



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

Mohara Alves de Medeiros

**BLOCOS EVA DE VEDAÇÃO: COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE ASPECTOS
FÍSICOS, MECÂNICOS E TÉRMICOS**

João Pessoa - PB

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

Mohara Alves de Medeiros;

**BLOCOS EVA DE VEDAÇÃO: COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE ASPECTOS
FÍSICOS, MECÂNICOS E TÉRMICOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (Área: Estruturas e Materiais) da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

João Pessoa - PB

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M488b Medeiros, Mohara Alves de.

Blocos EVA de Vedação: Compatibilização Entre Aspectos Físicos, Mecânicos e Térmicos / Mohara Alves de Medeiros. - João Pessoa, 2018.

134 f.

Orientação: Aluísio Braz de Melo.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Bloco EVAi, choque térmico, aderência de argamassa.
I. Melo, Aluísio Braz de. II. Título.

UFPB/BC

***“BLOCOS EVA DE VEDAÇÃO: COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE ASPECTOS
FÍSICOS, MECÂNICOS E TÉRMICOS”***

MOHARA ALVES DE MEDEIROS

Dissertação aprovada em 20 de julho de 2018

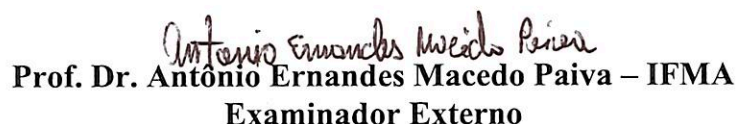
Período Letivo: 2018.1



**Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo – UFPB
Orientador**



**Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa – UFPB
Examinador Interno**



**Prof. Dr. Antônio Ernandes Macedo Paiva – IFMA
Examinador Externo**

**João Pessoa/PB
2018**

...”ciência, em lugar de empirismo; harmonia, em vez de discórdia; cooperação, não individualismo; rendimento máximo, em lugar de produção reduzida; desenvolvimento de cada homem, no sentido de alcançar maior eficiência e prosperidade”.

(F. W. TAYLOR)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por iluminar meu caminho permitindo alcançar meus objetivos;

A Renan Vieira Freire, pelo amor, carinho e apoio integral e incondicional em todos os momentos difíceis, transmitindo otimismo e segurança;

À minha família que torceu, mesmo de longe, pela concretização deste sonho;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo, pelos ensinamentos acadêmicos e profissionais, e pelo acolhimento, apoio e orientação;

Ao laboratório de ensaios em materiais e estruturas (LABEME), da Universidade Federal da Paraíba, por possibilitar a execução da etapa prática do estudo.

Aos funcionários e amigos do LABEME, por todo auxílio durante os experimentos. Em especial à Sebastião, Claudio, Ricardo, Delby e Beto.

Ao técnico do Laboratório de Saneamento, Elson, que me permitiu utilizar os freezers do laboratório e me ajudou inúmeras vezes.

À indústria calçadista que forneceu os resíduos de EVA, essenciais para a realização deste trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba pelas contribuições realizadas através de suas disciplinas;

À equipe TECMAT, pelo apoio e por todas as ideias e sugestões feitas em nossas reuniões.

Enfim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

RESUMO

O Etileno Acetato de Vinila (EVA) é um polímero termofixo e não biodegradável muito utilizado na indústria calçadista, sendo cerca de 20% desse material transformado em resíduos, durante a produção de solas e entressolas. Diversas pesquisas visando a reciclagem desses resíduos de EVA têm apontado possibilidades de elaborações de compósitos de concreto leve com variadas aplicações na edificação. Neste contexto, o presente estudo, objetiva avaliar a compatibilidade entre aspectos físicos, mecânicos e térmicos da alvenaria de vedação composta por blocos EVA, destacando a questão da aderência entre a argamassa de revestimento e os componentes. Procura-se investigar a necessidade da camada de chapisco no sistema de revestimento aplicado sobre componentes cimentícios (Blocos EVAi), que tem elevado teor de EVA (80%) e, por isso, tem sua superfície bastante rugosa. O estudo se estruturou em três etapas experimentais: escolha adequada do resíduo/agregado de EVA; caracterização/compatibilidade das propriedades físicas e mecânicas dos Blocos EVAi e das argamassas de assentamento/revestimento; e avaliação de desempenho mecânico e térmico da alvenaria de vedação com e sem chapisco na execução do revestimento. Com base nos resultados, pode-se concluir que: o processo de beneficiamento dos resíduos/agregados de EVA para produzir os Blocos EVAi favoreceu a compatibilidade entre a maior massa unitária do agregado de EVA ($278,60 \text{ kg/m}^3$) e os valores de absorção de água (12%) e de resistência à compressão ($1,45 \text{ MPa}$) dos blocos, dentro dos requisitos propostos na literatura; as paredes com Blocos EVAi apresentaram boa aderência entre a argamassa de revestimento e o substrato, apenas no sistema com chapisco; e as avaliações térmicas (fluxo de calor e choque térmico) realizadas nas paredes não causaram prejuízos nem na aderência da argamassa de revestimento ao substrato, nem na resistência à compressão das paredes ($1,51 \text{ MPa}$). Desse modo, ficou demonstrada a compatibilidade entre os aspectos físicos, térmicos e mecânicos do sistema de vedação com Blocos EVAi e confirmada a necessidade de aplicação da camada de chapisco na execução do revestimento no caso avaliado.

Palavras-chave: Bloco EVAi, choque térmico, aderência de argamassa, resistência à compressão.

ABSTRACT

Ethylene Vinyl Acetate (EVA) is a thermoset and non-biodegradable polymer widely used in the footwear industry, wherein about 20% of this material becomes waste during the production of soles and midsole. Several researches aiming at recycling of these EVA waste have pointed out possibilities of elaborations of lightweight concrete composites with varied applications in buildings. In this context, the purpose of the present study is to evaluate the compatibility between physical, mechanical and thermal aspects of masonry of EVA blocks, highlighting the adhesion between the coating mortar and the components. This work investigates the need for a layer of roughcasts in the coating system applied to cementitious components (EVAi Blocks), which has a high EVA content (80%) and therefore has a rather rough surface. The study was structured in three experimental stages: adequate choice of EVA residue/aggregate; characterization/compatibility of the physical and mechanical properties of EVAi Blocks and laying/coating mortars; and evaluation of the mechanical and thermal performance of masonry with and without roughcast in the execution of the coating. Based on the results, it can be concluded that: the process of beneficiation of the EVA residues/aggregates to produce the EVAi Blocks favored the compatibility between the largest unit mass of the EVA aggregate (278.60 kg/m^3) and the values of water absorption (12%) and compressive strength (1.45 MPa) of the blocks within the requirements proposed in the literature; the walls with EVAi Blocks presented satisfactory adhesion between the coating mortar and the substrate only in the system with roughcast; and the thermal evaluations (heat flow and thermal shock) performed on the walls did not cause damage to the adhesion of the coating mortar to the substrate or to the compressive strength of the walls (1.51 MPa). Thus, it was demonstrated the compatibility between the physical, thermal and mechanical aspects of the system of sealing with EVAi Blocks and confirmed the necessity to apply the roughcast layer in the execution of the coating in the evaluated case.

keywords: Block EVAi, thermal shock, mortar adhesion, compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhes do resíduo EVA.....	23
Figura 2 - Detalhe do tritramento do resíduo de EVA na indústria de calçados..	24
Figura 3 - Resíduos da indústria de calçados estocados em galpão	25
Figura 4 - Componentes produzidos com resíduos de EVA	26
Figura 5 - Geometria do Bloco EVAi	47
Figura 6 - Fluxograma esquemático dos procedimentos metodológicos	48
Figura 7 - Resíduo de EVA na forma de aparas e moinho utilizado para tritura-lo	50
Figura 8 - Tipos de tratamentos térmicos dos resíduos de EVA	51
Figura 9 - Resíduo de EVA de alta concentração, moído e ensacado.....	51
Figura 10 - Betoneira utilizada na produção dos Blocos EVAi	54
Figura 11 - Teste de mão realizado durante a produção do Bloco EVAi	55
Figura 12 - Vibro-prensa utilizada para moldar os Blocos EVAi.....	55
Figura 13 - Molde do Bloco EVAi	56
Figura 14 - Blocos EVAi logo após moldagem	56
Figura 15 - Processo de cura dos Blocos EVAi.....	57
Figura 16 - Figura - Bloco EVAi após cura e seco ao ar.	57
Figura 17 - Ensaio de resistência à compressão dos Blocos EVAi.....	58
Figura 18 - Misturador utilizado no preparo das argamassas	61
Figura 19 - Espalhamento da argamassa	61
Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova prismáticos de argamassa.....	62
Figura 21 - Ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas	62
Figura 22 - Ensaio de resistência à compressão das argamassas	63

Figura 23 - Bloco EVAi serrado ao meio	64
Figura 24 - Parede de Bloco EVAi após assentamento	65
Figura 25 - Parede de Bloco EVAi após aplicação do chapisco em duas paredes	65
Figura 26 - Parede de Bloco EVAi após aplicação do revestimento	66
Figura 27 - Parede de Bloco EVAi após pintura	67
Figura 28 - Câmara térmica.....	68
Figura 29 - Parede de Bloco EVAi isolada com isopor e instrumentada.....	69
Figura 30 - Fonte de calor utilizada na câmara térmica	69
Figura 31 - Desenho esquemático da localização das câmaras e do patamar.....	71
Figura 32 - Localização da câmara de choque térmico abaixo do patamar	71
Figura 33 - Detalhes das portas da câmara de choque térmico.....	72
Figura 34 - Desenho esquemático em planta baixa da câmara de choque térmico	72
Figura 35 - Painel radiante posicionado na câmara de choque térmico	74
Figura 36 – Sistema usado no resfriamento da água.....	74
Figura 37 - Desenho esquemático do posicionamento das amostras na câmara de choque térmico	75
Figura 38 – Desenho esquemático com o posicionamento dos termopares na superfície da parede, no lado exposto à ação direta do calor e choque térmico ...	76
Figura 39 – Imagem da parede instrumentada com cinco termopares tipo T, no lado exposto à ação direta do calor e choque térmico	77
Figura 40 – Imagem do Defletômetro posicionado no ponto central da parede, no lado oposto à ação direta do calor e choque térmico.....	77
Figura 41 - Dinamômetro de tração eletrônico	79
Figura 42 - Preparação da parede para ensaio de resistência de aderência.....	79

Figura 43 - Realização do ensaio de resistência de aderência da argamassa	80
Figura 44 - Paredes (com chapisco, com e sem choque térmico) após o ensaio de arrancamento das pastilhas	80
Figura 45 - Paredes (sem chapisco, com e sem choque térmico) após o ensaio de arrancamento das pastilhas	81
Figura 46 - Formas de ruptura para um sistema de revestimento sem chapisco .	82
Figura 47 - Formas de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco .	82
Figura 48 - Prensa utilizada no ensaio de resistência à compressão de paredes	83
Figura 49 - Detalhe do defletômetro utilizado e sua instalação.....	85
Figura 50 - Curva granulométrica da areia utilizada.....	87
Figura 51 - Curva granulométrica dos agregados de EVA.....	88
Figura 52 - Bloco EVAi após rompimento à compressão	92
Figura 53 - Variação de temperatura média durante ensaio em câmara térmica .	97
Figura 54 - Temperaturas nos 10 ciclos de choque térmico das paredes.....	99
Figura 55 - Parede $C_C C_{CT}$: antes e depois do ensaio de choque térmico	101
Figura 56 - Parede $S_C C_{CT}$: antes e depois do ensaio de choque térmico	102
Figura 57 - Pastilhas após arrancamento (paredes com chapisco)	105
Figura 58 - Pastilhas após arrancamento (paredes sem chapisco)	106
Figura 59 - Resultados do encurtamento da Parede $C_C C_{CT}$ e Parede $C_C S_{CT}$	108
Figura 60 - Comparação entre os encurtamentos das paredes obtidos no estudo atual ($C_C C_{CT}$ e $C_C S_{CT}$) e em estudos anteriores (outros autores)	109
Figura 61 - Parede com Bloco EVAi após ensaio de resistência à compressão.	110
Figura 62 - Modo de ruptura da parede de Bloco EVAi.....	110
Figura 63 - Resultado do encurtamento da Parede $S_C S_{CT}$	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesquisas realizadas com blocos de concreto leve com resíduo EVA	33
Tabela 2 - Resistência à compressão mínima de acordo com as normas	35
Tabela 3 - Valores estimados da eficiência parede-bloco	36
Tabela 4 - Resumo dos estudos com paredes de bloco de EVA	38
Tabela 5 - Principais propriedades da argamassa de revestimento	41
Tabela 6 - Resultados apresentados por Scartezini e Carasek (2003)	42
Tabela 7 - Resultados apresentados por Kazmierczak et al. (2007)	43
Tabela 8 - Resultados apresentados por Paes et al. (2005)	44
Tabela 9 - Ensaio de caracterização da areia e suas respectivas normas	49
Tabela 10 - Ensaio de caracterização do EVA e suas respectivas normas	52
Tabela 11 - Critério de Chauvenet de rejeição de dados	59
Tabela 12 - Propriedades físicas da areia utilizada	86
Tabela 13 - Composição granulométrica da areia utilizada	86
Tabela 14 - Propriedades físicas dos agregados de EVA	88
Tabela 15 - Massas unitárias dos Blocos EVAi	90
Tabela 16 - Resultados da resistência à compressão dos Blocos EVAi	91
Tabela 17 - Resultados do índice de consistência das argamassas	93
Tabela 19 - Resultados da resistência à compressão das argamassas	95
Tabela 20 - Relação entre as resistências à compressão da argamassa e do Bloco EVAi	96
Tabela 21 - Temperatura média global nos ambientes e nas faces das paredes .	98
Tabela 22 - Diferenças médias dos deslocamentos nos choques térmicos	100

Tabela 23 - Resistência de aderência à tração nas paredes com chapisco.....	103
Tabela 24 - Resistência de aderência à tração nas paredes sem chapisco.....	103
Tabela 25 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra)	103
Tabela 26 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão das paredes	106
Tabela 27 - Eficiência média das paredes de Bloco EVAi	107
Tabela 28 - Comparação entre os estudos com paredes de bloco de EVA	107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Generalidades.....	18
1.2	Justificativa.....	19
1.3	Objetivos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	O EVA (Etileno Acetato de Vinila).....	22
2.1.1	A geração do resíduo de EVA	23
2.1.2	Reciclagem do resíduo de EVA na construção civil	25
2.2	Concreto leve	26
2.2.1	Classificação dos concretos leves	27
2.2.2	Concreto com agregados leves	28
2.2.3	Concreto leve com agregado de EVA	30
2.3	Alvenaria	34
2.3.1	Blocos	34
2.3.2	Resistência à compressão da alvenaria	35
2.3.3	Transferência de calor na alvenaria	39
2.4	Argamassas	39
2.4.1	Argamassa de assentamento	40
2.4.2	Argamassa de revestimento	41
2.4.3	Aderência da argamassa de revestimento ao substrato	41
2.4.4	Ação do choque térmico na aderência da argamassa de revestimento.....	44

3	MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1	Generalidades	47
3.2	Caracterização dos materiais	49
3.2.1	Agregado miúdo (agregado natural)	49
3.2.2	Agregado de EVA (agregado artificial)	49
3.2.3	Cimento, Cal e Água de amassamento	53
3.3	Preparo, moldagem e cura dos Blocos EVAi	54
3.4	Caracterização do Bloco EVAi	58
3.4.1	Determinação da massa específica em estado fresco e seco ao ar dos Blocos EVAi	58
3.4.2	Determinação da absorção de água e da resistência à compressão dos Blocos EVAi	58
3.5	Definição do traço das argamassas de assentamento e revestimento ...	60
3.6	Caracterização das argamassas	60
3.6.1	Determinação do índice de consistência das argamassas	60
3.6.2	Determinação da resistência à tração na flexão e resistência à compressão das argamassas	62
3.7	Execução das paredes de Bloco EVAi	63
3.8	Caracterização das paredes com Bloco EVAi	68
3.8.1	Capacidade de retenção do fluxo de calor das paredes com Bloco EVAi	68
3.8.2	Ação do calor e choque térmico em parede com Blocos EVAi	70
3.8.3	Resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento em paredes com Blocos EVAi	78
3.8.4	Resistência à compressão e encurtamento das paredes com Blocos EVAi	83

4	Análise de discussão dos resultados	86
4.1	Caracterização dos materiais	86
4.1.1	Agregado miúdo (agregado natural).....	86
4.1.2	Agregado de EVA (agregado artificial)	87
4.2	Caracterização do Bloco EVAi	90
4.2.1	Massa unitária em estado fresco e massa unitária seco ao ar.....	90
4.2.2	Absorção de água.....	90
4.2.3	Resistência à compressão dos Blocos EVAi	91
4.3	Seleção das argamassas de assentamento e revestimento	93
4.3.1	Índice de consistência das argamassas de assentamento e revestimento.....	93
4.3.2	Resistência à tração na flexão das argamassas de assentamento e revestimento.....	93
4.3.3	Resistência à compressão das argamassas de assentamento e revestimento.....	94
4.4	Avaliação da compatibilidade mecânica e térmica das paredes com Bloco EVAi	96
4.4.1	Capacidade de retenção do fluxo de calor das paredes com Bloco EVAi	96
4.4.2	Ação do calor e choque térmico em parede com Bloco EVAi	98
4.4.3	Resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento em paredes com Bloco EVAi	103
4.4.4	Resistência à compressão e encurtamentos das paredes com Blocos EVAi	106
5	CONCLUSÃO	113
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	115

REFERÊNCIAS.....	116
APÊNDICES.....	127
APÊNDICE A – TEMPERATURAS OBTIDAS NOS CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO DA PAREDE $C_C C_{CT}$.....	128
APÊNDICE B – TEMPERATURAS OBTIDAS NOS CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO DA PAREDE $S_C C_{CT}$	129
APÊNDICE C – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE $C_C C_{CT}$	130
APÊNDICE D – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE $C_C S_{CT}$.....	131
APÊNDICE E – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE $S_C C_{CT}$.....	132
APÊNDICE F – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE $S_C S_{CT}$.....	133
APÊNDICE G – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENCURTAMENTOS DA PAREDE $C_C S_{CT}$ E PAREDE $C_C C_{CT}$.....	134
APÊNDICE H – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENCURTAMENTOS DA PAREDE $S_C S_{CT}$.....	135

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

Atualmente, a destinação dos resíduos sólidos provenientes das indústrias é foco de preocupação da sociedade e principalmente das organizações ambientais, as quais responsabilizam e regulamentam o setor industrial de forma que, durante seus processos produtivos, as indústrias têm o dever de classificar, tratar e providenciar a disposição final adequada dos resíduos gerados.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída no Brasil por meio da Lei nº 12.305/2010, as empresas industriais geradoras de resíduos sólidos tem a responsabilidade de dar destinação adequada aos seus resíduos produzidos (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, o aproveitamento dos resíduos na fabricação de novos produtos surge como uma possível solução para essa problemática, eliminando os impactos ambientais causados pela disposição inadequada dos resíduos, evitando um futuro esgotamento de matérias-primas e reduzindo os custos do armazenamento dos resíduos.

