30 que apresentou valores de resistência superiores. Essa redução segue a expectativa da literatura para argamassas com traços mais fortes e pode ser explicada pela resistência das argamassas ficarem progressivamente dependente do desempenho mecânico dos agregados, ao invés da resistência da matriz de cimento, uma vez que os resíduos estudados normalmente contêm uma quantidade elevada de argamassa aderida, que acontece com os resíduos de parede e de argamassas, ou partículas cerâmicas altamente porosas com desempenho mais baixo comparado com o agregado natural, como ocorre com os resíduos de parede e blocos cerâmicos (SILVA et al, 2016).

Sobre a variação dos tipos de resíduos estudados, observa-se que as argamassas com resíduo de paredes se mostraram mais resistentes do que as demais, indicando que para resistência mecânica a utilização dos resíduos de argamassa e tijolos em conjunto se mostra mais eficiente do que quando utilizados separadamente.

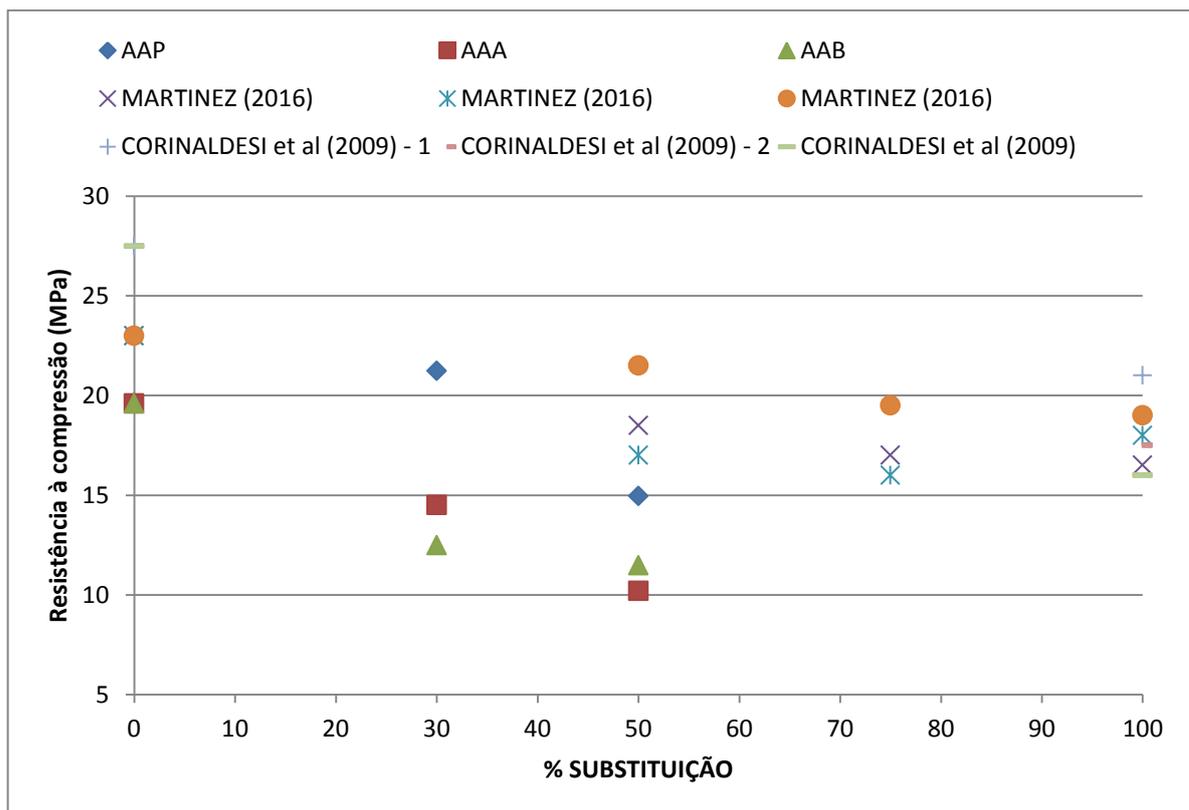
A análise de dados ANOVA (anexo B), concluiu-se que tanto para o ensaio de tração quanto para o de compressão, os resultados das argamassas com resíduos

não apresentaram diferença significativa dos resultados de referência para todas as misturas, indicando que os resíduos não influenciaram consideravelmente no comportamento mecânico das argamassas.

Avaliando os resultados de resistência à compressão observa-se que todas as misturas atingiram o valor mínimo de 9 MPa, que é o valor estabelecido pela NBR 8798 (ABNT,1985) para utilização de argamassa para assentamento de alvenaria estrutural, indicando uma outra possibilidade de utilização do material.

CORINALDEI et al (2007) e MARTINEZ (2016) obtiveram resultados coerentes com os encontrados neste estudo ao utilizarem diferentes tipos de agregados. A Figura 68 mostra o gráfico que correlaciona os resultados encontrados pelos autores com os encontrados neste estudo.

Figura 68- Gráfico comparativo dos resultados de resistência à compressão



Fonte: a autora

Como pode ser observado no gráfico (Figura 68), todos os resultados, independente do tipo de resíduo utilizado como agregado, indicam decréscimo da resistência mecânica com o aumento da porcentagem de substituição. Os autores

indicam que neste caso a absorção e a baixa resistência dos agregados podem ter interferido nas resistências, assim como também foi observado nos resultados de consistência.

4.2.3 Compressão de prismas de bloco cerâmico

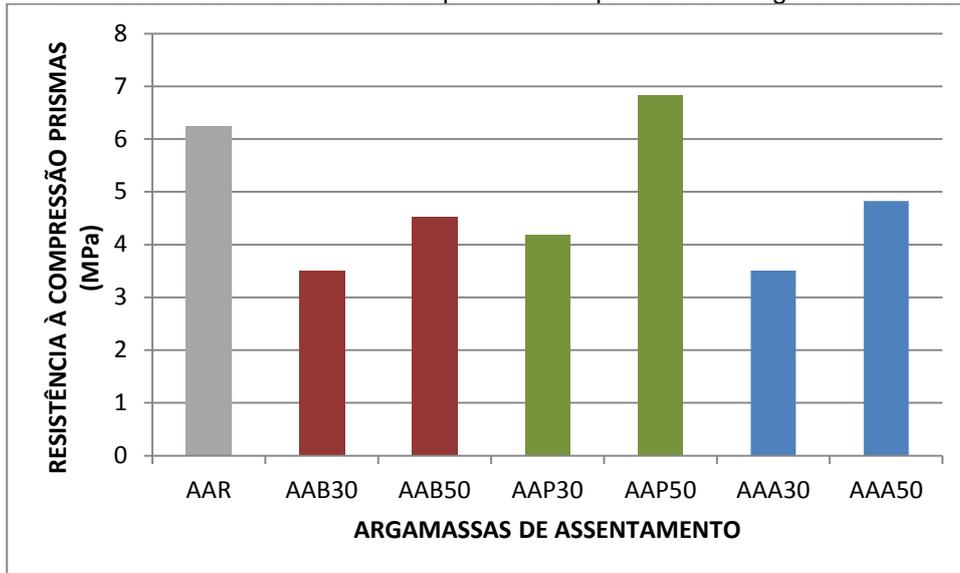
A Tabela 21 indica a média dos valores de resistência à compressão dos blocos cerâmicos assentados com as argamassas estudadas e seus respectivos valores de desvio padrão. Os valores de resistência foram calculados dividindo-se a força de ruptura dos prismas pela área bruta. A Figura 69 indica o gráfico que correlaciona esses valores.