Segundo o Relatório Setorial de 2016 da ABICALÇADOS, o Nordeste atua como a principal região produtora de calçados do Brasil e em 2015 foi responsável por 58,5% do total produzido no país. Neste cenário destaca-se o estado da Paraíba, sendo o segundo estado de maior produção de calçados do país no ano de 2015, ficando atrás apenas do Ceará, chegando a fabricar 196,8 milhões de pares de calçados. As fábricas do Nordeste são predominantemente voltadas para a produção de calçados de plástico/borracha, material este que representa 46,6% da produção nacional.

Como resultado da elevada produção de calçado temos um volume significativo de resíduo gerado no Brasil e, conseqüentemente, no estado da Paraíba. Segundo Garlet (1998), a quantidade de resíduo gerado, normalmente, é em torno de 12% a 20% do consumo de EVA das fábricas de calçados. Apesar do resíduo de EVA poder ser reutilizado, essa opção não é economicamente

vantajosa para as indústrias de calçados, pois EVA bruto é um material de baixo preço, e a incorporação do resíduo na produção de novos calçados reduz a qualidade do produto final, que só é otimizado com a incorporação de aditivos no resíduo que resultam no aumento dos custos de produção.

Neste cenário, temos a construção civil que é um setor capaz de absorver diversos resíduos e ainda se beneficiar com a melhoria das características dos seus produtos. No caso do resíduo de EVA, sua utilização na construção civil se dá principalmente na produção de compósitos de concreto leve, e vem sendo fonte de inúmeros estudos científicos ao longo dos anos.

1.2 Justificativa

No âmbito da reciclagem de resíduo de EVA e do processo de construção seca, Rocha (2008) desenvolveu um bloco com EVA (Bloco EVAi) na qual sua geometria e dimensões garantem o encaixe dos componentes por intertravamento e a modulação da alvenaria com o mínimo de corte dos elementos. Com o estudo, foi possível obter um componente de alvenaria de vedação com diversas vantagens, como: leveza (possibilitou uma maior dimensão dos blocos), rugosidade superficial (possibilidade de aumento da aderência do substrato com o revestimento), alta incorporação de EVA (80% em substituição ao agregado miúdo natural) e boa resistência à compressão (1,2 MPa).

Ademais, apesar dos interessantes resultados obtidos com o Bloco EVAi, ainda existem certas dificuldades identificadas nos trabalhos realizados, como por exemplo, a argamassa colante (assentamento) utilizada por Rocha (2008) na execução da parede pode não ter sido adequada na proporção relativa entre as resistências a compressão do bloco e da argamassa; e também o alto teor de EVA (80%) na dosagem utilizada nos blocos que resultou numa grande rugosidade superficial, levantando o questionamento se está elevada rugosidade poderia contribuir na aderência entre argamassa de revestimento e blocos, sem a necessidade de chapisco.

No aspecto de desempenho térmico do Bloco EVAi também há resultados a destacar. Tem-se em conta que o conforto térmico dos ambientes está relacionado principalmente com o tipo de alvenaria escolhida para as edificações, de acordo com o clima. A utilização de elementos inapropriados acarreta em problemas como excessiva perda ou ganho de calor, por isso, é importante identificar se as alvenarias compostas por blocos com resíduo de EVA contribuem para um bom desempenho térmico. A propósito, a avaliação de mini paredes simples e duplas com diversos materiais mostrou que alvenarias com Blocos EVAi, principalmente com o uso de 80% de resíduo, apresentam desempenho térmico apropriado, por exemplo, para o clima típico do litoral do Nordeste, ou seja, quente e úmido (GOMES, 2015). Contudo, no estudo de Gomes (2015) a resistência a compressão do Bloco EVAi (0,9 MPa) não atendeu aos requisitos propostos por Melo e Lima Filho (2009), ou seja, a resistência à compressão do Bloco EVAi, bem avaliado no aspecto de desempenho térmico, resultou em valor menor do que 1,2 MPa (valor definido como requisito). Portanto, Gomes (2015) não conseguiu reproduzir o resultado de resistência à compressão obtido por Rocha (2008), que já atendia aos requisitos propostos por Polari Filho (2005); Melo e Lima Filho (2009), o que implica na necessidade de buscar a compatibilidade entre as duas propriedades, mecânica e térmica.

Dentro do contexto apresentado, este trabalho pretende contribuir para ampliar a caracterização do comportamento do Bloco EVAi, visando responder algumas das questões elencadas. Espera-se que se confirme uma melhor compatibilização entre as propriedades físicas, mecânicas e térmicas do Bloco EVAi, de modo que se destaque o seu potencial de utilização nas alvenarias das edificações e principalmente possa-se determinar a necessidade de utilização ou não da camada de chapisco em paredes de Bloco EVAi.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral:

Avaliar a compatibilidade entre aspectos físicos, mecânicos e térmicos na proposta dos Blocos EVAi, com destaque para a sua aderência com a argamassa de revestimento em sistemas de alvenarias com e sem chapisco.

Objetivos Específicos:

- Desenvolver o processo de beneficiamento dos resíduos de EVA, visando a melhor adequação dos agregados leves na produção do pré-moldado em estudo;
- Atender os valores recomendados para resistência à compressão do bloco EVA e das argamassas de assentamento e revestimento, mantendo a proporção adequada entre os dois valores, de modo a obter melhor desempenho mecânico do sistema de alvenaria;
- Caracterizar o desempenho térmico da alvenaria executada com os blocos propostos, analisando o aspecto do fluxo de calor, e do choque térmico e suas influências no desempenho mecânico das alvenarias;
- Avaliar a necessidade de utilizar chapisco na execução do revestimento com argamassa cimentícia na parede com os Blocos EVAi, produzido com teor de EVA no compósito cimentício igual a 80%.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O EVA (Etileno Acetato de Vinila)

O Etileno Acetato de Vinila (EVA) é uma espécie de polímero microporoso considerado termofixo, ou seja, após ser moldado não possui a capacidade de reprocessamento e fusão, além de não ser biodegradável.

Segundo Garlet (1998), o EVA é obtido através da polimerização do Etileno com Acetato de Vinila e a estabilidade do processo é obtida devido à homogeneidade de concentração de Acetato de Vinila, o que resulta em um produto uniforme e de alta qualidade.

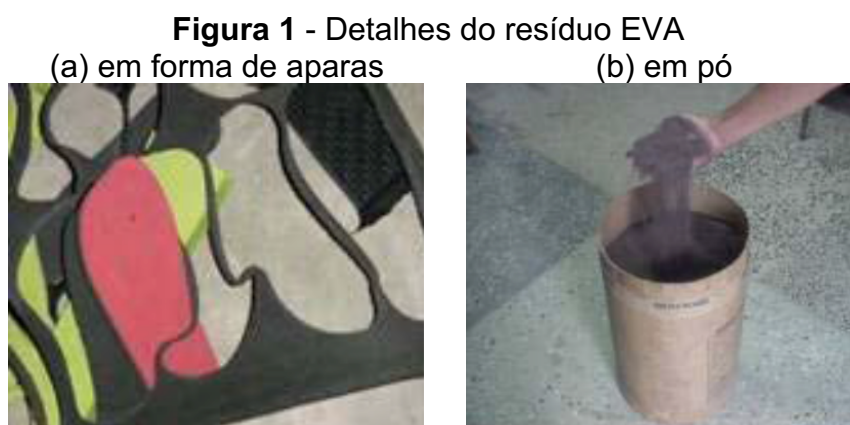
A quantidade de Acetato de Vinila é muito importante no processo de obtenção do EVA, pois define as características finais do material. Um baixo teor de acetato de Vinila (até 20%) tem-se o EVA de baixa concentração, ou EVA Soft, que se assemelha ao polietileno de baixa densidade. Por outro lado, uma maior quantidade de acetato de Vinila (20% a 50%) resulta no material classificado como EVA de alta concentração, que possui propriedades similares à borracha ou PVC plastificado (PREZOTTO, 1990 *apud* GARLET, 1998). De acordo com CTCCA (1993 *apud* GARLET, 1998), no Brasil, a indústria calçadista utiliza placas de EVA com concentração de Acetato de Vinila entre 19% e 28%.

As principais características do EVA, segundo Ribeiro (1995) e Triunfo (1994) *apud* Garlet (1998), são: flexibilidade, tenacidade, elasticidade similar à da borracha, resistência às quebras sob tensões ambientais, não-tóxico, baixo custo e pode ser facilmente moldado por extrusão, injeção ou filmagem (tubular).

As diversas possibilidades de processamento do EVA permitem sua utilização em diversas áreas. Entretanto, sua grande aplicação se dá na indústria calçadista, na qual chapas reticuladas e expandidas são utilizadas para a fabricação de solados, entressolas e palmilhas (PREZOTTO, 1990 e GARLET, 1998).

2.1.1 A geração do resíduo de EVA

Durante a sequência de fabricação do calçado são gerados dois tipos de resíduos de EVA. Primeiro tem-se os retalhos e aparas (Figura 1a) que surgem ao executar o corte da sola, entressola ou palmilha do calçado; o pó (Figura 1b) é o segundo tipo de resíduo, gerado no processo de acabamento do calçado no qual se faz o lixamento do solado (GARLET, 1998).



Fonte: Bezerra, 2002

Os resíduos são geralmente depositados em galpões, pátios ou ainda em áreas a céu aberto, como afirma Garlet (1998), resultando em impactos ambientais diversos, tais como: poluição visual, proliferação de insetos e roedores, e risco de combustão. Por ser um material termofixo, o resíduo não pode ser facilmente reutilizado para a produção de novas placas, além disso, não é biodegradável, colaborando para o aumento gradativo da quantidade de resíduo descartado.

Bezerra (2002) afirma em seu estudo que as sobras de placas expandidas são relativamente mais difíceis de processar do que o pó de EVA, porque sua reutilização requer certos cuidados adicionais, como: não usar recuperado de diferentes níveis de reticulação, pois irá gerar oscilação de qualidade nas placas expandidas; evitar retalhos que tenham excesso de silicone e eliminar todo o gás existente no material a ser recuperado.

A reciclagem de resíduos de placas expandidas ainda é um procedimento lento e a quantidade de resíduo que pode ser novamente incorporado ao processo

é limitada para que a qualidade do produto final não seja comprometida, reduzindo o reaproveitamento deste resíduo (BEZERRA, 2002).

Já existem fábricas calçadistas preocupadas em reutilizar o máximo possível de resíduo no processo de produção (em torno de 25% do produzido é feito com resíduo). Porém, a cor do resíduo é outro limitador para a sua reciclagem, pois o EVA de cor escura é o mais difícil de ser reutilizado, já que só pode ser reaproveitado na fabricação de solas da mesma cor, enquanto o EVA de cor branca pode ser reutilizado na produção de solas de diversas cores, pois a cor branca é base para qualquer cor, resultando em maiores quantidades de resíduo escuro não reutilizável.

Existe a necessidade de ser realizado o beneficiamento do resíduo de EVA antes de sua reutilização, sendo o processo composto por três etapas principais:

- Moagem em moinho Cilíndrico
- Adição de aditivos para baixar a viscosidade
- Trituramento ($D_{\text{máx}} = 12,5 \text{ mm}$), Figura 2

Figura 2 - Detalhe do tritramento do resíduo de EVA na indústria de calçados



Fonte: Autoria própria

Em relação ao armazenamento dos resíduos de EVA, algumas fábricas estão atentas a minimizar o volume de material em seus galpões, moendo, ensacando e armazenando de forma organizada com o objetivo de diminuir a necessidade de grandes áreas de disposição, e de facilitar a reutilização no processo de produção de calçados, contrastando com a realidade das fábricas no passado, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Resíduos da indústria de calçados estocados em galpão
(a) 2002 (b) 2017



Fonte (a): Bezerra, 2002
Fonte (b): Autoria própria

Além de reaproveitar o resíduo na própria fábrica, outra alternativa encontrada pelas indústrias de calçados, segundo Bezerra (2002), é a negociação dos resíduos junto às indústrias cimenteiras, na qual, as mesmas aproveitam o potencial combustível dos resíduos e os aplicam como alimentação de fornos rotativos durante o processo de fabricação do clínquer. Entretanto, este processo pode aumentar o teor de sulfato do cimento que resulta na deterioração dos concretos estruturais.

Portanto, com o propósito de dar uma destinação final aos resíduos da indústria de calçados de forma adequada, segura e com menores custos, é importante que sejam estudadas e desenvolvidas outras maneiras de reciclagem dos resíduos, principalmente das sobras e retalhos de placas expandidas na cor escura, devido ao seu maior volume e menor possibilidade de reutilização nas próprias fábricas.

2.1.2 Reciclagem do resíduo de EVA na construção civil

Como alternativa para a reciclagem do EVA, tem-se a sua aplicação em diversos setores da indústria, inclusive na construção civil, devido a sua facilidade de incorporação de variados tipos de resíduos industriais.

Segundo Polari Filho, Melo e Barbosa (2003), o EVA apresenta reduzida massa específica, características acústicas e térmicas satisfatórias; é estável,

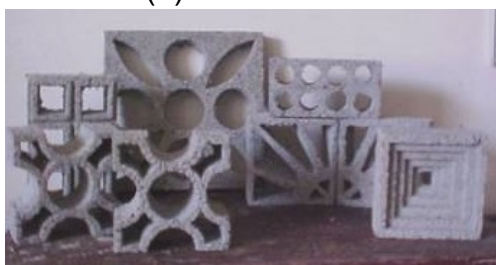
inerte e não possui predisposição à proliferação de fungos. Essas características podem otimizar certas propriedades do concreto com incorporação de resíduo de EVA. Entretanto, pesquisas mostram que o aumento de resíduo no concreto pode ocasionar a redução da resistência à compressão.

As características do EVA evidenciam o potencial elevado desse resíduo industrial e a possibilidade da sua utilização na construção civil, principalmente para a fabricação de componentes pré-moldados sem função estrutural.

Na Figura 4 são apresentados exemplos de diversos componentes produzidos com resíduos de EVA, tanto componentes decorativos quanto componentes construtivos.

Figura 4 - Componentes produzidos com resíduos de EVA

(a) Decorativos



(b) Blocos de vedação



Fonte (a): Polari Filho, 2005

Fonte (b): Bezerra, 2002

2.2 Concreto leve

O concreto leve, como o nome já indica, pode ser descrito como o tipo de concreto que possui a sua massa menor do que a do concreto tradicional.

Mehta e Monteiro (1994 *apud* ROCHA, 2008), classificam os concretos em três categorias de acordo com a sua massa específica. O termo concreto leve é usado para os concretos que possuem massa específica menor que 1800 kg/m^3 . Os concretos normais ou correntes possuem massa específica de aproximadamente 2400 kg/m^3 e são geralmente utilizados em peças estruturais. Por fim, os concretos pesados apresentam massa específica a partir de 3200 kg/m^3 e são usados em casos especiais, como no isolamento contra radiação.

O concreto leve vem sendo bastante utilizado na construção civil, devido às suas diversas vantagens, tais como: trabalhabilidade, redução da zona de transição entre o agregado e a matriz de cimento, alívio na carga das fundações e da estrutura, redução no consumo de fôrmas, aumento da produtividade e redução da condutividade térmica (ROCHA, 2008; ANGELIN, 2014). Porém, o concreto leve apresenta certas limitações quanto a sua utilização, pois quando comparado ao concreto convencional apresenta baixa resistência mecânica, grande absorção de água e alto consumo de cimento, tornando-o mais oneroso (ROCHA, 2008; LIMA FILHO, 2008).

2.2.1 Classificação dos concretos leves

Os concretos leves podem ser classificados em três tipos. Maycá *et al.* (2008 *apud* ANGELIN, 2014) os definem da seguinte forma:

- Concreto com agregados leves: é obtido pela substituição total ou parcial dos agregados convencionais por agregados leves (agregado oco, celular ou poroso). Este tipo de concreto leve é o único que pode atingir resistências aceitáveis para fins estruturais;
- Concreto celular ou aerado: resulta da ação de produtos acrescentados à pasta do concreto que reagem produzindo bolhas de ar, criando assim, pequenas áreas vazias no interior do concreto;
- Concreto sem finos: é produzido apenas com aglomerante e agregado graúdo, por isso sua resistência depende principalmente da resistência do agregado e do consumo de cimento.

Cañas *et al.* (1988 *apud* Rocha, 2008) classificam os concretos leves em relação à sua densidade, em que os concretos leves estruturais são aqueles com densidade compreendida entre 1400 kg/m^3 e 1800 kg/m^3 , e os concretos leves para enchimento e isolamento (térmico ou acústico) são aqueles que possuem densidade entre 1000 kg/m^3 e 1400 kg/m^3 .

2.2.2 Concreto com agregados leves

O concreto com agregado leve, cuja massa específica está entre 300 e 1800 kg/m³ e resistência à compressão entre 0,3 e 70 MPa, é aquele produzido com agregados ocos, celulares ou porosos (NEVILLE, 1997 *apud* ROCHA, 2008).

Os agregados leves podem ser divididos em dois tipos de acordo com o modo de obtenção: agregados leves naturais e agregados leves industrializados.

Os agregados leves naturais são, na sua maioria, de origem vulcânica como por exemplo: diatomita, pedra pomes, escória, cinzas vulcânicas e tufos. Esses agregados não são muito utilizados devido à dificuldade em obtê-los, pois são encontrados apenas em poucos locais do mundo (NEVILLE, 1997 *apud* LIMA FILHO, 2008; POLARI FILHO, 2005).

Agregados leves industrializados são os que passam por alguma transformação industrial que resulta na sua expansão e redução da massa específica aparente. Este tipo de agregado pode ser produzido a partir de materiais naturais (argila, vermiculita, perlita, ardósia expandidas) ou a partir de subprodutos industriais (cinza volante e escória de alto forno) (POLARI FILHO, 2005). Além disso, por serem obtidos por processos industriais padronizados, estes agregados são, geralmente, mais uniformes do que os agregados naturais. Os processos mais utilizados para sua produção são: sinterização e forno rotativo. (NEVILLE, 1997 *apud* LIMA FILHO, 2008; GOMES NETO, 1998 *apud* ROSSIGNOLO, 2009).

Uma das características principais dos agregados leves é a sua absorção de água, pois representa grande influência na fase de mistura dos materiais. A elevada absorção de água pelo agregado leve (de 10% a 20%) e a contínua absorção por vários dias dificultam a prévia determinação da quantidade de água de amassamento que será absorvida pelo agregado e do montante de água que estará disponível para hidratação do cimento, podendo afetar diretamente a resistência mecânica do concreto leve (NEVILLE, 1997 e MEHTA E MONTEIRO, 1994 *apud* LIMA FILHO, 2008). Porém, a absorção de água pelo agregado leve também traz consequências benéficas, como a ocorrência do processo de cura

úmida interna e uma melhora na aderência entre o agregado leve e a pasta hidratada de cimento (NEVILLE, 1997 *apud* LIMA FILHO, 2008).

A cura úmida interna ocorre quando a hidratação do cimento reduz a umidade dos poros capilares na pasta de cimento endurecida, conseqüentemente, a água do interior do agregado leve migra para os poros capilares e intensifica a hidratação do cimento, tornando a cura do concreto mais adequada (NEVILLE, 1997 *apud* POLARI FILHO, 2005).

De acordo com Neville (1997 *apud* POLARI FILHO, 2005), a elevada aderência entre o agregado e a pasta hidratada de cimento ocorre por três fatores:

- Alta absorção do agregado: uma parte da pasta entra nos poros e forma um intertravamento mecânico.
- Pequena diferença entre os módulos de elasticidade do agregado e da pasta: são geradas baixas tensões diferenciais entre o agregado e a pasta.
- Cura úmida interna: a disponibilidade adicional de água para hidratar o cimento ocorre na zona de transição.

Segundo Garlet (1998), muitos dos concretos com agregados leves apresentam baixa trabalhabilidade devido às características dos agregados leves como: baixa massa específica, aspereza da superfície e arestas agudas. A velocidade de absorção da água de amassamento pelo agregado leve também é um fator importante, pois influencia na velocidade da perda de abatimento do concreto leve (NEVILLE, 1997 *apud* LIMA FILHO, 2008).

Em relação ao agregado de EVA, uma característica muito importante é a densidade, pois ao se elevar a densidade do EVA, diminui-se a absorção de água do mesmo e, dessa forma, diminui-se a absorção de água do bloco de concreto com agregado de EVA. Ao diminuir a absorção de água do EVA, diminui-se também a quantidade de água necessária no traço do bloco, aumentando-se assim a sua resistência à compressão.

Com o intuito de aumentar a densidade do EVA foi desenvolvido um procedimento, realizado inicialmente por Garlet (1998), e posteriormente por

Bezerra (2002), que consiste em manter o agregado de EVA em um recipiente com água a 100 °C durante 30 minutos. Neste procedimento, ocorre a eliminação dos gases expansivos que são responsáveis pelas bolhas de ar no interior do agregado de EVA, ocorrendo assim a retração das partículas e tornando-as mais densas.

2.2.3 Concreto leve com agregado de EVA

O concreto leve com agregado de EVA ou concreto de EVA é o concreto que utiliza na sua composição resíduos de EVA proveniente da indústria de calçados como agregado leve industrializado (POLARI FILHO, 2005).

Nos estudos realizados por Garlet (1998), demonstrou-se o potencial de aproveitamento do resíduo de EVA e as vantagens na construção civil. Apesar dos ensaios de resistência à compressão de blocos produzidos com resíduo de EVA resultarem em valores reduzidos, em média 0,81 MPa, outros aspectos vantajosos estimularam o prosseguimento dos estudos, como: leveza, resistência à impacto, bom isolamento acústico, invariabilidade das medidas e superfície bem-acabada.

Dando continuidade aos estudos de Garlet (1998), Bezerra (2002) utilizou o resíduo de EVA na fabricação de blocos pré-moldados para alvenaria de vedação, ou não estrutural. Utilizando traço 1:3, Bezerra variou a granulometria do agregado de EVA e a quantidade de incorporação do resíduo entre 40% a 100% (em volume) em busca de resultados que demonstrassem qual o teor ótimo de resíduo a ser utilizado, cujo resultado foi de 60% (quando não se faz tratamento térmico) e 70% (quando se faz tratamento térmico). No estudo, atingiu-se 2,5 MPa de resistência à compressão e 7% de absorção de água para compósitos que utilizaram 70% de agregado de EVA previamente submetido à tratamento térmico; já com 60% de agregado de EVA sem tratamento térmico, obteve-se 1,6 MPa e 9% de absorção, demonstrando a viabilidade de produção de blocos com EVA.

Na pesquisa realizada por Pimentel (2005), apresentou-se o Bloco EVANG com nova geometria e dimensões de 59,0 x 26,5 x 11,5 cm. Para a confecção dos blocos utilizou-se o traço 1:3 e as porcentagens de 60%, 70% e 80% (em volume)

de resíduo de EVA ($D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$), obtendo, no ensaio de resistência à compressão, a média de 1,66 MPa, 1,27 MPa e 0,92 MPa, e, na verificação da absorção de água dos blocos, os valores de 10,24%, 11,35% e 14,52%, para as respectivas porcentagens.

O trabalho desenvolvido por Polari Filho (2005) foi de grande importância, pois determinou um parâmetro mínimo para a resistência à compressão de blocos produzidos com resíduo de EVA, sendo o valor mínimo de 1,2 MPa, corroborando com o valor previamente apresentado por Bezerra (2002). O estudo avaliou a resistência à compressão de blocos de EVA (dimensões 39 x 19 x 9 cm) variando a dosagem dos materiais e a porcentagem de resíduo. Para os blocos com traço 1:3 e porcentagem de resíduo igual a 60%, 70% e 80% (em volume), atingiu-se a resistência à compressão de 3,28 MPa, 2,18 MPa e 1,29 MPa, respectivamente. No bloco com traço 1:5 e 60% de resíduo de EVA (em volume) obteve-se a resistência de 1,32 MPa.

No trabalho realizado por Rocha (2008), o resíduo de EVA foi utilizado para a fabricação de blocos leves de vedação pré-moldados para construção seca. Nos seus estudos, o autor propôs uma nova geometria ao bloco, com dimensões que o tornaram maior e possibilitou também o encaixe entre as peças, sendo o mesmo nomeado Bloco EVAi. Como resultado, obteve-se um pré-moldado de fácil manuseio, leve, com possibilidade de corte dos elementos de forma simples e sem perdas, contemplando a técnica construtiva modular e possibilitando a redução dos gastos, dos desperdícios e da geração de resíduos da construção. Com a pesquisa, obteve-se 1,19 MPa de resistência à compressão para os blocos produzidos com 80% de EVA (em volume), relação água/cimento de 0,50 e traço 1:5 (cimento: agregados, em volume), demonstrando que, apesar da elevada incorporação de resíduo, é possível atingir bons resultados.

Rocha *et al.* (2013) aprofundaram as análises associando o desempenho mecânico dos Blocos EVAi e das paredes com Blocos EVAi com o desempenho térmico dos mesmos, comparando-os com outros materiais analisados em outros estudos. Segundo Rocha *et al.* (2013): “[...]. *Em relação à transmitância térmica (U), o bloco EVAi (80% EVA, em volume) apresentou o menor valor (2,55 W/m².K),*

ou seja, o menor fluxo de calor [...]. Com respeito ao atraso térmico, o bloco EVAi (80% EVA, em volume) apresentou maior valor (4,11 horas) [...].”

Khamput *et al.* (2014), buscando melhorar as propriedades do bloco de EVA, adicionaram látex vulcanizado, em diversas proporções, à mistura com traço em massa 1:0,5:4:1,6 (cimento: EVA $D_{máx}$ = 4,75 mm: pó de pedra: água), podendo-se observar que o EVA está em baixa quantidade na mistura. O estudo afirma que a proporção ideal de látex vulcanizado é de 0,15 (em peso de cimento), tendo como resultado a resistência à compressão igual a 2,52 MPa. A partir do estudo conclui-se que a incorporação do látex vulcanizado ao bloco de EVA reduz a absorção de água, a condutividade térmica e melhora a absorção sonora.








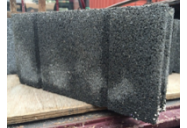
Dando continuidade à análise do desempenho térmico do Bloco EVAi desenvolvido por Rocha (2008), Gomes (2015) comparou o comportamento de sistemas de alvenarias com diversas configurações (simples e duplas) e construídas com tijolos cerâmicos, blocos de concreto e blocos de EVA, com incorporação de 60% e de 80% de resíduo (em volume). O estudo realizado comprovou que quanto maior a proporção de resíduo de EVA menor é a condutividade térmica do material e, portanto, menor o fluxo de calor.

Raongjanta *et al.* (2017), desenvolveram um bloco de EVA contendo cinco dispostos verticalmente. O EVA ($D_{máx}$ = 4 mm) foi utilizado em substituição parcial ao agregado miúdo, nas proporções: 100 g, 150 g e 200 g. A composição do bloco foi de 600 g de cimento, 2600 g de agregados (areia + EVA) e 450 g de água. Com os ensaios de resistência à compressão, obteve-se 2,1 MPa para o bloco com 100 g de EVA; 1,48 MPa para o bloco com 150 g e 1,52 MPa para o bloco com 200 g. Buscando avaliar a praticabilidade dos componentes, foram ensaiadas paredes de 120 x 160 x 7 cm (altura x comprimento x espessura) constatando que a resistência ao cisalhamento diminui com o acréscimo de EVA na mistura, por outro lado a ductilidade das paredes sofre aumento.

Em relação à permeabilidade e ao isolamento acústico do concreto com resíduo de EVA, Ibrahim *et al.* (2017) afirmaram em seu estudo que quanto menor a quantidade de resíduo, menor será a permeabilidade do concreto. Em contrapartida, o aumento do teor EVA resulta em maior isolamento acústico.

Na Tabela 1, tem-se um resumo evolutivo de diversas pesquisas realizadas abordando o aproveitamento do resíduo de EVA na fabricação de blocos pré-moldados de concreto leve.

Tabela 1 - Pesquisas realizadas com blocos de concreto leve com resíduo EVA

Autor	Bloco	Características	Resultados	Conclusões
Garlet (1998)		39 x 19 x 14 cm Traço 1:5 EVA: 60% Tratamento Térmico	0,8 MPa Absorção: 12,4%	Tratamento Térmico
Bezerra (2002)		39 x 19 x 3 cm Traço 1:3 EVA: 40% a 100% Tratamento Térmico	2,5 MPa e 1,6 Mpa Absorção: 7% e 9%	Tratamento térmico Resultados melhores de resist. e absorção
Pimentel (2005)		Bloco EVANG 59 x 26,5 x 11,5 cm Traço 1:3 EVA: 60, 70 e 80%	1,66; 1,27 e 0,92 MPa Absorção: 10,24; 11,35 e 14,52%	Quanto mais EVA menor a resist. dos blocos
Polari Filho (2005)		39 x 19 x 9 cm Traço 1:3, EVA: 60%, 70% e 80% Traço 1:5, EVA: 60%	3,28; 2,18 e 1,29 MPa 1,32 MPa	Parâmetro de resistência à compressão mínima: 1,2 MPa
Rocha (2008)		Bloco EVAi 25 x 25 x 12,5 cm (Nova geometria) Traço 1:5, EVA: 80%	1,19 MPa	Bloco EVAi Nova geometria EVA: 80% 1,19 MPa
Khamput et al. (2014)		60 x 20 x 7,5 cm Traço 1:0,5:4:1,6 Bloco de EVA e látex vulcanizado	2,52 MPa (com baixa quantidade de EVA)	Látex vulcanizado reduz absorção de água do bloco
Gomes (2015)		Analizou alvenarias com tijolos cerâmicos, blocos de concreto e de EVA (60% e 80%).	Bloco EVAi: Bom desempenho térmico.	Quanto mais EVA, menor condutividade térmica e menor fluxo de calor
Raongjanta et al. (2017)		39 x 19 x 7 cm EVA 100 g EVA 150 g EVA 200 g	Resist à comp: 2,1 MPa 1,84 MPa 1,52 MPa	Quanto mais EVA maior ductilidade das paredes

Fonte: Autoria própria

2.3 Alvenaria

A alvenaria pode ser definida como um conjunto de unidades: tijolos ou blocos, que são assentadas em camadas e unidas entre si por juntas de argamassa ou por encaixes, compondo assim um conjunto rígido (SABBATINI, 1984 *apud* CALÇADA, 1998).

Em relação à função, as alvenarias podem ser divididas em dois tipos: alvenaria com função estrutural e alvenaria sem função estrutural, também denominada alvenaria de vedação. Porém, independente da classificação, as alvenarias desempenham a finalidade de proteger os usuários da ação de intempéries, da ação do fogo em situações de incêndio, e atuam como um isolante acústico e térmico, garantindo conforto e segurança.

2.3.1 Blocos

Os blocos desempenham importante papel na composição da alvenaria, pois ocupam em torno de 98% do volume da parede (MEDEIROS, 1993 *apud* CALÇADA, 1998). Os tipos mais utilizados no Brasil são os de concreto, cerâmicos e os sílico-calcáreos, mas existem unidades fabricadas com outros materiais como: terra, adobe e solo-cimento, que aos poucos vêm conquistando espaço no mercado (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

De acordo com Lima Filho (2008), em relação à forma, as unidades são classificadas como maciças (denominados como tijolos) ou vazadas (denominados como blocos). São consideradas maciças as unidades que possuem o índice de vazios de, no máximo, 25% da área total e, acima deste valor, são classificadas como vazadas.

Quanto à aplicação, as unidades podem ser classificadas como estruturais ou não estruturais, também chamados de blocos de vedação. Essa classificação se dá em função da resistência à compressão dos blocos e tijolos (LIMA FILHO, 2008). Na Tabela 2 são apresentados os valores limites de resistência à compressão, estipulados pelas respectivas normas.

Tabela 2 - Resistência à compressão mínima de acordo com as normas

Aplicação	Material	Norma	Resistência mínima (MPa)
Estrutural	Concreto	NBR 6136	$\geq 3,0$ *
	Cerâmica	NBR 15270-2	$\geq 3,0$
Vedação	Concreto	NBR 6136	$\geq 3,0$
	Cerâmica	NBR 15270-1	$\geq 1,5$ ** ou $\geq 3,0$ ***

* O valor varia de acordo com as dimensões do bloco, de 3,0 até $\geq 8,0$ MPa.

** Para blocos usados com furos na horizontal.

*** Para blocos usados com furos na vertical.

Fonte: Autoria própria

2.3.2 Resistência à compressão da alvenaria

Apesar das paredes de alvenaria sofrerem diversos esforços, segundo Calçada (1998), as alvenarias são concebidas principalmente para resistirem a esforços de compressão. Por isso, o parâmetro de resistência mais importante para a alvenaria é a resistência à compressão (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

A resistência à compressão das alvenarias pode ser determinada através de quatro maneiras principais: ensaio de paredes, ensaio de prismas, equações empíricas e equações analíticas. Os ensaios são os métodos mais vantajosos, pois são realizados com os próprios materiais que compõem a alvenaria em estudo e, por isso, engloba todas as variações dos materiais, o que não é possível, na sua totalidade, no caso das equações (CALÇADA, 1998).

A resistência à compressão da alvenaria depende de diversos fatores. São eles: geometria da unidade, resistência da unidade, espessura da junta de argamassa, resistência da argamassa, deformação característica da argamassa, sucção das unidades e retenção de água da argamassa (HENDRY, 1998 *apud* BARBOSA, 2004).

No que se refere à argamassa de assentamento, a resistência da alvenaria tem se mostrado pouco sensível ao aumento da resistência das argamassas (RAVULA e SUBRAMANIAM, 2017) e, na medida em que se aumenta a espessura da junta horizontal, a resistência da alvenaria diminui, pois ocorre a

redução do confinamento da argamassa, confinamento este responsável por tornar a argamassa menos suscetível à ruptura (FRANCIS, 1971 *apud* RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Ramalho e Corrêa (2003) ressaltam que a resistência da argamassa de assentamento deve estar entre 70% e 100% da resistência do bloco, afirmando ainda que, argamassas com resistências em torno de 50% da resistência do bloco não implicam em queda considerável na resistência da alvenaria.

Ravula e Subramaniam (2017) afirmam que a resistência à compressão da alvenaria é geralmente menor do que as resistências unitárias do bloco e da argamassa. Entretanto, Ramalho e Corrêa (2003) cita que de maneira geral quanto mais resistente o bloco, mais resistente será a alvenaria.

Na literatura existe um conceito chamado eficiência (E), que relaciona a resistência da parede e a resistência do bloco através da seguinte expressão:

$$E = \frac{fc_{Parede}}{fc_{Unidade}} \quad (1)$$

Em que,

E : Eficiência da alvenaria

fc_{Parede} : Resistência da parede

$fc_{Unidade}$: Resistência da unidade

Na Tabela 3, Ramalho e Corrêa (2003) apresentam valores estimados de eficiência para paredes de blocos de concreto e blocos cerâmicos (resistência entre 4,5 e 20 MPa).

Tabela 3 - Valores estimados da eficiência parede-bloco

Bloco	Valor Mínimo	Valor Máximo
Concreto	0,40	0,60
Cerâmico	0,20	0,50

Fonte: Ramalho e Corrêa (2003)

Exemplificando os valores estimados por Ramalho e Corrêa (2003) para a eficiência parede-bloco com blocos de concreto, temos o estudo de Medeiros (1993). Dentre as análises realizadas por Medeiros (1993), destaca-se a resistência à compressão de parede com blocos de concreto com resultado igual a 4,64 MPa, sendo a resistência do bloco igual a 8,4 MPa e da argamassa de assentamento 5,89 MPa (dentro do parâmetro de 70 a 100% da resistência do bloco), sendo então encontrada a eficiência parede-bloco de 0,55. Para blocos cerâmicos, pode-se citar o trabalho de Garcia (2002), em que, dentre os resultados obtidos, a resistência da parede foi igual a 4,11 MPa enquanto que o bloco apresentou o resultado de 12,15 MPa, tendo-se a eficiência de 0,34.

Quando as paredes são construídas com outros materiais, a eficiência parede-bloco será divergente dos valores estimados por Ramalho e Corrêa (2003). Ensaando paredes de bloco celular autoclavado, Ferraz (2011), obteve a resistência à compressão de 1,0 MPa para as paredes e 3,2 MPa para os blocos, sendo então a eficiência igual a 0,32. Já no caso de paredes de blocos de terra compactada, Queiroga (2016), encontrou em seu estudo a resistência de 2,87 MPa para os blocos BTC, 1,30 MPa para os painéis (1,25 x 1,25 m) e uma eficiência equivalente a 0,45.

Em relação às paredes de Blocos de EVA, a eficiência demonstra-se diferente dos exemplos expostos e dependerá principalmente da quantidade de EVA incorporado, da geometria do bloco, do traço do elemento e da argamassa de assentamento utilizada.