Tabela 21 - Resultado de resistência à compressão dos prismas de assentamento

Resistência à compressão prismas (Mpa)		
	Média	Desv. Pad.
AAR	6,24	1,71
AAB30	3,51	0,41
AAB50	4,53	0,21
AAP30	4,19	0,68
AAP50	6,82	0,34
AAA30	3,36	0,21
AAA50	4,82	2,19

Fonte: a autora

Figura 69 – Resultados de resistência à compressão dos prismas das argamassas de assentamento



Fonte: a autora

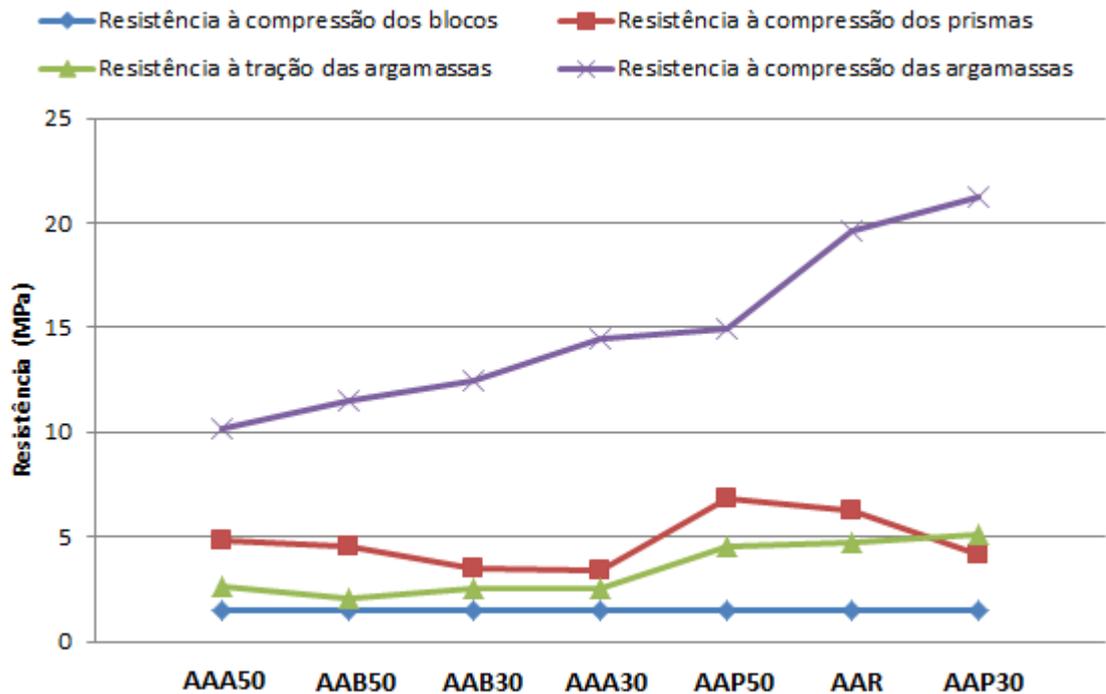
Para alguns casos, os resultados obtidos se mostraram variáveis para um único tipo de prisma, como pode ser observado por meio dos valores de desvios padrões na Tabela 22. Durante a execução do ensaio, observou-se que para a maioria dos prismas, o rompimento se deu no meio dos blocos e não na região de argamassas entre os blocos, mostrando que o prisma se comportou como um único elemento monolítico já que não houve esmagamento na região da junta de argamassas.

Pela análise do gráfico (Figura 69), pode-se observar que o resultado de resistência do prisma de referência se mostrou maior do que a maioria dos outros analisados, excetuando o com a AAP50 que se mostrou mais resistente do que a referência.

Apesar dessa tendência, a análise de dados ANOVA (anexo B) indicou que não houve variação significativa dos resultados encontrados, sugerindo que a utilização de resíduos não afetou significativamente o comportamento das argamassas.

O gráfico da Figura 70 correlaciona os resultados de resistência mecânica obtidos nos ensaios de argamassas, o resultado dos ensaios de resistência à compressão dos prismas e o valor mínimo de resistência à compressão do bloco cerâmico de vedação exigido.

Figura 70 - Gráfico comparativo resistências argamassa de assentamento



Fonte: a autora

Por meio do gráfico, pode-se observar que os resultados de resistência à compressão dos prismas se mostram superiores aos resultados de resistência à compressão dos blocos isoladamente e inferiores aos resultados de resistência à compressão das argamassas isoladamente, indicando que os prismas se comportam como material monolítico, indicando que a junção das argamassas aos blocos incorporou uma parcela considerável de resistência. MACHADO (2015) por meio da análise da influência da resistência das argamassas na compressão de prismas, já havia observado que, para situações que as argamassas eram mais fracas que o bloco os prismas se rompiam por esmagamento, já com argamassas com resistência superior obtêm-se esforços a tração nas unidades, passando a ser este o modo de ruptura do conjunto.

4.2.4 Classificação e análise de desempenho das argamassas

4.2.4.1 Classificação das argamassas de assentamento

Na Figura 71 pode-se observar que assim como nas argamassas de revestimento, as argamassas de assentamento também não variaram muito em relação à classificação indicando que para este traço a adição de resíduos não interferiu muito nas propriedades dos materiais. Ressalta-se para os resultados de resistência à compressão por ser uma propriedade relevante e por todas as misturas terem atingido classificação máxima.

Figura 71 - Classificação argamassas de assentamento

ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO - ABNT		
NBR 1321 2005		
	Compressão (P1 ao P6)	tração (R1 ao R6)
AAR	P6	R6
AAB30	P6	R4
AAB50	P6	R5
AAP30	P6	R6
AAP50	P6	R6
AAA30	P6	R4
AAA50	P6	R4

Fonte: a autora

4.2.4.2 Análise do desempenho de argamassa de assentamento

A Tabela 22 apresenta a variação de cada propriedade em relação à argamassa de referência, de acordo com os resultados mostrados anteriormente. Deste modo pode-se observar a influência de cada resíduo para cada traço de argamassa, ou seja, identificar se o acréscimo de resíduo resultou em um desempenho positivo ou negativo comparado com a argamassa de referência sem

agregado reciclado. As células em verde indicam que houve uma melhoria da propriedade em relação à de referência com o acréscimo de resíduos e a em vermelho que houve um decréscimo. As porcentagens da Tabela 23 indicam a variação dos resultados em relação à referência.