No estudo realizado por Pimentel (2005), foram construídos painéis utilizando o Bloco EVANG (traço 1:3) e argamassa de assentamento mista de cimento e cal (traço 1:1:5). Ao ensaiar os Blocos EVANG com 80% de EVA e as paredes não revestidas (1,20 m de largura, 2,60 m de altura e 0,115 m de espessura), Pimentel (2005) obteve a resistência à compressão média de 0,92 MPa tanto para os blocos, quanto para as paredes, resultando numa eficiência parede-bloco igual a 1,0. Entretanto, a argamassa utilizada apresentou resistência à compressão de 9,59 MPa, demonstrando estar fora do parâmetro estabelecido por Ramalho e Corrêa (2003).

Polari Filho (2005), avaliou a resistência à compressão de blocos de EVA e painéis de alvenaria sem revestimento, variando a dosagem dos materiais e a porcentagem de resíduo. Na produção dos painéis (1,20 m de largura, 2,60 m de altura e 0,09 m de espessura), utilizou-se uma argamassa de assentamento mista de cimento e cal, na proporção 1:1:6, que resultou na resistência à compressão de 5,15 MPa, demonstrando que a argamassa utilizada estava fora do recomendado por Ramalho e Corrêa (2003), pois o bloco com 80% de EVA, em volume (traço 1:3) atingiu a resistência de 1,29 MPa. Por fim, os painéis apresentaram resistência à compressão média de 1,03 MPa e eficiência parede-bloco de 0,80.

O trabalho desenvolvido por Rocha (2008) analisou painéis não revestidos (1,20 m de largura, 2,60 m de altura e 0,125 m de espessura), construídos com argamassa de assentamento mista de cimento e cal (traço 1:2:4), e Bloco EVAi com 80% de resíduo, em volume (traço 1:5). A resistência à compressão da argamassa de assentamento foi igual 4,11 MPa, estando a mesma fora do limite de 70 a 100% da resistência do bloco (RAMALHO e CORRÊA, 2003), pois o mesmo apresentou resistência de 1,19 MPa. Em relação à alvenaria, resultou-se na resistência à compressão de 0,47 MPa e eficiência parede-bloco de 0,40.

A Tabela 4 apresenta um resumo com estudos em alvenarias com blocos de EVA, incorporando 80% de resíduo (em volume). Observa-se que a eficiência da alvenaria pode variar de acordo com o bloco de EVA e a argamassa de assentamento utilizada.

Tabela 4 - Resumo dos estudos com paredes de bloco de EVA

Fonte	Bloco (EVA=80%)		Argamassa		Parede		Eficiência
	Traço	Resist. (MPa)	Traço	Resist. (MPa)	Dimens. (m)	Resist. (MPa)	
Pimentel (2005)	1:3	0,92	1:1:5	9,59	1,20 x 2,60 m	0,92	1,00
Polari Filho (2005)	1:3	1,29	1:1:6	5,15	1,20 x 2,60 m	1,03	0,80
Rocha (2008)	1:5	1,19	1:2:4	4,11	1,20 x 2,60 m	0,47	0,40

Fonte: Autoria própria

2.3.3 Transferência de calor na alvenaria

O desempenho térmico de uma edificação, segundo Van Deventer (1971, *apud* GOMES, 2015) depende de dois processos: da transferência de calor (através da estrutura) e do fluxo de ar (por ventilação e/ou infiltração). O fluxo de calor é determinado pelas propriedades térmicas e físicas da estrutura, e pelos elementos climáticos aos quais estão expostos (temperatura do ar, radiação solar, umidade e vento).

O calor é uma forma de energia em trânsito e pode ser transferido de um sistema para outro devido a uma diferença de temperatura, sempre de uma temperatura superior para outra inferior, de acordo com a segunda lei da termodinâmica. As trocas de calor que envolvem variações de temperaturas são tituladas trocas secas, enquanto que as trocas úmidas se referem a evaporação e a condensação do vapor de água. A transmissão de calor ocorre por 3 mecanismos: convecção, radiação e condução. Esses mecanismos geralmente ocorrem simultaneamente podendo haver predominância de um (GOMES, 2015).

Para se determinar o desempenho térmico de uma alvenaria é importante que se tenha conhecimento das características dos fenômenos de trocas térmicas, que são particulares a cada tipo de material utilizado na sua composição, e que influenciam no conforto térmico da edificação a qual a alvenaria está inserida.

2.4 Argamassas

De acordo com a norma NBR 13281 (2005), argamassa é definida como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

A argamassa pode ser dividida conforme a sua finalidade em dois tipos: de assentamento e de revestimento.

2.4.1 Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento tem como função principal unir ou fixar elementos como tijolos, blocos, cerâmicas, porcelanatos, etc.

Além da finalidade básica de unir elementos, a argamassa de assentamento possui outras funções como: solidarizar as unidades de alvenaria, transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e vento nas edificações (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

No que se refere à resistência da argamassa de assentamento, Ramalho e Corrêa (2003) recomenda que a resistência da argamassa de assentamento tenha um valor entre 70% e 100% da resistência do bloco, pois argamassas muito resistentes podem chegar a reduzir a resistência da alvenaria.

Conforme Sabbatini (1998, *apud* ROCHA, 2008), para o desempenho de suas funções, a argamassa deve possuir as seguintes características:

- Ter trabalhabilidade (consistência, plasticidade e coesão) suficiente para que a produção seja um processo otimizado, rápido e econômico;
- Possuir capacidade de retenção de água de forma que uma elevada absorção do elemento não desencadeie prejuízos para suas funções;
- Obter um rápido ganho de certa resistência no intuito de suportar esforços que possam atuar durante a construção;
- Ter apropriada resistência para não afetar a alvenaria. Porém, deve possuir resistência inferior aos componentes unidos por ela;
- Possuir aderência aos componentes de modo que a interface suporte esforços de cisalhamento e tração, além de promover estanqueidade;
- Ser adequadamente durável e não comprometer a durabilidade de outros materiais, assim como a da construção;
- Possuir suficiente resiliência (baixo módulo de deformação) de maneira a acomodar as deformações intrínsecas e as decorrentes de movimentos estruturais (de pequena amplitude) da parede de alvenaria, sem fissurar.

2.4.2 Argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento serve para revestir superfícies como paredes, pisos e tetos. Esse tipo de argamassa pode ser à base de cal, à base de cimento ou ainda, mista, composta por cal e cimento. Segundo Maciel *et al.* (1998), suas principais funções são:

- Proteger a alvenaria da ação direta dos agentes agressivos;
- Auxiliar a alvenaria no cumprimento das suas funções (isolamento termo-acústico e estanqueidade à água e aos gases);
- Regularizar a superfície da alvenaria, servindo de base regular para outros revestimentos ou como acabamento final;
- Melhorar a estética da alvenaria.

Para que as funções da argamassa de revestimento sejam cumpridas satisfatoriamente, a mesma deve possuir certas propriedades, sendo as principais apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais propriedades da argamassa de revestimento

Estado Fresco	Estado Endurecido
Massa específica e teor de ar	Aderência
Trabalhabilidade	Capacidade de absorver deformações
Retenção de água	Resistência mecânica
Aderência inicial	Resistência ao desgaste
Retração na secagem	

Fonte: Autoria própria

2.4.3 Aderência da argamassa de revestimento ao substrato

Entre as propriedades da argamassa no estado endurecido, destaca-se a importante capacidade de aderência à base.

A aderência é a capacidade de a argamassa manter-se fixa ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface com a base (MACIEL *et al.*, 1998). Segundo Kazmierczak *et al.* (2007) a

resistência de aderência à tração e ao cisalhamento e a extensão de aderência entre a argamassa e o substrato são alcançadas pela ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências macroscópicas da base, sofrendo atuação das características da argamassa, da base e da técnica de aplicação.

As características do substrato, tais quais, absorção de água, porosidade e rugosidade, são os principais responsáveis pela resistência de aderência da argamassa (MACIEL *et al.*, 1998 e KAZMIERCZAK *et al.*, 2007).

Segundo Scartezini (2002), uma forma de melhorar a capacidade de aderência da argamassa ao substrato é a execução de pré-tratamentos da base que irão aumentar a rugosidade superficial e regularizar a absorção de água. O pré-tratamento mais comum nas obras é o chapisco que, de acordo com a NBR 13529 (2013), possui a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. Na aplicação do chapisco, a intenção é obter uma superfície irregular com ancoragens mecânicas suficientes para a perfeita aderência (FIORITO, 2009).

No estudo realizado por Scartezini e Carasek (2003), concluiu-se que o tipo de substrato é o principal responsável pela variação na resistência de aderência e que o preparo do substrato também é fator influente. Em alvenarias de blocos cerâmicos, o preparo do substrato com chapisco melhorou a aderência em 20%, enquanto que em alvenarias de blocos de concreto o uso de chapisco reduziu em 9% a aderência, constatando que uma maior rugosidade superficial e uma textura diferenciada garantiram aos blocos de concreto aderência superior a aderência dos blocos cerâmicos, comprovando que, neste caso, não há necessidade de chapisco. Na Tabela 6 têm-se alguns resultados obtidos no estudo.

Tabela 6 - Resultados apresentados por Scartezini e Carasek (2003)

Substrato	Resistência do bloco (MPa)	Preparo	Resistência de aderência (MPa)
Bloco cerâmico	4,5	Sem preparo	0,14
		Chapiscado	0,17
Bloco de concreto	2,3	Sem preparo	0,35
		Chapiscado	0,32

Fonte: Scartezini e Carasek (2003)

Kazmierczak *et al.* (2007), analisaram a influência da utilização do chapisco na aderência da argamassa em diferentes tipos de substratos. No estudo foram produzidas mini paredes (dimensões 60 x 80 cm) compostas por blocos cerâmicos, blocos de concreto e tijolos maciços. Após a realização de ensaios de resistência de aderência à tração, conclui-se que o chapisco no tijolo maciço não exerceu grande influência na aderência da argamassa, já no substrato de bloco cerâmico o uso de chapisco possibilitou um aumento de 66% na resistência de aderência. No caso do bloco de concreto com chapisco, ocorreu um aumento na ordem de 100% na aderência, resultado contrário ao apresentado por Scartezini e Carasek (2003). O fato foi justificado pela elevada resistência do bloco de concreto (13,1 MPa), que dificultou a ancoragem da argamassa no substrato sem chapisco, enquanto no trabalho de Scartezini e Carasek (2003) o bloco de concreto com resistência menor (2,3 MPa) facilitou a ancoragem da argamassa no substrato sem chapisco. Os resultados de resistência de aderência à tração apresentados por Kazmierczak *et al.* (2007) podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados apresentados por Kazmierczak *et al.* (2007)

Substrato	Resistência do bloco (MPa)	Preparo	Resistência de aderência (MPa)
Bloco cerâmico	13,1	Sem preparo	0,16
		Chapiscado	0,25
Bloco de concreto	0,5	Sem preparo	0,11
		Chapiscado	0,22
Tijolo maciço	3,7	Sem preparo	0,25
		Chapiscado	0,23

Fonte: Kazmierczak *et al.* (2007)

Paes *et al.* (2005) afirmam que a resistência de aderência é resultado da interação entre a argamassa e o substrato, por isso depende das propriedades apresentadas por estes dois materiais. Desta forma, argamassas idênticas aplicadas a tipos de substratos diversos apresentam comportamentos diferentes. Na pesquisa realizada por Paes *et al.* (2005), analisou-se a aderência de dois

traços de argamassas mistas aplicadas a blocos cerâmicos e blocos de concreto, ambos sem preparo da base. Como pode ser observado nos resultados obtidos pelo estudo (Tabela 8), os blocos de concreto produziram uma resistência de aderência muito superior em comparação aos blocos cerâmicos.

Tabela 8 - Resultados apresentados por Paes *et al.* (2005)

Substrato	Resistência do bloco (MPa)	Preparo	Argamassa	Resistência de aderência (MPa)
Bloco cerâmico	4,52	Sem preparo	A	0,14
		Sem preparo	B	0,17
Bloco de concreto	4,67	Sem preparo	A	0,35
		Sem preparo	B	0,32

Fonte: Paes *et al.* (2005)

Pimentel (2005) e Rocha (2008) relatam em seus trabalhos que, devido à elevada rugosidade apresentada pelos blocos de EVA, utilizando 80% de resíduo (em volume), existe a possibilidade de dispensar o uso de chapisco e, ainda assim, ter-se uma boa aderência entre o revestimento e a base. Porém, não existem estudos que comprovem esta hipótese.

A aderência da argamassa ao substrato pode ser afetada por agentes de degradação ao longo da sua vida útil. Um dos agentes de degradação mecânica, dos materiais de base cimentícia, mais comum é a rápida mudança de temperatura (TEMOCHE, 2009).

2.4.4 Ação do choque térmico na aderência da argamassa de revestimento

O choque térmico diz respeito à variação brusca de temperatura em um determinado material. A ação deste fenômeno em materiais ou componentes das construções é amplamente estudada e sua reprodução em laboratório é feita através de métodos de ensaio de choque térmico normatizados.

Na alvenaria, o choque térmico não é um fenômeno atípico, e pode ocorrer, principalmente, pelas condições de uso da edificação (saunas, fornos, etc.) ou

pela exposição ao meio ambiente (ciclos de gelo e degelo, aquecimento solar seguidos de chuva, etc.).

A ocorrência do choque térmico em paredes pode provocar tensões de tração e propagação de fissuras de ordem microscópica no substrato, na argamassa e na interface de ligação. Tensões estas que são prejudiciais a argamassa de revestimento devido a sua baixa resistência à tração. Portanto, resulta-se na perda de aderência da argamassa ou ausência de estanqueidade, comprometendo sua durabilidade (TEMOCHE, 2009).

Avaliando o efeito do choque térmico na aderência de revestimentos cerâmicos, Hayashi *et al.* (1993 *apud* TEMOCHE, 2009) avaliaram paredes produzidas com dois tipos de base (concreto comum e concreto celular) revestidas com placas cerâmicas. Inicialmente, as amostras foram submetidas ao ensaio de choque térmico, aplicando-se de 30 a 100 ciclos e monitorando-se as deformações superficiais ocorridas. Posteriormente, analisaram a resistência à tração dos revestimentos, chegando a conclusão de que, com o aumento do número de ciclos, a resistência em bases de concreto comum decresce exponencialmente, por outro lado, em bases de concreto celular, ao longo dos ciclos, ocorre a constância da aderência.

Miranda e Selmo (2003) estudaram o desempenho frente à ação do calor e choque térmico de painéis revestidos com argamassa produzidas com resíduos de construção e demolição (RCD) reciclados. Para a realização dos ensaios, os autores utilizaram equipamentos baseados no método IPT (1998) e aplicaram 10 ciclos descontínuos de choque térmico. Com o estudo, inferiu-se que o choque térmico causou influência no surgimento de fissuras de formas variadas, de acordo com as propriedades do revestimento. Revestimentos com maior quantidade de finos apresentaram fissuras visíveis, enquanto que as microfissuras surgiram em revestimentos com baixa resistência à tração.

A aplicação de 10 ciclos de choque térmico em painéis revestidos com argamassa industrializada, resultou na constatação da influência negativa do choque térmico na resistência de aderência à tração do revestimento em bases de blocos cerâmicos, na qual ocorreu a redução de 70% da resistência de aderência

após o choque térmico. Porém, na base de concreto ocorreu a elevação da resistência em 50% (CRESCÊNCIO e BARROS, 2003 *apud* TEMOCHE, 2009).

Temoche (2009) realizou um estudo em que se aplicou 30 ciclos de ação do calor e choque térmico em mini painéis de concreto, revestidas com argamassa de cimento e areia (traço 1:4). Após os 30 ciclos testou-se a resistência de aderência à tração do revestimento e, com os resultados obtidos no trabalho, confirmou-se que “[...] *a degradação da aderência dos revestimentos, avaliada através da diminuição da resistência de aderência, é potencializada pelo efeito da exposição a choques térmicos [...]*”.

Buscando comparar a ação do calor e choque térmico em bases diferentes, Queiroga *et al.* (2014) produziram quatro mini-paredes (60 x 60 cm): duas com blocos cerâmicos (19 x 19 x 9 cm) e duas blocos com EVA, 60% de EVA, em volume, (39 x 19 x 9 cm). Dentre as construídas com blocos cerâmicos, uma recebeu revestimento de argamassa mista (traço 1:2:10) e a outra não, assim como as mini-paredes de blocos com 60% de EVA (em volume). Posteriormente, as amostras foram submetidas a 10 ciclos contínuos de choque térmico em câmara automatizada, concluindo-se que: em ambas as faces das mini-paredes ensaiadas não ocorreu o surgimento de fissuras, trincas ou infiltrações.

Giorgi (2016) aplicou 10 ciclos de choque térmico de acordo com a NBR 15575-4 (2013) em paredes de blocos vazados de solo-cimento com armadura simples e grauteados. Após a simulação do choque térmico, constatou-se que as paredes não apresentaram deslocamentos superiores ao limite estabelecido pela norma e, em quase todos os ciclos, após o resfriamento, as mesmas voltaram à posição inicial.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Generalidades

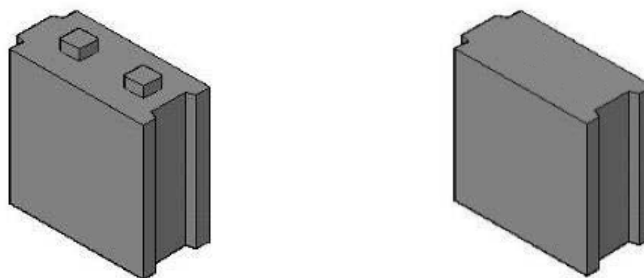
Os resíduos utilizados na pesquisa foram obtidos a partir de uma indústria calçadista do estado da Paraíba. Estes passaram por pré-tratamentos, dando origem a novos agregados de EVA, que foram avaliados quanto as suas características físicas. A partir dos resultados dos ensaios fez-se a escolha do agregado de EVA ideal para o desenvolvimento da pesquisa.

Utilizando como base o estudo realizado por Rocha (2008), foi definido o traço 1:5 (cimento: agregados, em volume) e o teor de 80% de agregado artificial leve de EVA, em substituição parcial ao agregado natural (areia).

O Bloco EVAi executado possui dimensões de: 25,0 cm x 25,0 cm x 12,5 cm e geometria inovadora desenvolvida por Rocha (2008), conforme a Figura 5a. Porém, o presente trabalho produziu o Bloco EVAi sem os encaixes horizontais, como ilustrado na Figura 5b.