Tabela 22 Comparativo resultados argamassas de assentamento

	COMPRESSÃO	TRAÇÃO	COMPRESSÃO PRISMAS
AAP30	8%	7%	-33%
AAP50	-24%	-5%	9%
AAB30	-36%	-46%	-44%
AAB50	-41%	-57%	-27%
AAA30	-26%	-47%	-46%
AAA50	-48%	-44%	-23%

Fonte: a autora

Ao analisar a Tabela 22, é notório que, de um modo geral o acréscimo de resíduos acarretou em um decréscimo no desempenho das argamassas de assentamento, exceto pela argamassa AAP30 que se mostrou melhor em relação à de referência. A AAP50, apesar de variar negativamente nas propriedades de compressão e tração teve uma variação menor em relação as demais e um acréscimo em relação à compressão dos prismas. Indicando então a viabilidade do uso de agregados de argamassas na composição deste tipo de material.

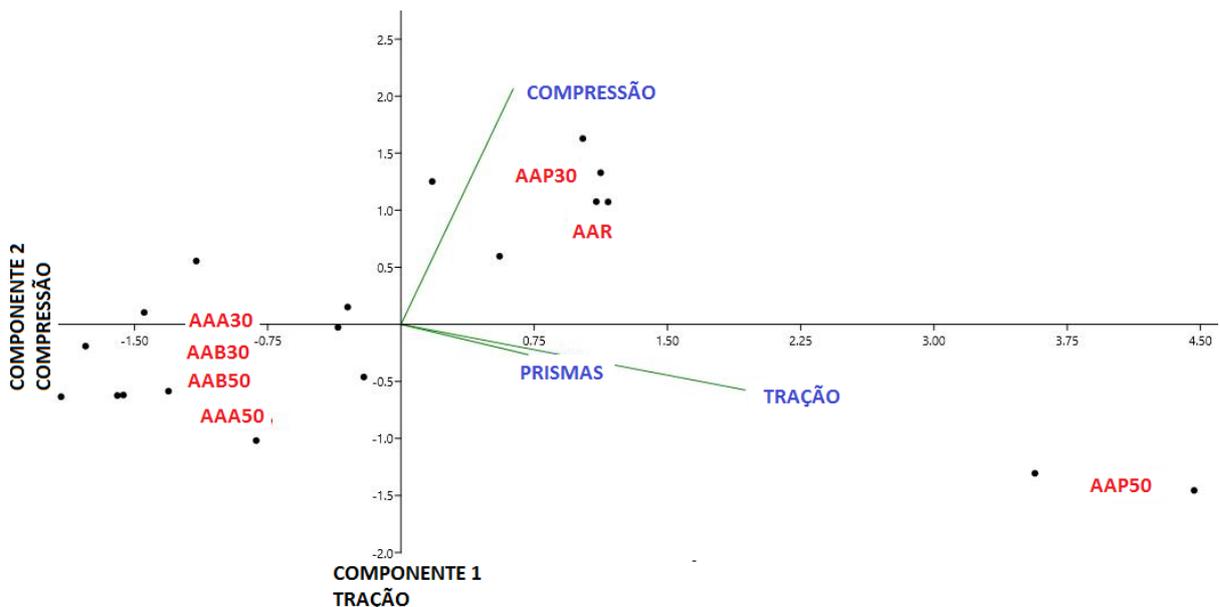
4.2.5 – PCA – Análise de comportamento principal

Objetivando complementar a análise de dados ANOVA, foi feita a análise de componente principais (*principal component analysis*) por meio do software PAST.

Por meio da análise de comportamento principal dos resultados das argamassas de revestimento, observou-se que das propriedades analisadas a Tração indica ser a mais representativa com 65,73% da variância total, seguido pela Compressão com 19,07% da variância total e por último a Compressão dos prismas com 15,20%. A Figura 72 indica o gráfico que correlaciona a componente 1 da análise (Tração) e a componente 2 (Compressão) explicando em conjunto 84,8% da

variância total. A Figura 73 indica o gráfico que correlaciona a componente 1 (Tração) com a componente 3 (Compressão dos Prismas) explicando em conjunto 80,93% da variância total.

Figura 72 - Gráfico PCA componente 1 e 2: Argamassas de assentamento

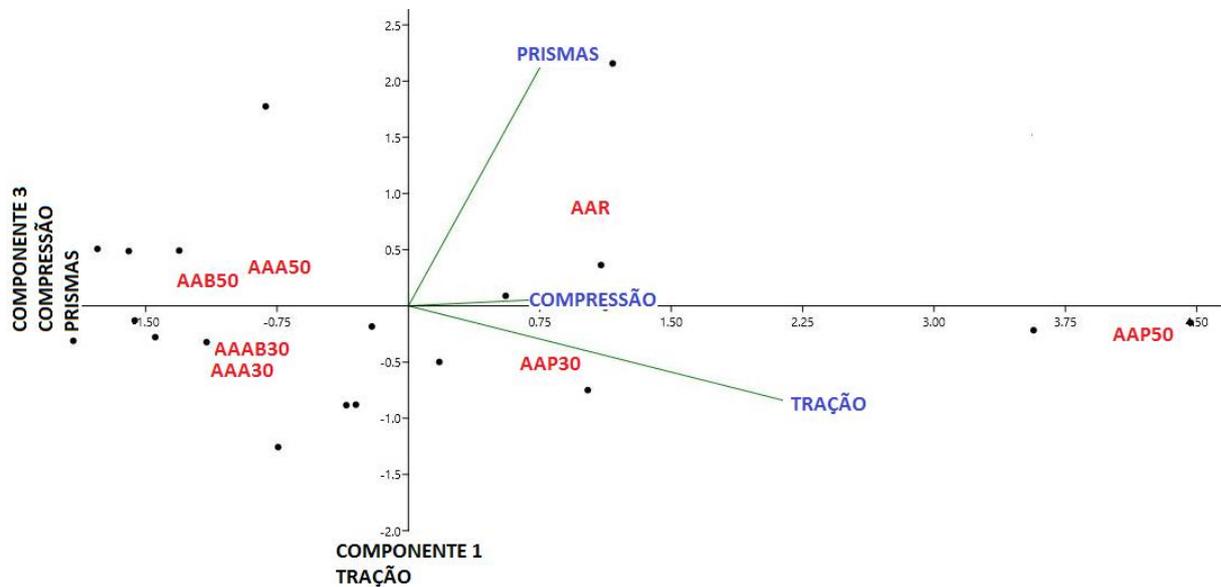


Fonte: a autora

Por meio do gráfico representado na Figura 72, identificamos que os melhores valores para comportamento à tração estão nos quadrantes superiores. Para Compressão, o melhor comportamento se encontra no quadrante direito. Deste modo, as melhores misturas de acordo com as duas propriedades devem estar no quadrante superior direito.

Além da referência, a mistura que se mostra com melhor comportamento para estas duas propriedades é a AAP30. Sobre a utilização de resíduos de parede, observa-se que o aumento do teor de substituição acarreta na diminuição da resistência à compressão. As misturas AAA50 e AAB50 são as que apresentam pior desempenho, entretanto, o aumento do teor de substituição desses resíduos mostra uma aproximação de comportamento em direção de compressão, indicando um aumento nesta propriedade. Indicando um melhor desempenho para o teor de substituição entre 30 e 50% para todos os casos.

Figura 73 - Gráfico PCA Componentes 2 e 3: Argamassas de assentamento



Fonte: a autora

Por meio do gráfico representado na Figura 73, identificamos que os melhores valores para comportamento à tração estão nos quadrantes superiores. Para compressão dos prismas, o melhor comportamento se encontra no quadrante direito. Deste modo, as melhores misturas de acordo com as duas propriedades devem estar no quadrante superior direito. Analisando, pode-se observar que apenas a ARR cumpre este requisito.

Das demais misturas estudadas, destacam-se as misturas AAP50 e AAP30 já que apresentam valores mais próximos do eixo de compressão dos prismas.

As misturas AAA30 e AAB30 se mostram os com piores desempenho, entretanto, para esta análise, o aumento de teor de substituição de agregado apresenta um aumento no desempenho em relação à tração das argamassas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

5.1.1 Agregados

- Baseado nos resultados de caracterização dos agregados reciclados utilizados, cujo único processo de beneficiamento foi o peneiramento após britagem, conclui-se que eles obedecem às exigências técnicas estipuladas pelas normas para serem utilizados como agregados miúdos de concretos não estruturais, logo, também de argamassas.
- Os agregados de resíduos de argamassa apresentaram granulometria semelhante ao agregado natural. Os agregados de resíduo de blocos e paredes apresentam granulometria semelhantes e menos uniforme ao comparar com os de argamassa e ao natural.
- A granulometria e a forma dos agregados reciclados afetaram na consistência das misturas das argamassas, as argamassas com resíduo de tijolo e parede necessitaram de uma menor quantidade de água para atingir a consistência desejada para utilização.

5.1.2 Argamassas de Revestimento

A partir dos resultados obtidos, foi demonstrada a viabilidade da utilização das argamassas de revestimento com agregados de resíduos no que diz respeito às resistências mínimas exigidas pelas normas vigentes.

- A utilização de resíduos indicou uma tendência de aumento de resistência à compressão e à tração. Das argamassas com revestimento estudadas a ARA30 se mostrou com maior resistência mecânica e a ARB30 com menor. Por meio da ANOVA constatou-se que a apenas a argamassa com mistura

ARA30 se destacou sendo mais resistente do que a referência à compressão, as demais misturas não apresentaram variabilidade de resultados significativa, sugerindo que a utilização de resíduo não afetou as propriedades de compressão e tração para os demais casos.

- Os resultados de resistência à aderência atingiram a classificação máxima de acordo com a norma, indicando sua aplicabilidade para todas as situações avaliadas (tetos, paredes, pintura e cerâmica). Apesar de os resultados variarem de acordo com o tipo de resíduo utilizado, as misturas com resíduos de blocos apresentaram maior resistência, seguidas pelas misturas com resíduos de argamassa e por último e menos aderentes as misturas com resíduos de paredes, de acordo com a ANOVA a variabilidade dos resultados das misturas não é significativa, indicando que a utilização de resíduos não interferiu na aderência das misturas.
- Para análise de permeabilidade a maioria das misturas mostraram não variar significativamente da referência, destacando-se apenas ARB50 como a única mistura de argamassa que se mostrou mais permeável de modo que não conseguiu-se mensurar por meio de ensaio de cachimbo. Esse resultado não descarta seu uso como um todo, mas limita sua utilização em ambientes externos. As demais argamassas não apresentaram variação considerável nos resultados comparados com a de referência, principalmente avaliando a absorção final.
- Por meio da análise de comportamento principal, observou-se que de todas as misturas estudadas a ARP30 se destaca avaliando seu comportamento em todas as propriedades avaliadas, indicando que o teor entre 30 e 50% é o ideal de utilização para este tipo de resíduo.

5.1.3 Argamassas de assentamento

- Nas argamassas de assentamento, observou-se que a adição de resíduos, de um modo geral, contribui para a redução tanto da resistência à compressão quanto da resistência à tração, entretanto, por meio da ANOVA observou-se que nenhum resultado de resistência mecânica se mostrou significativamente

diferente da referência, indicando que a utilização de resíduos não afetou essas propriedades das argamassas.

- Apesar das normas não estabelecerem resistência mínima para o uso de argamassas de assentamento para alvenaria de vedação, as argamassas estudadas apresentaram classificações máximas segundo a norma. Todas as misturas apresentaram resultado de resistência à compressão superior ao mínimo exigido por norma para uso em assentamento de alvenaria estrutural, indicando outra possível maneira de utilização.
- Sobre o ensaio de compressão de prismas o resultado do prisma assentado com AAP50 se destacou dos demais sendo o único a apresentar resultados de resistência superiores ao prisma de referência, entretanto, por meio da ANOVA observou-se que a utilização de resíduos não interferiu significativamente no comportamento dos prismas em comparação com a referência. Analisando o comportamento dos prismas, observou-se que os prismas seguiram o comportamento de resistência à tração das argamassas de assentamento.
- Por meio da análise de comportamento principal observou-se que a mistura AAP30 foi que a apresentou melhor comportamento avaliando todas as propriedades em conjunto.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Sugere-se que sejam testados novos traços para as misturas com a incorporação de aditivos ou de cal para que não haja necessidade de variar a quantidade de água nos traços.
- Sobre o desempenho das argamassas de revestimento sugere-se que seja testado também o seu comportamento em ambientes agressivos. .
- Sobre o desempenho das argamassas de assentamento sugere-se que o ensaio seja repetido utilizando blocos para alvenaria estrutural ao invés de vedação para analisar a aplicabilidade do material.
- Ainda sobre o desempenho das argamassas de assentamento, sugere-se que seja analisada a aderência entre os blocos.

- Sobre a utilização de resíduos em argamassas de uma maneira geral sugere-se que sejam analisados outros fatores além das propriedades do material como a viabilidade econômica, métodos de produção e aplicação que se adequem à rotina de um canteiro de obra.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2016

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI – 2001.2 R- 01, 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 1527 – Componentes cerâmicos: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7211 – Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8215 – Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural –Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13749 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15116 – Componentes cerâmicos: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15258 – Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15961 – Alvenaria estrutural- Blocos de concreto parte 2. Rio de Janeiro, 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica Rio de Janeiro, 2008

AIRAGHI, C., BOTTEON, D., CANZIANI, G., DALPIAZ, M., SALVATORE, G., LUDOVISI, M., RICCI, R. EN 1015-11 and EN 1015-12 Proposal to update procedures for lime products. International Masonry Society, 2014

ALVES, B. Técnico em edificações :<http://www.tecnicoedificacoes.com.br/concreto-propriedades-no-estado-fresco#> Acesso em 17 de abril de 2018

ASSUNÇÃO, L. T., CARVALHO, F. G., & BARATA, S. M. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidos com resíduos da construção e demolição como agregado. Exacta. São Paulo, 2007.