Figura 5 - Geometria do Bloco EVAi

a) com encaixes horizontais b) sem encaixes horizontais

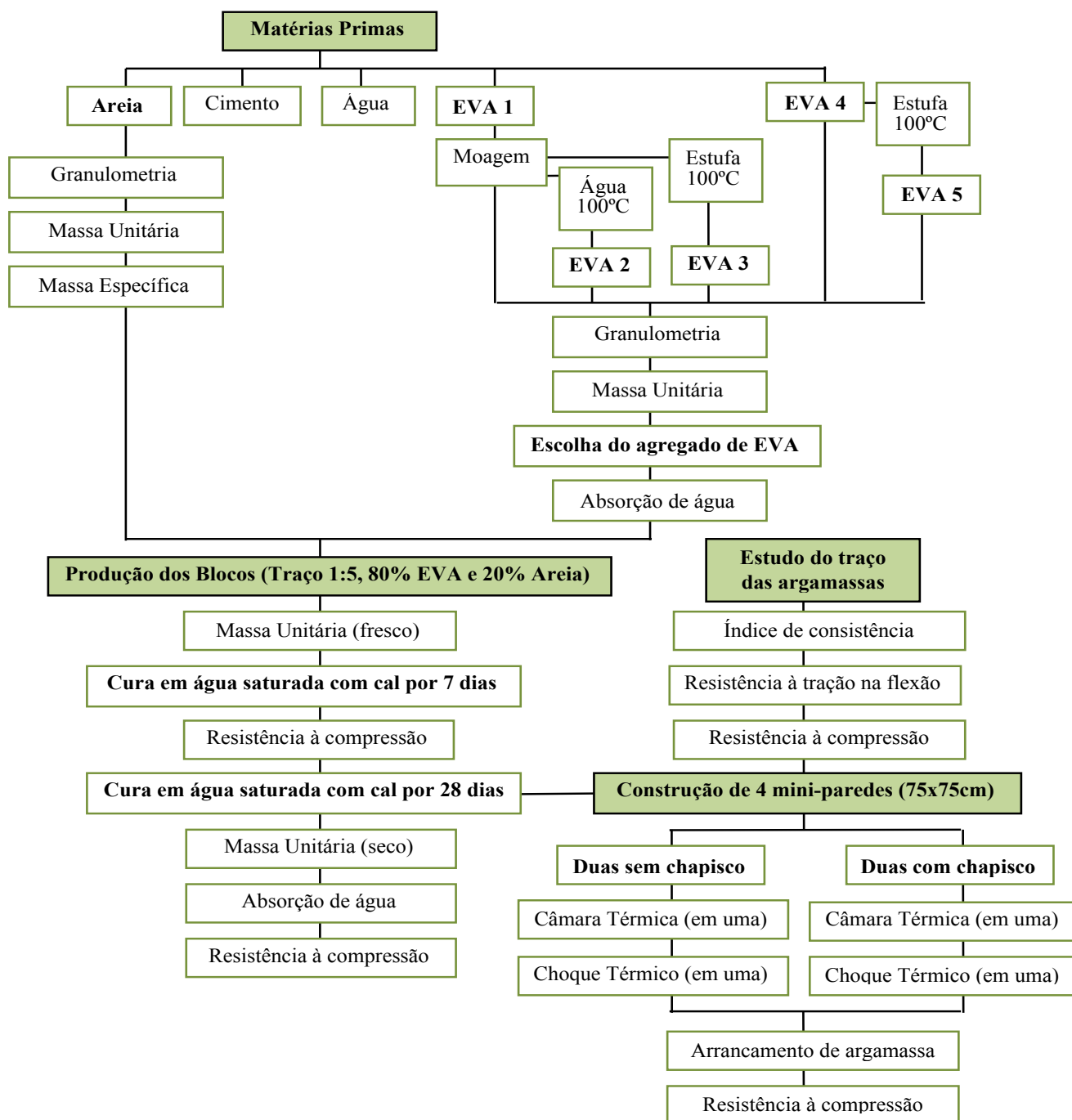


Fonte: Adaptado de Rocha (2008)

No ensaio de resistência à compressão em parede, realizado por Rocha (2008), foi constatado que após o colapso, vários blocos romperam-se apenas nos encaixes horizontais. Para solucionar este problema e manter a utilização dos encaixes, seriam necessárias a modificação das dimensões dos mesmos, a remodelação da fôrma do bloco e o uso do agregado de EVA em menor granulometria ($D_{máx} = 4,8 \text{ mm}$). Sendo assim, a decisão de eliminar os encaixes

foi a maneira mais simples e econômica para viabilizar os experimentos neste trabalho. O problema da dimensão dos encaixes pode ser tratado futuramente em outros estudos. A seguir (Figura 6), se apresenta um fluxograma com as etapas experimentais previstas no procedimento metodológico.

Figura 6 - Fluxograma esquemático dos procedimentos metodológicos



Fonte: Autoria própria

3.2 Caracterização dos materiais

3.2.1 Agregado miúdo (agregado natural)

O agregado miúdo natural utilizado na pesquisa foi a areia quartzosa disponível no LABEME – UFPB. Antes de ser utilizada, a areia foi seca ao ar livre.

Foram realizados ensaios de caracterização do agregado miúdo, conforme as normas especificadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Ensaios de caracterização da areia e suas respectivas normas

Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248
Determinação da massa unitária – estado solto	NBR NM 45
Determinação da massa específica	NBR NM 52

Fonte: Autoria própria

3.2.2 Agregado de EVA (agregado artificial)

No trabalho realizado por Rocha (2008) com Blocos EVAi, foi possível obter diversos avanços no estudo de blocos com resíduo de EVA, sendo os principais a nova geometria apresentada e a utilização de 80% de resíduo em substituição à areia (em volume). Dando continuidade, Gomes (2015) estudou o desempenho térmico de paredes com Bloco EVAi, provando seu bom desempenho neste sentido. Porém, no estudo de Gomes (2015) não se conseguiu atingir resultados satisfatórios em relação à resistência à compressão dos blocos (valores muito baixos) e à absorção de água dos blocos (valores muito elevados).

Buscou-se, então, neste trabalho, alcançar resultados melhores aos obtidos anteriormente, sendo estes: resistência à compressão do bloco igual ou maior a 1,20 MPa e absorção de água do bloco igual ou menor do que 12%. Para que estes resultados fossem alcançados sem que houvessem alterações no traço do bloco, foi necessário trabalhar nas características físicas do agregado de EVA.

Para que fosse possível obter tipos diferentes de agregado de EVA para a análise das características físicas, foram utilizados dois tipos de resíduo de EVA diferentes. O primeiro resíduo é classificado como EVA de baixa concentração (EVA soft) e inicialmente estava na forma de aparas (Figura 7). O mesmo foi triturado em um moinho de facas rotativas ($D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$), Figura 7, resultando no agregado EVA 1. Posteriormente, uma parte do EVA 1 sofreu tratamento térmico por imersão em água (Figura 8a) a 100°C por 30 minutos, dando origem ao EVA 2. Outra parte do EVA 1 passou por tratamento térmico em estufa eletrônica (Figura 8b) a 100°C por 30 minutos, resultando no EVA 3. Após estes procedimentos obteve-se, portanto, os agregados: EVA 1, EVA 2 e EVA 3.

O tratamento térmico utilizando estufa eletrônica foi uma adaptação ao processo com água fervente a 100°C , realizado por Garlet (1998), buscando uma alternativa mais simples, visto que é difícil garantir que as partículas leves fiquem submersas na água fervente.

Figura 7 - Resíduo de EVA na forma de aparas e moinho utilizado para tritura-lo



Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Tipos de tratamentos térmicos dos resíduos de EVA

(a) Tratamento térmico por fervura (b) Tratamento térmico em estufa



Fonte: Autoria própria

O segundo tipo de resíduo é classificado como EVA de alta concentração e foi coletado na indústria geradora já triturado ($D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$) e ensacado em pacotes de 10 kg (Figura 9). O mesmo não passou por nenhuma moagem e foi nomeado como EVA 4. Parte do EVA 4 passou pelo tratamento térmico em estufa eletrônica a 100°C por 30 minutos e deu origem ao EVA 5.

Figura 9 - Resíduo de EVA de alta concentração, moído e ensacado



Fonte: Autoria própria

Como resultado de todo processo, foram obtidos 5 agregados artificiais:

- EVA 1: agregado resultante da moagem de aparas;
- EVA 2: parte do EVA 1 após tratamento térmico em água a 100 °C;
- EVA 3: parte do EVA 1 após tratamento térmico em estufa a 100 °C;
- EVA 4: agregado obtido moído que não sofreu modificações;
- EVA 5: parte do EVA 4 após tratamento em estufa a 100 °C.

Os cinco agregados artificiais foram submetidos aos ensaios de caracterização física especificados na Tabela 10.

Tabela 10 - Ensaios de caracterização do EVA e suas respectivas normas

Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248
Determinação da massa unitária – estado solto	NBR NM 45

Fonte: Autoria própria

A partir da caracterização dos 5 agregados artificiais de EVA foi feita a análise e seleção do agregado que apresentou uma elevada massa unitária, pois agregados artificiais com maior densidade resultam em blocos com maior resistência à compressão e menor absorção de água. Posteriormente, o agregado de EVA selecionado passou pelo ensaio de Determinação da Absorção de Água.

Devido à falta de alguma norma brasileira regulamentadora que descreva a metodologia de ensaio para a determinação da absorção de água do Etileno Acetato de Vinila (EVA), foi utilizado o método apresentado por Bezerra (2002), obtido a partir de uma adaptação da norma que determina a absorção de água para poliestireno expandido para fins de isolamento térmica – NBR 7973 (2007).

As etapas definidas por Bezerra (2005), para o ensaio de absorção de água do EVA e para o cálculo do resultado, são apresentadas a seguir:

- Pesar 50 g de amostra seca (M_s);
- Colocar a amostra imersa sob uma coluna de água de 50 ± 1 mm por um período de 5 min. Para que a amostra não fique boiando, usar um recipiente coberto por uma peneira de malha 0,075 mm;
- Passados 5 min, retirar a amostra do recipiente e colocar em uma tela com malha de 0,075 mm ao ar livre por um período de 15 ± 1 min, para drenagem da água;
- A seguir, pesar a amostra e anotar o valor como $M_{sat(5min)}$;
- Imergir novamente a amostra em água e repetir o procedimento para os seguintes períodos totais de imersão: 10 min, 20 min, 30 min, 60 min e 24 h;
- Pesar as amostras e anotar as respectivas $M_{sat} : M_{sat(10min)}, M_{sat(20min)}, M_{sat(30min)}, M_{sat(60min)}$ e $M_{sat(24h)}$;
- Obter então o resultado através da média das massas das três amostras aplicadas à expressão abaixo:

$$Absorção = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

M_{sat} : massa da amostra saturada para cada período (gramas)

M_s : massa da amostra seca (gramas).

3.2.3 Cimento, Cal e Água de amassamento

Para a realização do estudo foram utilizados o cimento tipo CII Z-32 RS e a Cal Hidratada tipo CHI obtidos no mercado local da cidade de João Pessoa-PB. Em relação à água de amassamento, foi utilizada a água disponível no laboratório (LABEME - CT/UFPB).

3.3 Preparo, moldagem e cura dos Blocos EVAi

Conforme informado anteriormente, os compósitos foram produzidos com traço 1:5 (em volume), 80 % de agregado artificial de EVA em substituição à areia (em volume), utilizando como base o trabalho realizado por Rocha (2008).

Para a produção dos blocos, os materiais foram pesados e posteriormente misturados em uma betoneira de eixo horizontal com capacidade de 320 litros (Figura 10), obedecendo o roteiro proposto por Bezerra (2002) e modificado por Rocha (2008), conforme apresentado abaixo:

1. Molhar as paredes internas da betoneira para evitar que a água de amassamento sofra sucção;
2. Colocar o agregado de EVA e $\frac{1}{3}$ da água de amassamento. Acionar a betoneira e aguardar cerca de um minuto para que ocorra a absorção de água pelo agregado;
3. Com a cuba em movimento, adicionar o cimento e esperar dois minutos;
4. Adicionar a areia e esperar dois minutos;
5. Adicionar o restante da água e esperar mais três minutos.

Figura 10 - Betoneira utilizada na produção dos Blocos EVAi



Fonte: Autoria própria

A relação água/aglomerante foi definida a partir da verificação da consistência da mistura logo após a sua produção, através de um teste

simplificado chamado de teste de mão (Figura 11), no qual o operário aperta a massa com a mão e, ao abri-la, analisa se os materiais permaneceram coesos. Sendo assim, para encontrar a melhor relação água/aglomerante, iniciou-se a mistura com fator de 0,48 até alcançar 0,50, que apresentou melhor consistência.

Figura 11 - Teste de mão realizado durante a produção do Bloco EVAi



Fonte: Autoria própria

Após serem preparados os compósitos, foi feita a moldagem dos Blocos EVAi com o uso de uma máquina manual de movimento semiautomático, do tipo vibro prensa (Figura 12), disponível no LABEME (CT/UFPB), com capacidade de moldagem de até três blocos por etapa.

Figura 12 - Vibro-prensa utilizada para moldar os Blocos EVAi



Fonte: Autoria própria

A moldagem foi realizada de acordo com o procedimento abaixo, conforme citado por Rocha (2008):

- Untar as paredes internas do molde (Figura 13) e a base de madeira (apoio para os blocos recém moldados) com óleo automotivo queimado;
- Colocar o compósito na máquina vibro prensa ligada (vibração ativada);
- Completar o molde com o compósito e deixar cair o extrator sobre a massa de material dentro do molde. Após 40 segundos de vibração constante, acionar a alavanca da máquina, provocando a última prensagem do material e a extração do bloco do molde, resultando na desforma de 3 blocos por cada ciclo (Figura 14);

Figura 13 - Molde do Bloco EVAi



Fonte: Autoria própria

Figura 14 - Blocos EVAi logo após moldagem



Fonte: Autoria própria

Após moldados, os blocos foram levados para a cura em câmara úmida ($T=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $UR > 90\%$), (Figura 15a), durante um período de 12 a 24 horas. Posteriormente, os blocos seguiram para os tanques de cura por imersão em água saturada com cal (Figura 15b), cujo período se estendeu por 28 dias, sendo então secos ao ar (Figura 16).

Figura 15 - Processo de cura dos Blocos EVAi

(a) Cura em câmara úmida



(b) Cura em água



Fonte: Autoria própria

Figura 16 - Figura - Bloco EVAi após cura e seco ao ar.

(a) lado inferior



(b) lado superior



Fonte: Autoria própria

Para a realização da pesquisa foram moldados um total de 54 Blocos EVAi, dentre estes, 18 foram utilizados na etapa de caracterização dos blocos e 36 foram utilizados para a confecção de quatro paredes.

3.4 Caracterização do Bloco EVAi

3.4.1 Determinação da massa específica em estado fresco e seco ao ar dos Blocos EVAi

A massa específica do Bloco EVAi em estado fresco foi determinada logo após a desmoldagem dos blocos. Neste procedimento, 6 blocos foram pesados e a massa média foi dividida pelo volume dos mesmos.

A massa específica do Bloco EVAi seco ao ar foi obtida pela divisão do peso médio de 9 blocos secos ao ar (28 dias de cura) pelo volume dos mesmos.

3.4.2 Determinação da absorção de água e da resistência à compressão dos Blocos EVAi

O ensaio de absorção de água dos Blocos EVAi foi realizado aos 7 (sete) e aos 28 (vinte e oito) dias de cura, de acordo com a norma NBR 12118 (2013).

O ensaio de resistência à compressão dos Blocos EVAi foi realizado após 07 e 28 dias de cura. Os blocos receberam capeamentos de regularização na face superior e na face inferior e, após 24 horas, foram levados para o rompimento em prensa hidráulica (Figura 17), conforme a norma NBR 12118 (2013).

Figura 17 - Ensaio de resistência à compressão dos Blocos EVAi



Fonte: Autoria própria

Para a análise dos valores obtidos pelos ensaios de resistência à compressão, aplicou-se o Critério de Chauvenet com o intuito de determinar um valor médio mais representativo da amostra ensaiada.

Para aplicar o Critério de Chauvenet, primeiro calcula-se a média (x_m) e o desvio padrão (s) de todas as medidas aferidas. Posteriormente calcula-se o r de cada valor medido (x_i) pela seguinte expressão:

$$r = \frac{|x_i - x_m|}{s} \quad (5)$$

Assim, quando o valor de r de cada medida (x_i) for maior do que R_c (encontrado na Tabela 11), o valor medido (x_i) deve ser descartado do espaço amostral. Por fim, calcula-se uma nova média sem incluir os pontos eliminados. Segundo Silva (2001), o critério de Chauvenet só pode ser aplicado uma vez.

Tabela 11 - Critério de Chauvenet de rejeição de dados

Num. de medições	R_c
2	1,15
3	1,38
4	1,54
5	1,65
6	1,73
7	1,80
8	1,87
9	1,91
10	1,96
20	2,24
50	2,57
100	2,81

Fonte: Adaptado de MSCP, 2009

3.5 Definição do traço das argamassas de assentamento e revestimento

Para o assentamento e revestimento das paredes de Blocos EVAi foi utilizada uma argamassa mista composta por cimento, cal hidratada e areia.

Nos trabalhos realizados por Lima Filho (2008), Maia (2013) e Gomes (2015), foram utilizadas argamassas com traço 1:2:10 (cimento: cal: areia) para assentar compósitos cimentícios com resíduo de EVA. Nas pesquisas citadas, o traço utilizado foi adequado para uso em blocos de EVA, desta forma, o mesmo foi definido como o ponto de partida para a escolha do traço deste estudo.

Conforme citado nos itens 2.3.2 e 2.4.1, Ramalho e Corrêa (2003) afirmam que a argamassa de assentamento deve ter sua resistência à compressão entre 70% e 100% da resistência do bloco utilizado, com a finalidade de reduzir a interferência da argamassa de assentamento na resistência final da parede. Sendo assim, para a escolha final do traço da argamassa de assentamento, utilizou-se como parâmetro a resistência apresentada pelo Bloco EVAi.

Portanto, para o estudo da resistência à compressão da argamassa, foram determinados dois traços: 1:2:10 e 1:2:11 (cimento: cal: areia), buscando identificar aquele que atende ao requisito de resistência à compressão indicado por Ramalho e Corrêa (2003).

Em se tratando da argamassa convencional para revestimento de paredes, Fiorito (2009) sugere o uso do traço 1:2:9 (cimento: cal: areia), porém para que haja a concordância entre as resistências do Bloco EVAi, da argamassa de assentamento e da argamassa de revestimento, decidiu-se utilizar o mesmo traço para ambas aplicações de argamassa.

3.6 Caracterização das argamassas

3.6.1 Determinação do índice de consistência das argamassas

Para determinar o teor de água dos traços de argamassa estudados foi realizado o ensaio de consistência de argamassa, pois, de acordo com a NBR

16541 (2016), o teor de água ideal é aquele na qual se obtém a consistência padrão de 260 ± 5 cm.

As argamassas foram preparadas em um misturador planetário de bancada (Figura 18), conforme o procedimento descrito pela NBR 16541 (2016).

Figura 18 - Misturador utilizado no preparo das argamassas



Fonte: Autoria própria

Os ensaios do índice de consistência das argamassas (Figura 19) foram realizados através da mesa de espalhamento (*flow table*) de acordo com a metodologia descrita pela NBR 13276 (2016).

Figura 19 - Espalhamento da argamassa



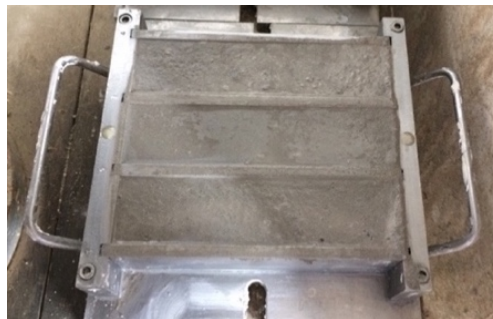
Fonte: Autoria própria

3.6.2 Determinação da resistência à tração na flexão e resistência à compressão das argamassas

Nos ensaios de determinação da resistência à tração na flexão e de resistência à compressão, utilizou-se uma prensa de alta precisão com aplicação de carga de até 10 kN.

Para cada traço de argamassa foram moldados um total de 6 corpos de prova prismáticos, com dimensões 4 x 4 x 16 cm (Figura 20), conforme a NBR 16541 (2016). Após as idades de 07 (sete) dias e 28 (vinte e oito) dias de cura, foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão (Figura 21) de cada argamassa, de acordo com o prescrito pela norma NBR 13279 (2005).

Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova prismáticos de argamassa



Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas



Fonte: Autoria própria

O ensaio de resistência à compressão de cada traço de argamassa foi executado após 07 (sete) dias e 28 (vinte e oito) dias de cura, seguindo o procedimento informado pela NBR 13279 (2005). Como indicado pela norma supracitada, utilizou-se as metades dos corpos-de-prova prismáticos rompidos no ensaio de resistência à tração na flexão para serem ensaiados à compressão (Figura 22).

Figura 22 - Ensaio de resistência à compressão das argamassas



Fonte: Autoria própria

3.7 Execução das paredes de Bloco EVAi

Para a avaliação do desempenho de paredes executadas com Blocos EVAi, foram construídas quatro pequenas paredes (conforme nomenclatura utilizada pela NBR 16522 (2016)) com largura de 0,75 m, espessura de 0,125 m (correspondente à espessura dos blocos) e altura de 0,75 m.

A escolha das dimensões das paredes baseou-se principalmente na norma NBR 16522 - Alvenaria de blocos de concreto — Métodos de ensaio (2016), a qual permite a utilização de pequenas paredes para a realização do ensaio de resistência à compressão. A norma recomenda que: *“o corpo de prova tenha no mínimo um comprimento (C) equivalente a dois blocos e altura (H) equivalente a cinco vezes a espessura do bloco, e não inferior a 70 cm.”*

Além da importante economia de recursos ao se construir as paredes em tamanho reduzido, outro fator considerado para a definição das dimensões das

alvenarias foi o tamanho da câmara, onde se realiza o ensaio de choque térmico, pois a mesma possui 1,80 m de largura, 1,04 m de altura e 1,13 m de profundidade e, por isso, foi necessário que as paredes tivessem suas medidas compatíveis com a área disponível na câmara de choque térmico do LABEME-CT/UFPB.

Todas as etapas construtivas das paredes e o tempo de cura de cada camada obedeceram ao cronograma de execução apresentado na norma NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento (1998).

Após 28 dias de idade, os Blocos EVAi foram retirados do tanque e encaminhados ao ambiente interno do laboratório, onde permaneceram durante 24 horas, para que parte de sua umidade fosse perdida. Em seguida, foram separados 36 Blocos EVAi para a execução das quatro pequenas paredes, ou seja, 9 Blocos EVAi para a construção de cada parede.

Para possibilitar o manuseio e o transporte das pequenas paredes, as mesmas foram construídas em cima de bases de madeira.

Visando realizar o travamento dos blocos na execução das paredes, foram serrados ao meio 2 Blocos EVAi para cada pequena parede (Figura 23). Após serem serrados todos os blocos necessários, assentou-se os blocos na execução das pequenas paredes (Figura 24).

Figura 23 - Bloco EVAi serrado ao meio



Fonte: Autoria própria

Figura 24 - Parede de Bloco EVAi após assentamento



Fonte: Autoria própria

Esperou-se 14 dias para a cura da argamassa de assentamento das paredes e então foi aplicado o chapisco (Figura 25) com traço 1:3 (cimento: areia), conforme indica Fiorito (2009), nas faces de apenas duas paredes (as outras duas paredes ficaram sem chapisco), e esperou-se 3 dias de cura para prosseguir com o revestimento.

Figura 25 - Parede de Bloco EVAi após aplicação do chapisco em duas paredes



Fonte: Autoria própria

Foi então aplicada manualmente a argamassa de revestimento nas 4 paredes, Figura 26, e construiu-se cintas de concreto na face superior das quatro paredes. As cintas de concreto são necessárias para garantir a distribuição da tensão durante a realização do ensaio de resistência à compressão nas paredes.

Figura 26 - Parede de Bloco EVAi após aplicação do revestimento



Fonte: Autoria própria

Após 28 dias de cura, todas as paredes receberam pintura a cal, mantendo a cor branca, Figura 27. A pintura foi aplicada para facilitar a observação das fissuras durante a caracterização térmica e mecânica das paredes. Após o procedimento de construção e acabamento das paredes, as mesmas passaram a possuir as dimensões médias de 80 cm de comprimento, 80 cm de largura e espessura de 14,5 cm nas amostras sem chapisco, e 15,0 cm nas amostras com chapisco.

Figura 27 - Parede de Bloco EVAi após pintura



Fonte: Autoria própria

Ao final da produção das paredes, adotou-se a seguinte nomenclatura:

- Parede $C_C C_{CT}$: com chapisco e com choque térmico;
- Parede $C_C S_{CT}$: com chapisco e sem choque térmico;
- Parede $S_C C_{CT}$: sem chapisco e com choque térmico;
- Parede $S_C S_{CT}$: sem chapisco e sem choque térmico;

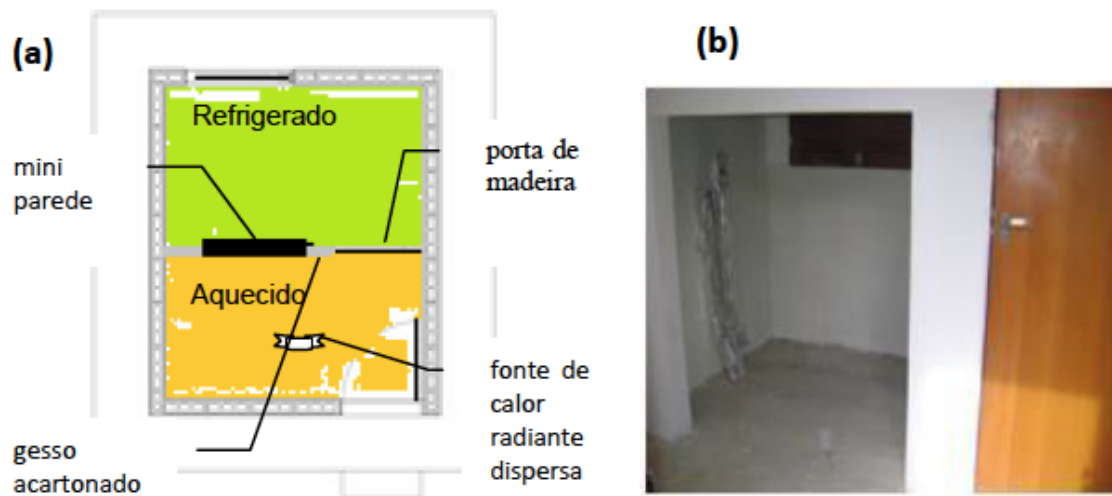
3.8 Caracterização das paredes com Bloco EVAi

3.8.1 Capacidade de retenção do fluxo de calor das paredes com Bloco EVAi

Foram realizadas medições em câmara térmica de duas paredes, nas quais uma possuía camada de chapisco e a outra não. A câmara térmica utilizada pertence ao Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME), do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, e é composta por duas áreas separadas, uma aquecida e outra refrigerada, divididas por uma parede de dry-wall com manta de fibra de vidro que possibilita o isolamento entre as duas áreas, como mostra na Figura 28. As amostras foram posicionadas em um espaço na parede de isolamento entre os dois ambientes (refrigerado e aquecido) e utilizou-se placas de isopor para completar o espaço entre a parede de dry-wall e a amostra, Figura 29.

Figura 28 - Câmara térmica

(a) Esquema em planta baixa (b) Divisória em gesso com espaço para amostra



Fonte: Gomes (2015)

Figura 29 - Parede de Bloco EVAi isolada com isopor e instrumentada



Fonte: Autoria própria

A câmara térmica possui suas portas e paredes internas revestidas com placas de isopor para que não ocorra perda de calor com o ambiente externo ou troca de calor entre os ambientes internos através da porta interna. A fonte de calor utilizada no ambiente aquecido foi uma caixa metálica contendo 12 lâmpadas incandescentes com o total de 1160W (Figura 30) posicionada a 1 m de distância da amostra. No lado resfriado, utilizou-se um ar condicionado tipo janela (ou gaveta) com 12000 BTUs.

Figura 30 - Fonte de calor utilizada na câmara térmica



Fonte: Autoria própria

Para a instrumentação das amostras, foram utilizados 6 termopares tipo T, formado por um fio de cobre (elemento positivo) e um fio de constantan (elemento negativo), os quais 3 deles foram colocados na face exposta ao calor e alinhados verticalmente, e outros 3 foram fixados na face oposta ao calor, em posições correspondentes aos demais. Para determinar a temperatura dos ambientes, foram utilizados dois termopares inseridos em esferas na cor preta (termômetro do tipo globo negro), um em cada lado da câmara, posicionados a uma altura de 1,5 m do piso.

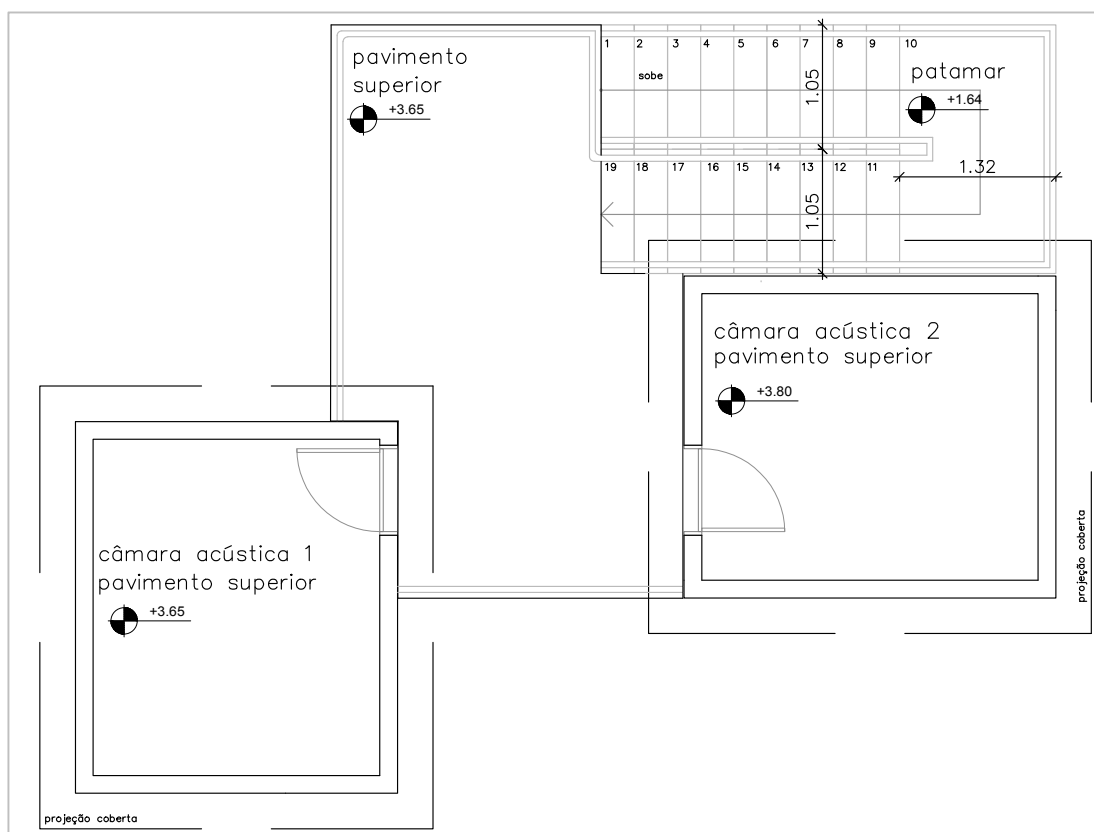
Utilizou-se um sistema de aquisição de dados (MX840A da HBM) para registrar as temperaturas medidas a cada segundo. Os dados registrados foram organizados e transformados em gráficos que apresentam a temperatura média por hora de cada face da amostra, durante as 24 horas de ensaio. Em seguida, determinaram-se as variações médias de temperatura entre as faces, exposta e oposta ao calor, de cada amostra e calculou-se a temperatura média global para cada face, sem considerar os dados obtidos no período inicial do ensaio (14 horas iniciais), quando as temperaturas ainda estavam instáveis e variaram muito.

3.8.2 Ação do calor e choque térmico em parede com Blocos EVAi

A nova câmara de choque térmico existente no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME), do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, é composta por um espaço com as seguintes dimensões: 1,80 m de largura, 1,04 m de altura e 1,13 m de profundidade.

A câmara de choque térmico foi construída, instrumentada e equipada no decorrer desta pesquisa. A mesma está localizada abaixo do patamar da escada de acesso ao pavimento superior das câmaras acústicas (Figura 31 e Figura 32).

Figura 31 - Desenho esquemático da localização das câmaras e do patamar



Fonte: Adaptado do projeto arquitetônico das câmaras

Figura 32 - Localização da câmara de choque térmico abaixo do patamar



Fonte: Autoria própria

O acesso para colocar as pequenas paredes é através de uma porta, do tipo corta fogo (metálica com preenchimento com placas de isopor) com duas folhas, as quais têm borracha de forno na interface entre as folhas e os batentes para garantir melhor vedação (Figura 33).

Figura 33 - Detalhes das portas da câmara de choque térmico

(a) Isolamento das portas



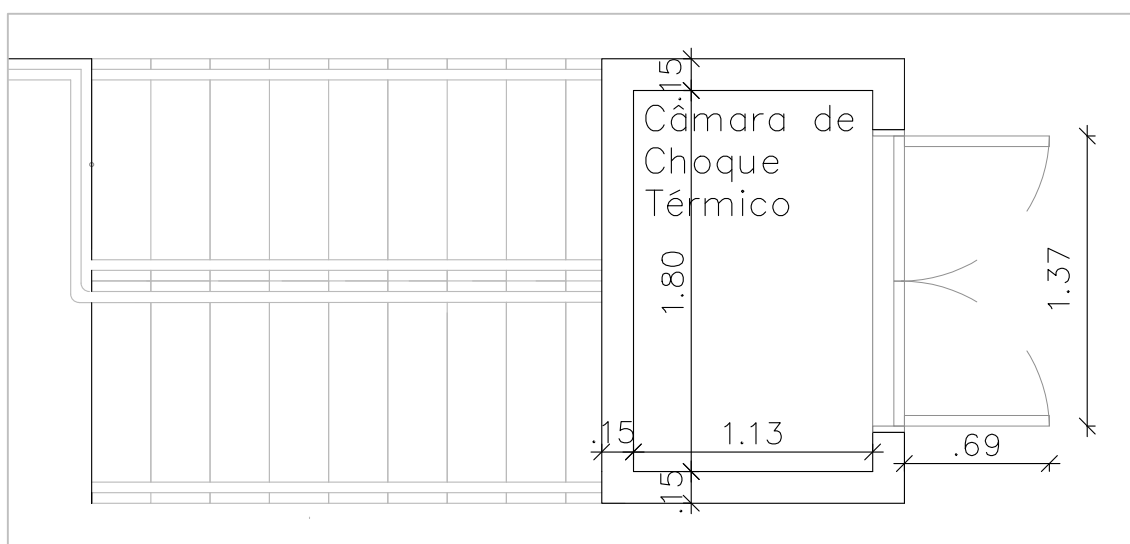
(b) câmara com as portas fechadas



Fonte: Autoria própria

A Figura 34 apresenta um desenho esquemático da câmara de choque térmico com as dimensões da câmara e das portas.

Figura 34 - Desenho esquemático em planta baixa da câmara de choque térmico



Fonte: Autoria própria

O ensaio de choque térmico foi realizado em 2 (duas) paredes, nas quais uma possuía a camada de chapisco e o revestimento de argamassa, e a outra não tinha chapisco, apenas o revestimento de argamassa. As paredes utilizadas no ensaio de choque térmico foram as mesmas ensaiadas na câmara térmica.

A diferença entre as paredes ensaiadas (uma com chapisco e outra sem chapisco) foi importante para verificar a interação entre o revestimento e o substrato, após a ação do calor e choque térmico, que pode ser considerado como ensaio de envelhecimento acelerado, equivalente à ação da chuva e do sol na superfície das paredes externas das edificações. As paredes que foram submetidas a ação do choque térmico também foram comparadas às paredes de referência que não passaram por nenhum tipo de envelhecimento acelerado.

Conforme o método descrito pela norma de desempenho NBR 15575-4 (2013) - Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externa (APÊNDICE E da norma), as duas amostras foram submetidas a 10 ciclos de ação do calor e da água. Durante a ação do calor, atingiu-se a temperatura superficial de $(80 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e manteve-se neste patamar por 1 hora. Imediatamente após a supressão da radiação, resfriou-se a mesma face da amostra exposta ao calor, através de jatos de água aspergidos em sua superfície até atingir a temperatura superficial de $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$. Durante o ensaio, e ao seu final, foi registrado se ocorreu o surgimento, ou não, de fissuras, trincas, descolamentos ou outras deteriorações.

Para o sistema de aquecimento, utilizou-se um painel metálico composto por quatro fogareiros elétricos com resistência blindada, com potência de 750 W cada, totalizando 3000 W, conforme mostra a Figura 35. O painel radiante foi posicionado dentro da câmara à uma distância de 20 cm da parede ensaiada.

Figura 35 - Painel radiante posicionado na câmara de choque térmico



Fonte: Autoria própria

Foi realizada a aspersão de água gelada através de uma tubulação de CPVC perfurada, instalada horizontalmente na altura equivalente ao topo das amostras, permitindo a completa molhagem das paredes. Para o resfriamento da água utilizou-se duas opções: gelo em escamas adquirido em fábrica local e, como uma alternativa mais econômica e ecológica, reaproveitou-se garrafas PET que foram preenchidas com água e levadas ao freezer para congelamento (Figura 36). Para cada ciclo com aspersão de água por 15 minutos, utilizou-se 9 quilos de gelo em escamas ou 9 garrafas de 2,5 litros com água congelada, que eram depositadas dentro da reservatório d'água que alimenta o sistema de aspersão de água da câmara de choque térmico (Figura 36). O reservatório é alimentado pelo sistema de abastecimento de água da UFPB.