ASTM C 1314-03b “Standart Test Method for Compressive Strenght of Mansory Prisms”

ASTM E 519-02 “Standart Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Mansonry Assemblages”

AWOYERA, P., DAWSON, A., THOM, N., & AKINMUSURU, J. Suitability of mortars produced using laterirte and ceramic wastes : Mechanical and micrscale analysis. Construction and Building Materials, 2017

BARBIEITAS, I. W., e LOPES, P. C. Caracterização do RCD de acorodo com a origem para uso como agregado em concreto e argamassa. Monografia. Faculdade de Engenharia Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, 2015

CABRAL, A. E. B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. Tese. USP – Universidade de São Paulo, 2007

CALCADO, G. C. Influência da adição de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição no desempenho de argamassas de cimento portland. Monografia Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, 2015

CANOVA, A. J., BERGAMASCO, R., e NETO,G. Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. Revista Eletrônica de Engenharia Civil – REEC, 2015

CARASEK, H. e SCARTEZINI, O. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas- Brasília, 2001

CSTC- CENTRE SCHIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRCTION – 1982

CHERRADI, T., ABIDI, L. M., COURARD, L., MICHEL F., GRIGOLETTO, S., E TCHAMDJOU, W.H.. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar. Casa studies in construction materials, 2017

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 307. 2002

CORDEIRO, G. C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto. Dissertação Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2006

CORINALDESI, V. Mechanical behaviour of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars. *Cement and Concrete composites*, 2009

CORINALDESI, V. e MORICONI, G. Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate, *Construction and Building materials*, 2009

CORINALDESI, V. Environmentally-friendly bedding mortars for repair of historical buildings. *Construction and building materials*, 2012

CUENCA, M. G., MARTÍN, M. M., VALVERDE, P.I., VALVERDE, E. I e ZAMORANO, M. Influence of pre-soaked recycled fine aggregate on the properties of masonry mortar. *Construction and building materials*, 2014

EN 1052-3 Methods of tests for masonry Part 3: Determination of initial shear strength - 2002

GAYARRE, L. F., BOADELLA, I.L., PEREZ, C., e LOPEZ, M. S. Influence of the ceramic recycled aggregates in the masonry mortars. *Construction and building materials*, 2017

GE, Z., YUE,H., SUN,R. Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate. *Construction and building materials*, 2015

GIHAD, M. Mecanismos de ruptura da alvenaria de blocos à compressão. Dissertação. Universidade do Minho, 2007

INTERCEMENT. Cimento de Resíduos de Construção e Demolição. Disponível em: <http://www.intercement.com> Acessado em 12 de maio de 2018

JIMÉNEZ, J.R., AYUSO, J., LÓPEZ,M., FERNÁNDEZ,J.M e BRITO,J. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and building materials*, 2012

KATZER,J. Strength performance comparison of mortars made with waste fine aggregate and ceramic fume. *Construction and building materials*, 2013.

LEDESMA, E.F., JIMENEZ, J. R., AYUNO, J., FERNANDES, J. M. e BRITO,J. Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production – Part-I: ceramic masonry waste. *Cleaner Production*, 2015

LEDESMAN, E., JIMENEZ,J., FERNANDES,J., GALVIN,A., AGRELA, F. e BARBUDO, A. Properties of masonry mortars manufactured with fine recycled concrete. *Construction and building materials*, 2014

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese –UFRS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul , 2001

LEVY, S. M. Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. Dissertação. USP - Escola Politécnica, 1997.

LIMA, A. N. Análise experimental da influência da resistência e espessura de argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos. Dissertação – UFAL –Universidade Federal de Alagoas, 2010

MACHADO, A. P., ANTUNES, E. G. P. Influência da resistência da argamassa de assentamento na compressão axial de prismas de blocos cerâmicos estruturais. UNESC- Universidade do Extremo Sul catarinense, 2015

MALTA, J. O. Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduos de construção e demolição. Dissertação. UFBA – Universidade Federal da Bahia, 2012

MARTINEZ, P. S., ETXEBERRIA, M., PAVÓN, E. e DÍAZ, N. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 2013.

MARTINEZ, P. S., CORTINA. M. G., MARTINEZ, F. F. e SANCHEZ, A. R. Comparative study of three types of fine recycled aggregate from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication. *Cleaner Productions*, 2016.

MIRANDA, L.F.R., CONSTANTINO, C.S., MONICH. C.R., NETO, A.M. Use of Recycled sand Produced at Construction Sites in Bedding Mortars. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2013

MOTA, J. M. Influência de argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria de blocos cerâmicos. Dissertação – UFPE- Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

NENO, C., BRITO, J. e VEIGA, R. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. *Materials research*, 2014

NETO, G. D., CANOVA, J. A. e BERGAMASCO, R. Utilização de resíduos de pnesu inservíveis em argamassa de revestimento. *Acta Scientiarum*, 2007.

PENACHO, P., BRITO, J. E VEIGA, M. R. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. *Cement and concrete composites*, 2014.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – Lei nacional 12.305. Brasília, 2010

RIBAS, L. F., Influência da comunicação da fração cerâmica dos resíduos de construção e demolição na sua atividade pozolânica e nas propriedades físicas, mecânicas e durabilidade de argamassas de cimento. Tese. COPPE – UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

ROMA, J. C.; MOURA, A. A., Resíduos da Construção Civil. Caderno de Diagnóstico, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011.

ROSSA JUNIOR, J. Adição de escória de alto forno em argamassa colante tipo AC-I. Dissertação. UFPR -Universidade Federal do Paraná, 2009

RUIPEREZ, C. N., RODRIGUEZ, S., GUTIERREZ GONZALEZ, V., CALDERON, V., Lightweight masonry mortars made with expanded clay. *Construction and Building Materials*, 2016

SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. Dissertação UFPR – Universidade Federal do Paraná, 2006

SILVA, R. V., BRITO, D. J., e DHIR, K. R. Performance of cementitious rendering and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition wastes. *Construction and building materials*, 2016

SIQUEIRA, J. E. Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassa de revestimento de alvenaria: estudo comparativo de desempenho. Dissertação. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006

SOUZA, K. L. Estudo das propriedades mecânicas e físicas de argamassas com agregado miúdo proveniente da moagem de 1m² de alvenaria com revestimento em argamassa. Monografia. UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2015

SOUZA, R. H., ALMEIDA, I.R. e VEIGA. M. Projeto REFA – Avaliação do desempenho dos revestimento de fachadas. UFF – Universidade Federal Fluminense, 2005

SOUZA, R. H., FELÍCIO, M. D., MIGUEL, F.C., PEREIRA, L.M. e PAULA, R.L. Estudo comparativo de argamassas usuais no revestimento de fachadas prediais. XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, 2008

VIEIRA, A. M. Caracterização de revestimento exteriores através de ensaios de arranchamento por tracção. Dissertação. Faculdade de Engenharia Univerisdade do Porto, 2009.