Figura 36 – Sistema usado no resfriamento da água



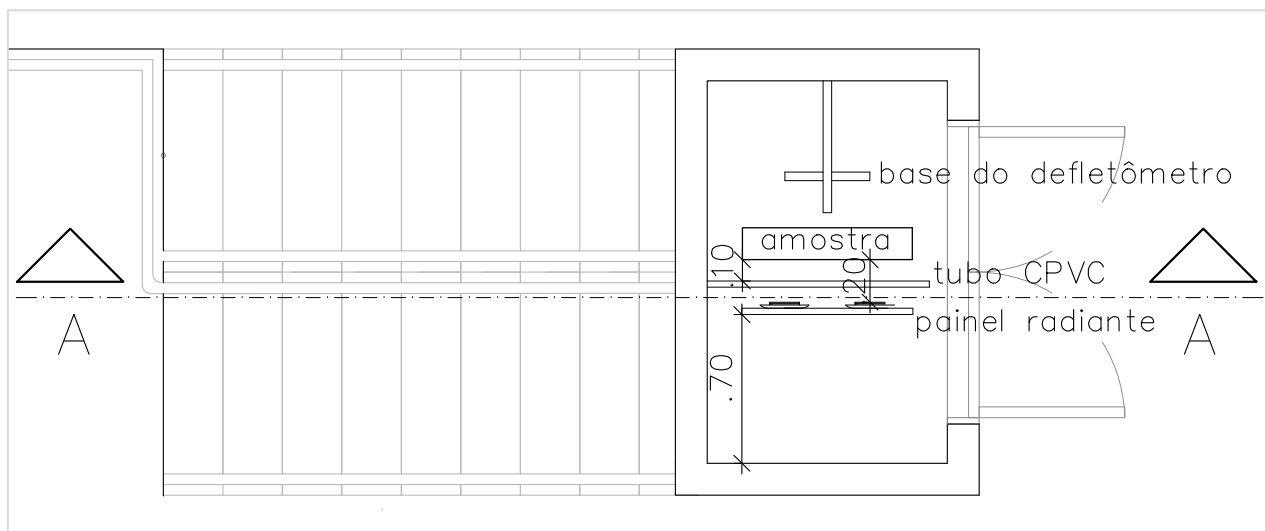
Fonte: Autoria própria

Para cada ciclo de aspersão de água gelada, com duração de 15 minutos, foi necessário preencher o reservatório com aproximadamente 190 litros de água.

Durante a etapa de aspersão de água gelada, para que a temperatura da superfície da parede se encontrasse na faixa de $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$, era crucial que a temperatura da água no reservatório estivesse com pelo menos 18 ou 19 $^\circ\text{C}$. O resfriamento com garrafas PET, apesar de sustentável e econômico, demandava em torno de uma hora para ocorrer a diminuição da temperatura da água no reservatório, enquanto que o resfriamento com gelo em escamas ocorria dentro de 5 a 10 minutos.

As amostras de paredes foram posicionadas na parte central da câmara a 20 cm da fonte de calor e foram utilizadas placas de isopor, completando os vãos entre a amostra e o contorno correspondente à seção transversal da câmara. Com isso, procurou-se isolar as duas áreas separadas pela amostra, uma com face exposta e outra com face oposta à ação direta do calor e choque térmico. A Figura 37 apresenta um desenho esquemático do posicionamento da amostra, na câmara de choque térmico, em relação ao painel radiante e ao tubo CPVC de aspersão de água.

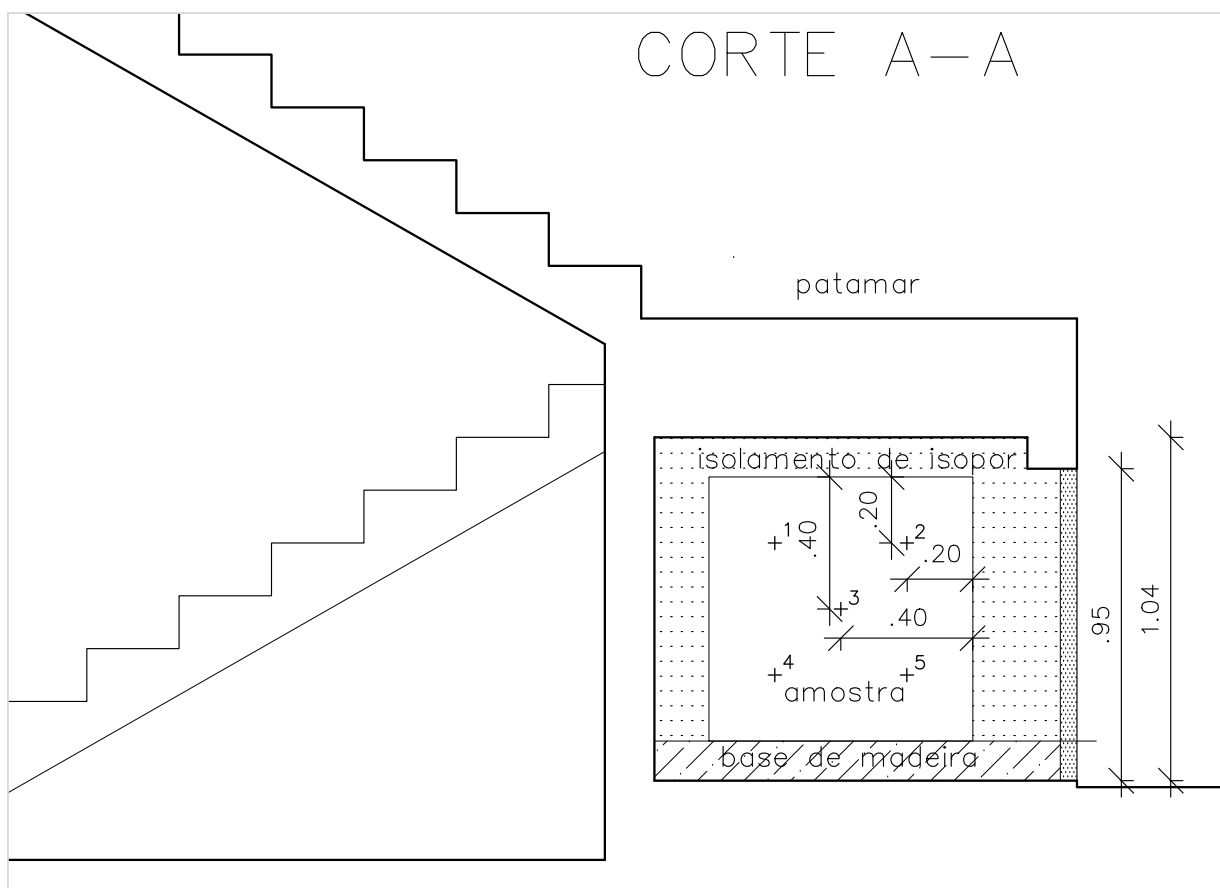
Figura 37 - Desenho esquemático do posicionamento das amostras na câmara de choque térmico



Fonte: Autoria própria

A instrumentação das amostras ocorreu através da utilização de cinco termopares do tipo T (formado por um fio de cobre (elemento positivo) e um fio de constantan (elemento negativo), posicionados na superfície exposta à ação direta do calor e choque térmico, conforme Figura 38 e Figura 39. Um defletômetro foi instalado no ponto central da amostra, na face oposta à incidência direta do calor e choque térmico, apoiado numa base metálica produzida especialmente para servir de suporte ao dispositivo durante o ensaio (Figura 40).

Figura 38 – Desenho esquemático com o posicionamento dos termopares na superfície da parede, no lado exposto à ação direta do calor e choque térmico



Fonte: Autoria própria

Figura 39 – Imagem da parede instrumentada com cinco termopares tipo T, no lado exposto à ação direta do calor e choque térmico



Fonte: Autoria própria

Figura 40 – Imagem do Defletômetro posicionado no ponto central da parede, no lado oposto à ação direta do calor e choque térmico



Fonte: Autoria própria

Os 10 ciclos de ação do calor e aspersão de água fria na superfície das amostras foram realizados de forma não contínua e sem automatização, e pelo fato desse sistema não estar ainda disponível. Para a coleta das informações durante o ensaio, os termopares foram conectados ao sistema de aquisição de dados MX840A da HBM, que registraram as temperaturas superficiais das paredes continuamente por cada ciclo. O defletômetro também foi conectado ao

mesmo sistema de aquisição para registrar o deslocamento horizontal das paredes durante o ensaio.

Após a realização do ensaio de choque térmico das paredes, ocorreu um incidente durante a retirada da Parede S_CC_{CT} de dentro da câmara de choque térmico na qual resultou na quebra e, separação da última fiada inteira de blocos do restante da parede. Mas, incidente não inutilizou a amostra que continuou sendo analisada nos experimentos posteriores de Resistência de aderência à tração da argamassa. Entretanto, a mesma não foi ensaiada quanto a Resistência à compressão de parede.

3.8.3 Resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento em paredes com Blocos EVAi

A NBR 13528 (2010) descreve a aderência não como uma propriedade da argamassa, mas sim como a propriedade do sistema de revestimento de resistir às ações atuantes na interface com o substrato.

A aderência da argamassa ao substrato varia de acordo com diversos fatores, tais como: condições ambientais, tipo de substrato, preparo da base, métodos de aplicação do produto, etc. Para avaliar parâmetros diferentes, o ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa foi realizado em todas as quatro paredes, porém duas delas foram previamente submetidas aos ensaios de câmara térmica e ação do choque térmico (uma com e outra sem chapisco) e as outras duas (também uma com e outra sem chapisco) não foram expostas a tais ensaios térmicos.

Para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa, utilizou-se o dinamômetro de tração eletrônico da Solotest, Figura 41, com velocidade constante de carregamento de 80 a 500 Newtons por segundo.

Figura 41 - Dinamômetro de tração eletrônico



Fonte: Autoria própria

Como é indicado pela norma, NBR 13528 (2010), após a cura do revestimento foram feitos 12 furos aleatórios em cada parede (Figura 42a), utilizando uma furadeira acoplada a uma broca do tipo serra-copo com 50 mm de diâmetro. Então, realizou-se a limpeza dos furos e colagem das pastilhas circulares com cola a base de resina epóxi (Figura 42b).

Figura 42 - Preparação da parede para ensaio de resistência de aderência

a) Corte do revestimento



(b) Pastilhas coladas



Fonte: Autoria própria

Após o tempo mínimo de 24 horas de secagem da cola, o dinamômetro de tração realizou o teste de arrancamento das pastilhas e registrou carga correspondente a cada teste. Devido ao elevado peso do suporte de arrancamento na qual se acopla a pastilha, decidiu-se efetuar o ensaio com as paredes

dispostas horizontalmente (Figura 43), facilitando a realização e minimizando possíveis perdas de medição durante o ensaio.

Figura 43 - Realização do ensaio de resistência de aderência da argamassa



Fonte: Autoria própria

Na Figura 44 e Figura 45 têm-se as paredes após a realização do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa.

Figura 44 - Paredes (com chapisco, com e sem choque térmico) após o ensaio de arrancamento das pastilhas

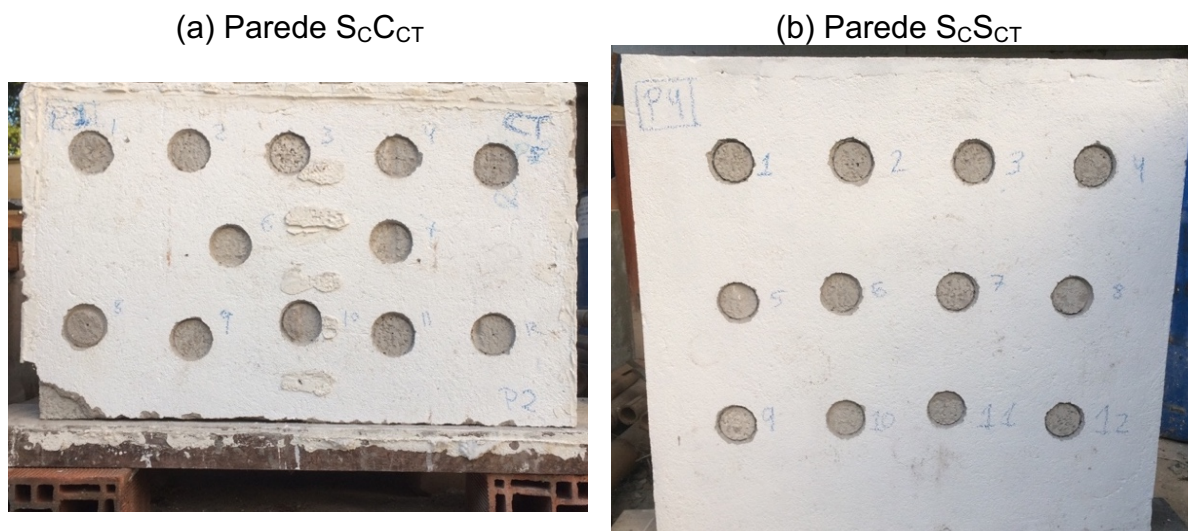
(a) Parede C_cC_{CT}

(b) Parede C_cS_{CT}



Fonte: Autoria própria

Figura 45 - Paredes (sem chapisco, com e sem choque térmico) após o ensaio de arrancamento das pastilhas

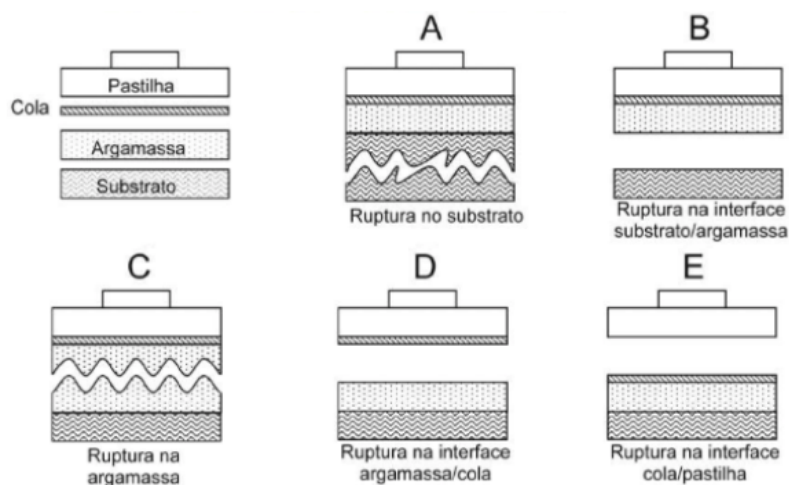


Fonte: Autoria própria

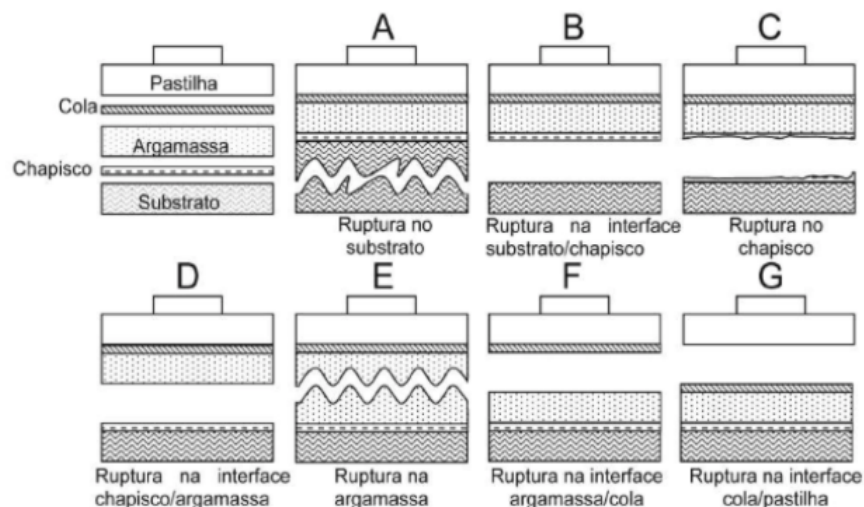
Por fim, foi realizada a análise da forma de ruptura, mediu-se a espessura e o diâmetro dos corpos de prova, e calculou-se a resistência de aderência à tração de cada amostra.

Segundo Carasek (2010), a análise do tipo de ruptura é um aspecto tão importante quanto os valores de resistência de aderência obtidos. Rupturas do tipo coesiva (que ocorrem no interior da argamassa de revestimento ou do substrato), são pouco preocupantes, desde que não sejam valores mais baixos do que os limites mínimos estabelecidos pela NBR 13749 (2013). Por outro lado, rupturas do tipo adesiva (que ocorrem na interface argamassa de revestimento/substrato), os valores devem ser mais elevados do que os limites mínimos estabelecidos pela NBR 13749 (2013), pois existe maior potencial para a ocorrência de patologias.

A NBR 13528 (2010) ilustra as diversas formas de ruptura que podem ocorrer no ensaio de resistência à tração para sistemas de revestimento sem chapisco e com chapisco (Figura 46 e Figura 47).

Figura 46 - Formas de ruptura para um sistema de revestimento sem chapisco

Fonte: NBR 13528 (2010)

Figura 47 - Formas de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco

Fonte: NBR 13528 (2010)

A norma determina que as formas de ruptura devem ser expressas em forma de porcentagem com indicação da ocorrência. Nos casos apresentados pelo exemplo B da Figura 46 e pelos exemplos B e D da Figura 47, o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio. Nos demais casos, a resistência de aderência é maior do que o valor obtido no ensaio e o resultado deve ser apresentado precedido pelo sinal *maior que* (>). Por fim, a ruptura que ocorrer na interface cola/pastilha deve ter o resultado desprezado.

3.8.4 Resistência à compressão e encurtamento das paredes com Blocos EVAi

Para a realização do ensaio de compressão das paredes, utilizou-se um pórtico com prensa hidráulica elétrica, referência I-4079, da marca CONTENCO, apresentada na Figura 48.

Figura 48 - Prensa utilizada no ensaio de resistência à compressão de paredes



Fonte: Autoria própria

Conforme requisitada por norma, todas as amostras possuíam capeamento produzido durante a etapa de construção das paredes, permitindo o nivelamento do topo.

Os ensaios de resistência à compressão das paredes foram realizados conforme o método descrito pelo tópico de número 5 (Ensaio para a determinação da resistência à compressão de pequenas paredes) da NBR 16522 (2016). De acordo com a norma, a carga deve ser aplicada em incrementos da ordem de 10% do valor da carga de ruptura estimada. Como o valor da carga de ruptura das

paredes era desconhecido, fez-se uma estimativa para a realização do ensaio de resistência à compressão da primeira parede (parede-teste) e, a partir do resultado encontrado no ensaio, fez-se o ajuste da carga de ruptura real para as próximas paredes a serem rompidas. Utilizou-se a parede S_CS_{CT} como parede-teste.