YACINE, A., RATIBA, M. K. e GHREB, A. Ceramic waste influence on dune sand mortar performance. Construction and building materials, 2016

VIANA, L. S., VESLACO, R. V., SILVOSO, M. M. Argamassa e concretos com a adição de resíduos cerâmicos e de rochas ornamentais. XVI Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2016

WESTPHAL, E. H. Argamassas Florianópolis. UFSC. Disponível em <http://www.labcon.ufsc.br/> Acesso em abril de 2018

YANG, S. e LEE, H. Mechanical properties of recycled aggregate concrete proportioned with modified equivalente mortar volume method for paving application. Construction and building materials, 2017

ANEXO A

ANOVA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
ARR	3.00	5.94	0.29	0.17
ARA30	3.00	8.32	0.78	0.45
ARA50	3.00	6.45	0.59	0.34
ARB30	3.00	6.28	1.28	0.74
ARB50	3.00	7.98	1.06	0.61
ARP30	3.00	6.96	0.29	0.17
ARP50	3.00	6.96	0.59	0.34

TABELA ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6.00	13.92	2.32	3.83	0.02
Error	14.00	8.48	0.61		
Total	20.00	22.40			

Tabela teste Tukey

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
ARA30 ARR	2.38	0.64	5.29	0.03	0.05	1.00	0.21	4.55
ARA50 ARR	0.51	0.64	1.13	0.98	0.05	0.00	-1.66	2.68
ARA50 ARA30	-1.87	0.64	4.16	0.11	0.05	0.00	-4.04	0.30
ARB30 ARR	0.34	0.64	0.76	1.00	0.05	0.00	-1.83	2.51
ARB30 ARA30	-2.04	0.64	4.54	0.07	0.05	0.00	-4.21	0.13
ARB30 ARA50	-0.17	0.64	0.38	1.00	0.05	0.00	-2.34	2.00
ARB50 ARR	2.04	0.64	4.54	0.07	0.05	0.00	-0.13	4.21
ARB50 ARA30	-0.34	0.64	0.76	1.00	0.05	0.00	-2.51	1.83
ARB50 ARA50	1.53	0.64	3.40	0.27	0.05	0.00	-0.64	3.70
ARB50 ARB30	1.70	0.64	3.78	0.18	0.05	0.00	-0.47	3.87
ARP30 ARR	1.02	0.64	2.27	0.68	0.05	0.00	-1.15	3.19
ARP30 ARA30	-1.36	0.64	3.02	0.38	0.05	0.00	-3.53	0.81
ARP30 ARA50	0.51	0.64	1.13	0.98	0.05	0.00	-1.66	2.68
ARP30 ARB30	0.68	0.64	1.51	0.93	0.05	0.00	-1.49	2.85
ARP30 ARB50	-1.02	0.64	2.27	0.68	0.05	0.00	-3.19	1.15
ARP50 ARR	1.02	0.64	2.27	0.68	0.05	0.00	-1.15	3.19
ARP50 ARA30	-1.36	0.64	3.02	0.38	0.05	0.00	-3.53	0.81
ARP50 ARA50	0.51	0.64	1.13	0.98	0.05	0.00	-1.66	2.68
ARP50 ARB30	0.68	0.64	1.51	0.93	0.05	0.00	-1.49	2.85
ARP50 ARB50	-1.02	0.64	2.27	0.68	0.05	0.00	-3.19	1.15
ARP50 ARP30	0.00	0.64	0.00	1.00	0.05	0.00	-2.17	2.17

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
ARR	2	2.57813	0.33146	0.23438
ARA30	2	2.46094	0.16573	0.11719
ARA50	2	2.75391	0.24859	0.17578
ARB30	2	2.8125	0.33146	0.23438
ARB50	2	2.63672	0.41432	0.29297
ARP30	2	1.78125	0.7955	0.5625
ARP50	2	2.8125	0	0

Tabela ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6	1.57316	0.26219	1.64833	0.2635
Error	7	1.11346	0.15907		
Total	13	2.68663			

Tabela de Teste Tukey

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
ARA30 ARR	-0.11719	0.39883	0.41553	0.9999	0.05	0	-1.69809	1.46372
ARA50 ARR	0.17578	0.39883	0.6233	0.99899	0.05	0	-1.40512	1.75669
ARA50 ARA30	0.29297	0.39883	1.03884	0.98504	0.05	0	-1.28794	1.87387
ARB30 ARR	0.23438	0.39883	0.83107	0.9952	0.05	0	-1.34653	1.81528
ARB30 ARA30	0.35156	0.39883	1.2466	0.96463	0.05	0	-1.22934	1.93247
ARB30 ARA50	0.05859	0.39883	0.20777	1	0.05	0	-1.52231	1.6395
ARB50 ARR	0.05859	0.39883	0.20777	1	0.05	0	-1.52231	1.6395
ARB50 ARA30	0.17578	0.39883	0.6233	0.99899	0.05	0	-1.40512	1.75669
ARB50 ARA50	-0.11719	0.39883	0.41553	0.9999	0.05	0	-1.69809	1.46372
ARB50 ARB30	-0.17578	0.39883	0.6233	0.99899	0.05	0	-1.75669	1.40512
ARP30 ARR	-0.79688	0.39883	2.82563	0.486	0.05	0	-2.37778	0.78403
ARP30 ARA30	-0.67969	0.39883	2.4101	0.63399	0.05	0	-2.26059	0.90122
ARP30 ARA50	-0.97266	0.39883	3.44894	0.30445	0.05	0	-2.55356	0.60825
ARP30 ARB30	-1.03125	0.39883	3.6567	0.25746	0.05	0	-2.61215	0.54965
ARP30 ARB50	-0.85547	0.39883	3.0334	0.41894	0.05	0	-2.43637	0.72544
ARP50 ARR	0.23438	0.39883	0.83107	0.9952	0.05	0	-1.34653	1.81528
ARP50 ARA30	0.35156	0.39883	1.2466	0.96463	0.05	0	-1.22934	1.93247
ARP50 ARA50	0.05859	0.39883	0.20777	1	0.05	0	-1.52231	1.6395
ARP50 ARB30	0	0.39883	0	1	0.05	0	-1.5809	1.5809
ARP50 ARB50	0.17578	0.39883	0.6233	0.99899	0.05	0	-1.40512	1.75669
ARP50 ARP30	1.03125	0.39883	3.6567	0.25746	0.05	0	-0.54965	2.61215

RESISTÊNCIA À ADERÊNCIA

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
ARR	5	0.82194	0.0791	0.03538
ARA30	5	0.96	0.43208	0.19323
ARA50	5	0.70937	0.09784	0.04376
ARB30	5	0.96342	0.1934	0.08649
ARB50	5	1.02114	0.25975	0.11616
ARP30	5	0.45327	0.22428	0.1003
ARP50	5	0.62707	0.36386	0.16272

TABELA ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6	1.29876	0.21646	3.09164	0.01887
Error	28	1.96041	0.07001		
Total	34	3.25916			

TABELA TESTE TUKEY

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
ARA30 ARR	0.13806	0.16735	1.16666	0.98019	0.05	0	-0.3928	0.66891
ARA50 ARR	-0.11257	0.16735	0.95129	0.99313	0.05	0	-0.64342	0.41828
ARA50 ARA30	-0.25063	0.16735	2.11795	0.74381	0.05	0	-0.78148	0.28023
ARB30 ARR	0.14147	0.16735	1.19552	0.97762	0.05	0	-0.38938	0.67233
ARB30 ARA30	0.00342	0.16735	0.02886	1	0.05	0	-0.52744	0.53427
ARB30 ARA50	0.25404	0.16735	2.14682	0.73207	0.05	0	-0.27681	0.7849
ARB50 ARR	0.19919	0.16735	1.6833	0.89198	0.05	0	-0.33166	0.73005
ARB50 ARA30	0.06114	0.16735	0.51664	0.99978	0.05	0	-0.46972	0.59199
ARB50 ARA50	0.31176	0.16735	2.63459	0.51964	0.05	0	-0.21909	0.84262
ARB50 ARB30	0.05772	0.16735	0.48777	0.99984	0.05	0	-0.47313	0.58857
ARP30 ARR	-0.36867	0.16735	3.11553	0.32563	0.05	0	-0.89953	0.16218
ARP30 ARA30	-0.50673	0.16735	4.28219	0.06873	0.05	0	-1.03758	0.02413
ARP30 ARA50	-0.2561	0.16735	2.16424	0.7249	0.05	0	-0.78696	0.27475
ARP30 ARB30	-0.51014	0.16735	4.31105	0.06574	0.05	0	-1.041	0.02071
ARP30 ARB50	-0.56786	0.16735	4.79883	0.0301	0.05	1	-1.09872	-0.03701
ARP50 ARR	-0.19488	0.16735	1.64683	0.90143	0.05	0	-0.72573	0.33598
ARP50 ARA30	-0.33293	0.16735	2.81349	0.44296	0.05	0	-0.86379	0.19792
ARP50 ARA50	-0.08231	0.16735	0.69554	0.99877	0.05	0	-0.61316	0.44855
ARP50 ARB30	-0.33635	0.16735	2.84235	0.431	0.05	0	-0.8672	0.19451
ARP50 ARB50	-0.39407	0.16735	3.33013	0.25473	0.05	0	-0.92492	0.13679
ARP50 ARP30	0.1738	0.16735	1.4687	0.94028	0.05	0	-0.35706	0.70465

PERMEABILIDADE

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
ARR-20'	5	1.8	1.92354	0.86023
ARA30-20'	5	2.42	1.46697	0.65605
ARB30-20'	5	2.02	1.58808	0.71021
ARP30-20'	5	1.32	1.04499	0.46733
ARA50-20'	5	1.94	0.8961	0.40075
ARB50-20'	5	3.86	0.31305	0.14
ARP50-20'	5	1.8	0.4062	0.18166

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6	19.95086	3.32514	2.21003	0.0718
Error	28	42.128	1.50457		
Total	34	62.07886			

Tabela de teste Tukey

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
ARA30-20' ARR-20'	0.62	0.77578	1.13024	0.98313	0.05	0	-1.84087	3.08087
ARR30-20' ARR-20'	0.22	0.77578	0.40105	0.99995	0.05	0	-2.24087	2.68087
ARR30-20' ARA30-20'	-0.4	0.77578	0.72919	0.9984	0.05	0	-2.86087	2.06087
ARB30-20' ARR-20'	-0.48	0.77578	0.87502	0.99562	0.05	0	-2.94087	1.98087
ARB30-20' ARA30-20'	-1.1	0.77578	2.00526	0.78778	0.05	0	-3.56087	1.36087
ARB30-20' ARR30-20'	-0.7	0.77578	1.27608	0.96915	0.05	0	-3.16087	1.76087
ARA50-20' ARR-20'	0.14	0.77578	0.25522	1	0.05	0	-2.32087	2.60087
ARA50-20' ARA30-20'	-0.48	0.77578	0.87502	0.99562	0.05	0	-2.94087	1.98087
ARA50-20' ARR30-20'	-0.08	0.77578	0.14584	1	0.05	0	-2.54087	2.38087
ARA50-20' ARB30-20'	0.62	0.77578	1.13024	0.98313	0.05	0	-1.84087	3.08087
ARB50-20' ARR-20'	2.06	0.77578	3.75531	0.14773	0.05	0	-0.40087	4.52087
ARB50-20' ARA30-20'	1.44	0.77578	2.62507	0.52381	0.05	0	-1.02087	3.90087
ARB50-20' ARR30-20'	1.84	0.77578	3.35426	0.24747	0.05	0	-0.62087	4.30087
ARB50-20' ARB30-20'	2.54	0.77578	4.63033	0.03967	0.05	1	0.07913	5.00087
ARB50-20' ARA50-20'	1.92	0.77578	3.50009	0.20668	0.05	0	-0.54087	4.38087
ARP50-20' ARR-20'	2.22E-16	0.77578	4.05E-16	1	0.05	0	-2.46087	2.46087
ARP50-20' ARA30-20'	-0.62	0.77578	1.13024	0.98313	0.05	0	-3.08087	1.84087
ARP50-20' ARR30-20'	-0.22	0.77578	0.40105	0.99995	0.05	0	-2.68087	2.24087
ARP50-20' ARB30-20'	0.48	0.77578	0.87502	0.99562	0.05	0	-1.98087	2.94087
ARP50-20' ARA50-20'	-0.14	0.77578	0.25522	1	0.05	0	-2.60087	2.32087
ARP50-20' ARB50-20'	-2.06	0.77578	3.75531	0.14773	0.05	0	-4.52087	0.40087

ANEXO B

ANOVA ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela Resumo

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
AAR	3	19.58406	1.59278	0.91959
AAA30	3	13.30384	3.15279	1.82027
AAA50	3	10.19108	0.50955	0.29419
AAB30	3	12.48408	2.02223	1.16754
AAB50	3	11.47028	1.1745	0.6781
AAP30	3	21.23142	1.28235	0.74037
AAP50	3	14.94692	1.63799	0.94569

Tabela ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6	312.54477	52.0908	16.1823	1.44E-05
Error	14	45.06598	3.219		
Total	20	357.61075			

Tabela teste Tukey

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
AAA30 AAR	-6.28021	1.46492	6.06282	0.01029	0.05	1	-11.2823	-1.27811
AAA50 AAR	-9.39297	1.46492	9.06783	2.55E-04	0.05	1	-14.3951	-4.39087
AAA50 AAA30	-3.11276	1.46492	3.00501	0.39006	0.05	0	-8.11486	1.88934
AAB30 AAR	-7.09998	1.46492	6.85421	0.00374	0.05	1	-12.1021	-2.09788
AAB30 AAA30	-0.81977	1.46492	0.79139	0.99709	0.05	0	-5.82187	4.18234
AAB30 AAA50	2.29299	1.46492	2.21362	0.70447	0.05	0	-2.70911	7.2951
AAB50 AAR	-8.11378	1.46492	7.83291	0.0011	0.05	1	-13.1159	-3.11168
AAB50 AAA30	-1.83357	1.46492	1.7701	0.86222	0.05	0	-6.83567	3.16854
AAB50 AAA50	1.27919	1.46492	1.23491	0.97105	0.05	0	-3.72291	6.2813
AAB50 AAB30	-1.0138	1.46492	0.97871	0.99095	0.05	0	-6.0159	3.9883
AAP30 AAR	1.64737	1.46492	1.59034	0.91003	0.05	0	-3.35474	6.64947
AAP30 AAA30	7.92758	1.46492	7.65316	0.00138	0.05	1	2.92548	12.92968
AAP30 AAA50	11.04034	1.46492	10.65817	4.42E-05	0.05	1	6.03824	16.04244
AAP30 AAB30	8.74735	1.46492	8.44455	5.28E-04	0.05	1	3.74524	13.74945
AAP30 AAB50	9.76115	1.46492	9.42326	1.70E-04	0.05	1	4.75904	14.76325
AAP50 AAR	-4.63713	1.46492	4.47662	0.07751	0.05	0	-9.63924	0.36497
AAP50 AAA30	1.64308	1.46492	1.5862	0.911	0.05	0	-3.35902	6.64518
AAP50 AAA50	4.75584	1.46492	4.59121	0.06729	0.05	0	-0.24626	9.75794
AAP50 AAB30	2.46285	1.46492	2.37759	0.63771	0.05	0	-2.53926	7.46495
AAP50 AAB50	3.47665	1.46492	3.3563	0.27788	0.05	0	-1.52546	8.47875
AAP50 AAP30	-6.2845	1.46492	6.06696	0.01023	0.05	1	-11.2866	-1.2824

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Tabela Resumo

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
AAR	2	4.74609	0.24859	0.17578
AAA30	2	2.49609	0.34803	0.24609
AAA50	2	2.64844	0.09944	0.07031
AAB30	2	2.55469	0.03315	0.02344
AAB50	2	2.0625	0.26517	0.1875
AAP30	2	5.09766	0.08286	0.05859
AAP50	2	4.51172	0.58005	0.41016

Tabela ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6	19.6018	3.26697	3.76E+01	5.56E-05
Error	7	0.60755	0.08679		
Total	13	20.20935			

Tabela Teste Tukey

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
AAA30 AAR	-2.25	0.29461	10.80083	0.00134	0.05	1	-3.41777	-1.08223
AAA50 AAR	-2.09766	0.29461	1.01E+01	0.00206	0.05	1	-3.26543	-0.92989
AAA50 AAA30	0.15234	0.29461	0.73131	0.99757	0.05	0	-1.01543	1.32011
AAB30 AAR	-2.19141	0.29461	10.51955	0.00157	0.05	1	-3.35918	-1.02364
AAB30 AAA30	0.05859	0.29461	0.28127	0.99999	0.05	0	-1.10918	1.22636
AAB30 AAA50	-0.09375	0.29461	0.45003	0.99984	0.05	0	-1.26152	1.07402
AAB50 AAR	-2.68359	0.29461	12.88223	4.39E-04	0.05	1	-3.85136	-1.51582
AAB50 AAA30	-0.43359	0.29461	2.08141	0.75327	0.05	0	-1.60136	0.73418
AAB50 AAA50	-0.58594	0.29461	2.81272	0.49036	0.05	0	-1.75371	0.58183
AAB50 AAB30	-0.49219	0.29461	2.36268	0.65145	0.05	0	-1.65996	0.67558
AAP30 AAR	0.35156	0.29461	1.68763	0.877	0.05	0	-0.81621	1.51933
AAP30 AAA30	2.60156	0.29461	12.48845	5.36E-04	0.05	1	1.43379	3.76933
AAP30 AAA50	2.44922	0.29461	1.18E+01	7.86E-04	0.05	1	1.28145	3.61699
AAP30 AAB30	2.54297	0.29461	1.22E+01	6.20E-04	0.05	1	1.3752	3.71074
AAP30 AAB50	3.03516	0.29461	1.46E+01	1.98E-04	0.05	1	1.86739	4.20293
AAP50 AAR	-0.23438	0.29461	1.12509	0.97801	0.05	0	-1.40215	0.93339
AAP50 AAA30	2.01562	0.29461	9.67573	0.00262	0.05	1	0.84785	3.18339
AAP50 AAA50	1.86328	0.29461	8.94443	0.00418	0.05	1	0.69551	3.03105
AAP50 AAB30	1.95703	0.29461	9.39446	0.00312	0.05	1	0.78926	3.1248
AAP50 AAB50	2.44922	0.29461	11.75714	7.86E-04	0.05	1	1.28145	3.61699
AAP50 AAP30	-0.58594	0.29461	2.81272	0.49036	0.05	0	-1.75371	0.58183

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PRISMAS

Tabela Resumo

	Sample Size	Mean	Standard Deviation	SE of Mean
AAR	3	6.23782	1.71329	0.98917
AAA30	3	3.36257	0.1462	0.08441
AAA50	3	4.82456	2.19298	1.26612
AAB30	3	3.50877	0.2924	0.16882
AAB50	3	4.53216	0.1462	0.08441
AAP30	3	4.19103	0.67526	0.38986
AAP50	3	6.82261	0.33763	0.19493

Tabela ANOVA

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	6	30.99855	5.16642	4.28354	0.01171
Error	14	16.88554	1.20611		
Total	20	47.88409			

Tabela teste Tukey

	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
AAA30 AAR	-2.87524	0.8967	4.53E+00	0.07217	0.05	0	-5.93711	0.18662
AAA50 AAR	-1.41326	0.8967	2.22889	0.69836	0.05	0	-4.47512	1.64861
AAA50 AAA30	1.46199	0.8967	2.30574	0.66722	0.05	0	-1.59987	4.52385
AAB30 AAR	-2.72904	0.8967	4.30406	0.09564	0.05	0	-5.79091	0.33282
AAB30 AAA30	0.1462	0.8967	0.23057	1	0.05	0	-2.91566	3.20806
AAB30 AAA50	-1.31579	0.8967	2.07517	7.58E-01	0.05	0	-4.37765	1.74607
AAB50 AAR	-1.70565	0.8967	2.69003	0.50958	0.05	0	-4.76752	1.35621
AAB50 AAA30	1.16959	0.8967	1.8446	0.83925	0.05	0	-1.89227	4.23145
AAB50 AAA50	-0.2924	0.8967	0.46115	0.99986	0.05	0	-3.35426	2.76946
AAB50 AAB30	1.02339	0.8967	1.61402	0.90438	0.05	0	-2.03847	4.08525
AAP30 AAR	-2.04678	0.8967	3.22804	3.16E-01	0.05	0	-5.10865	1.01508
AAP30 AAA30	0.82846	0.8967	1.31E+00	9.62E-01	0.05	0	-2.2334	3.89032
AAP30 AAA50	-0.63353	0.8967	9.99E-01	9.90E-01	0.05	0	-3.69539	2.42833
AAP30 AAB30	0.68226	0.8967	1.08E+00	9.85E-01	0.05	0	-2.3796	3.74412
AAP30 AAB50	-0.34113	0.8967	0.53801	0.99967	0.05	0	-3.40299	2.72073
AAP50 AAR	0.5848	0.8967	0.9223	0.99337	0.05	0	-2.47707	3.64666
AAP50 AAA30	3.46004	0.8967	5.45693	0.02245	0.05	1	0.39818	6.5219
AAP50 AAA50	1.99805	0.8967	3.15118	0.34035	0.05	0	-1.06381	5.05991
AAP50 AAB30	3.31384	0.8967	5.22635	3.02E-02	0.05	1	0.25198	6.3757
AAP50 AAB50	2.29045	0.8967	3.61233	0.21222	0.05	0	-0.77141	5.35231
AAP50 AAP30	2.63158	0.8967	4.15034	0.11497	0.05	0	-0.43028	5.69344