Para o cálculo da carga de ruptura estimada da primeira parede a ser ensaiada, utilizou-se o valor de eficiência das paredes de 0,40, resultado encontrado no trabalho de Rocha (2008), e a resistência à compressão média obtida com os blocos do presente estudo (1,45 MPa) aplicados a fórmula de eficiência parede-bloco, apresentada no item 2.3.2, conforme abaixo:

$$E = \frac{fc_{Parede}}{fc_{Unidade}} \rightarrow 0,40 = \frac{fc_{Parede}}{1,45 \text{ MPa}} \rightarrow fc_{Parede} = 0,58 \text{ MPa}$$

Em que,

E : Eficiência da alvenaria = 0,40

fc_{Parede} : Resistência da parede = incógnita

$fc_{Unidade}$: Resistência da unidade = 1,45 MPa

Sabendo-se que: 1 MPa = 1000 kN/m², com a informação da área em m² pode-se descobrir a carga em kN. A superfície da parede que receberá a carga de compressão possui 15 cm de largura e 80 cm de comprimento por isso, a área que receberá a carga possui 1200 cm², ou seja, 0,12 m². Sendo assim:

$$0,58 \text{ MPa} = 580 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 580 \text{ kN/m}^2 \times 0,12 \text{ m}^2 = 69,6 \text{ kN}$$

O valor da carga de ruptura estimada foi então considerado igual a 70 kN e a aplicação da carga foi realizado em quatro etapas:

- 1º. Aplicou-se um ciclo de carga e descarga até o valor de 50% da carga de ruptura estimada (35 kN);

- 2º. Aplicou-se mais um ciclo de carga e descarga, até o valor de 50% da carga de ruptura estimada (35 kN);
- 3º. Aplicou-se a carga de forma crescente, em incrementos da ordem de 10% do valor da carga de ruptura estimada (7 kN) até o rompimento do corpo de prova;
- 4º. Continuou-se aplicando a carga de forma ininterrupta até o colapso do corpo de prova.

Após a ruptura da primeira parede (parede-teste), determinou-se a carga de ruptura real e a partir deste valor realizou-se o ensaio de resistência à compressão nas outras paredes, aplicando-se do mesmo modo a carga em etapas.

Com o intuito de mensurar os deslocamentos verticais ocasionados pelo encurtamento das paredes durante o ensaio de resistência à compressão, foram instalados dois defletômetros analógicos com precisão de 0,01 mm (Figura 49), nas laterais das paredes, conforme a NBR 16522 (2016). As leituras dos encurtamentos dos corpos de prova ocorreram a cada novo incremento de 10% da carga de ruptura (durante a terceira etapa da aplicação da carga) e posteriormente, traçou-se o gráfico carga \times deslocamento.

Figura 49 - Detalhe do defletômetro utilizado e sua instalação



Fonte: Autoria própria

4 Análise de discussão dos resultados

4.1 Caracterização dos materiais

4.1.1 Agregado miúdo (agregado natural)

Em todo o desenvolvimento da pesquisa o agregado miúdo utilizado foi areia quartzosa, na qual não sofreu processo de peneiramento ou lavagem no laboratório. A Tabela 12 apresenta as principais características físicas da areia empregada.

Tabela 12 - Propriedades físicas da areia utilizada

Propriedades	Valor
Massa Unitária	1671,43 kg/m ³
Massa Específica	2628,95 kg/m ³
Diâmetro Máximo	1,18 mm
Módulo de Finura	2,00

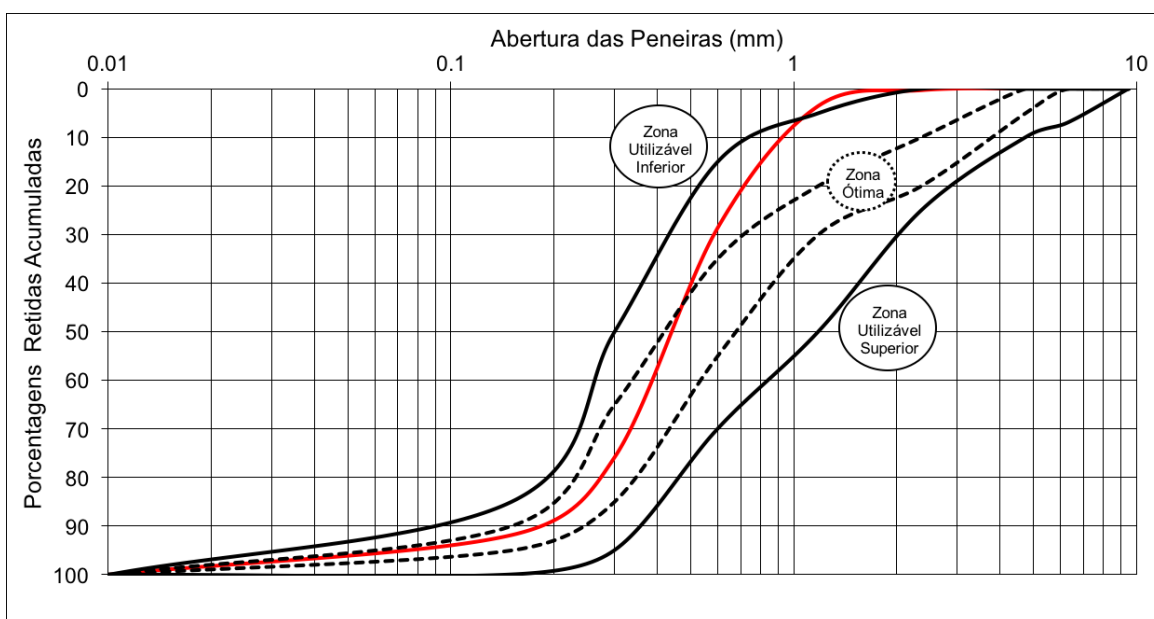
Fonte: Autoria própria

A Tabela 13 mostra a composição granulométrica da areia utilizada e a Figura 50 ilustra a curva granulométrica e os limites, inferior e superior, estabelecidos pela NBR 7211 (2009).

Tabela 13 - Composição granulométrica da areia utilizada

Peneira (mm)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75	0,04	0,04
2,36	0,37	0,37
1,18	3,23	3,60
0,6	25,06	28,66
0,3	47,18	75,83
0,15	15,98	91,81
Resto	8,15	99,96

Fonte: Autoria própria

Figura 50 - Curva granulométrica da areia utilizada

Fonte: Autoria própria

Observa-se que o agregado miúdo apresenta elevado teor de finos, já que 47,18% do material foi retido na peneira de abertura 0,30 mm, fator importante para a produção de pré-moldados, pois garante um bom acabamento superficial. Entretanto, para que haja a possibilidade de dispensar o uso de chapisco, é importante que o Bloco EVAi tenha elevada rugosidade superficial e por isso, esse agregado miúdo poderia ser considerado inadequado. Por outro lado, a proporção entre os agregados graúdo e miúdo, 80% de resíduo de EVA e 20% de areia, na dosagem utilizada para moldar o Bloco EVAi já garante a rugosidade desejada devido a pequena quantidade de areia na mistura. Portanto, considerou-se a areia adequada para utilizar na moldagem dos Blocos EVAi.

4.1.2 Agregado de EVA (agregado artificial)

As principais características dos agregados de EVA, comparados aos resultados de Rocha (2008) e Gomes (2015), são apresentadas na Tabela 14 e as curvas granulométricas dos agregados na Figura 51. A identificação das 5 amostras de agregados leves, geradas a partir dos resíduos de EVA é a seguinte:

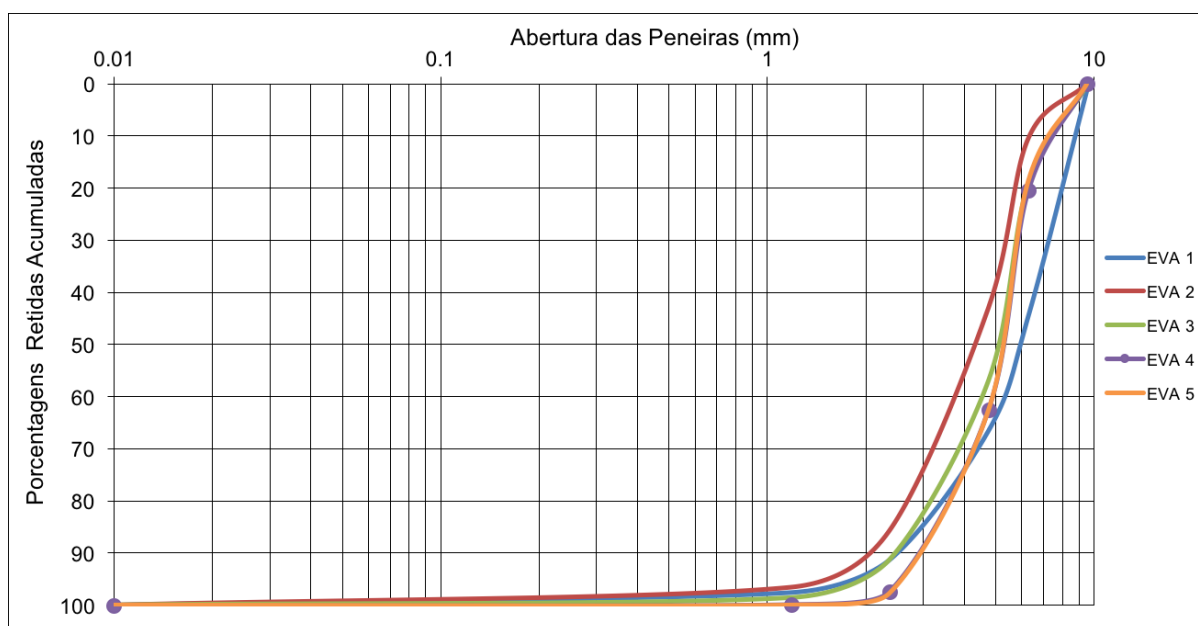
- EVA 1: agregado resultante da moagem de aparas de sandálias;
- EVA 2: parte do EVA 1 após tratamento térmico em água a 100 °C;
- EVA 3: parte do EVA 1 após tratamento térmico em estufa a 100 °C;
- EVA 4: agregado obtido já moído pela indústria sem modificações;
- EVA 5: parte do EVA 4 após tratamento em estufa a 100 °C.

Tabela 14 - Propriedades físicas dos agregados de EVA

Propriedades	EVA 1	EVA 2	EVA 3	EVA 4	EVA 5	Rocha (2008)	Gomes (2015)
Massa Unitária (kg/m ³)	107,14	235,71	192,86	278,57	307,14	105	150
Diâmetro Máximo (mm)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Módulo de Finura	5,57	5,25	5,48	5,60	6,61	5,85	5,7

Fonte: Autoria própria

Figura 51 - Curva granulométrica dos agregados de EVA



Fonte: Autoria própria

A partir dos resultados apresentados, observa-se que o tratamento térmico realizado em água fervente a 100 °C foi mais efetivo do que o tratamento em estufa a 100 °C, porém, nos dois casos a redução no volume do agregado de EVA

foi pouco significativa, comparado ao estudo de Bezerra (2002), no qual verificou que, com o tratamento térmico em água a 100 °C, houve uma redução na proporção de 4 para 1. Além disso, não ocorreram variações em relação ao diâmetro máximo, sendo 9,5 mm para todos os agregados, porém ocorreu uma pequena variação no módulo de finura.

Conforme citado no item 3.2.2, a massa unitária dos agregados artificiais é o fator decisivo para a escolha do agregado ideal, já que resultados superiores de massa unitária implicam em maior densidade do material e, conseqüentemente, os blocos produzidos com tal agregado de EVA terão maior resistência à compressão e menor absorção de água.

O EVA 5 foi o agregado leve artificial que apresentou a maior massa unitária, seguido do EVA 4, que também foi bastante satisfatório. Devido à grande quantidade de material que foi utilizada na pesquisa e também pelo fato do tratamento térmico ser dispendioso, trabalhoso e representar uma etapa com consumo de energia adicional, o agregado de EVA escolhido foi o EVA 4, que não necessitou de nenhuma modificação, sendo fornecido já moído pela indústria de calçados e, portanto, já pronto para o uso, simplificando todo o processo.

Posteriormente, o agregado de EVA escolhido (EVA 4) passou pelo ensaio de absorção de água que teve como resultado 26,70% após 24 horas. Esse valor foi bastante positivo, pois no trabalho desenvolvido por Bezerra (2002) só foi possível obter valores nesta mesma ordem, após aplicar o tratamento térmico no agregado de EVA. De acordo com Bezerra (2002), o agregado de EVA com menor massa unitária (em torno de 100 kg/m³), obtido de resíduo sem tratamento térmico, tende a apresentar elevada absorção de água, mesmo após 24 horas, enquanto que agregado de EVA com maior massa unitária (em torno de 300 kg/m³) a absorção de água é bem mais baixa. O agregado de EVA 4 selecionado no presente estudo, mesmo sem tratamento térmico, tem massa unitária compatível com baixa absorção de água, o que é interessante para compatibilizar o aumento da resistência à compressão com a redução da absorção de água do Bloco EVAi.

4.2 Caracterização do Bloco EVAi

4.2.1 Massa unitária em estado fresco e massa unitária seco ao ar

Os resultados obtidos com os ensaios de massa unitária em estado fresco e massa unitária seco ao ar dos Blocos EVAi, comparados aos resultados obtidos por Rocha (2008), são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Massas unitárias dos Blocos EVAi

Blocos EVAi	Massa do Bloco estado fresco (kg)	Massa do Bloco seco ao ar (kg)	Massa Unitária estado fresco (kg/m ³)	Massa Unitária seco ao ar (kg/m ³)
Presente estudo	8,48	8,24	1085,87	1054,40
Rocha (2008)	7,42	7,00	904,87	853,65

Fonte: Autoria própria

Em comparação com a massa do Bloco seco ao ar do estudo de Rocha (2008) - 7,00 kg - o resultado encontrado (8,24 kg) foi mais elevado devido, principalmente, à maior densidade do resíduo, que gerou o agregado de EVA 4 utilizado na moldagem do componente. Apesar disso, a massa do Bloco EVAi obtida na pesquisa é considerada como vantajosa e acarreta em ganhos de produtividade e alívio de carga na estrutura, pois considerando este mesmo bloco feito de concreto convencional, com massa específica média de 2400 kg/m³, o bloco teria uma massa em torno 19,7 kg (ROCHA, 2008).

4.2.2 Absorção de água

A absorção de água média dos Blocos EVAi encontrada a partir dos ensaios foi de 11,98%. O resultado alcançado representa uma grande redução da absorção de água do Bloco EVAi, comparado com o valor obtido por Gomes (2015), que obteve 20,5% de absorção de água para este mesmo bloco, produzido com mesma dosagem (1: 5; cimento: agregados) e mesma proporção entre EVA

(80%) e areia (20%). A única variante entre os estudos é que o resíduo de EVA utilizado no presente estudo é mais denso e influenciou favoravelmente nesta propriedade do Bloco EVAi.

A NBR 6136 (2016) apresenta como requisito para blocos de concreto com agregado leve, que é o caso aqui tratado, uma absorção de água menor ou igual a 13,0%, confirmando que o resultado obtido (11,98%) foi bastante satisfatório.

4.2.3 Resistência à compressão dos Blocos EVAi

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados nos Blocos EVAi, após 7 dias e 28 dias de cura, são apresentados na Tabela 16. Após a aplicação do método de Chauvenet um resultado foi eliminado (valor riscado) e a média foi recalculada sem considerá-lo.

Tabela 16 - Resultados da resistência à compressão dos Blocos EVAi

Tempo de Cura	Resistência à Compressão por amostra (MPa)	Resistência à Compressão Média (MPa)
7 dias	1,33	1,36
	1,32	
	1,42	
28 dias	1,63	1,45
	1,43	
	1,47	
	1,35	
	1,46	
	1,46	
	1,33	
	1,42	
	1,71	
	1,52	

Fonte: Autoria própria

O resultado que caracteriza a propriedade do bloco em estudo é a média obtida após 28 dias de cura, ou seja, 1,45 MPa. Este valor é maior comparado

com aqueles obtidos nas pesquisas anteriores realizadas com o mesmo tipo de Bloco EVAi (Rocha (2008) obteve 1,19 MPa e Gomes (2015) obteve 0,9 MPa).

De acordo com dados da literatura (BEZERRA, 2002; POLARI FILHO, 2005; ROCHA, 2008) a resistência à compressão dos blocos EVA é inversamente proporcional ao teor de incorporação do agregado de EVA no compósito e, ao utilizar teores maiores de EVA, como no caso do Bloco EVAi (80% de EVA) sempre irá resultar em valores mais baixos de resistência à compressão, devido a presença dos agregados leves. Ainda que se utilizem agregados de EVA com maiores densidades, o comportamento mecânico do bloco não será igual aos dos blocos de concreto convencional. Por isso, o valor de $f_{bk} \geq 3,0$ MPa, exigido pela NBR 6136 (2016), que se refere a blocos de concreto sem função estrutural, não parece adequado para o bloco EVA que também tem apenas a função de vedação. Na verdade, a norma não apresenta valores específicos como requisito de resistência à compressão para blocos que utilizem resíduos ou agregados leves, como é o caso do bloco EVA.

A Figura 52 apresenta o Bloco EVAi após o rompimento pelo ensaio de resistência à compressão. Observa-se que o bloco manteve sua forma original e apesar de ter sido rompido, não se despedaça o que é típico de um material dúctil.

Figura 52 - Bloco EVAi após rompimento à compressão



Fonte: Autoria própria

4.3 Seleção das argamassas de assentamento e revestimento

4.3.1 Índice de consistência das argamassas de assentamento e revestimento

Os resultados obtidos no ensaio de determinação do índice de consistência realizado nas argamassas (cimento: cal: areia; Traço 1: 2: 10 e Traço 1: 2: 11) são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resultados do índice de consistência das argamassas

Argamassas (cimento: cal: areia)	relação a/c	Espalhamento (mm)
Traço 1: 2: 10	2,5	231,7
	2,6	256,7
Traço 1: 2: 11	2,6	200,0
	2,7	216,7
	2,8	243,3
	2,9	265,0

Fonte: Autoria própria

Como citado no tópico 3.6.1, o teor de água ideal é aquele na qual se obtém a consistência padrão de 260 ± 5 cm (NBR 16541, 2016). Sendo assim, para o Traço 1: 2: 10, o teor de água mais adequado é a relação a/c 2,6 e para o Traço 1: 2: 11 é a relação a/c 2,9.

4.3.2 Resistência à tração na flexão das argamassas de assentamento e revestimento

A Tabela 18 apresenta os resultados da resistência à tração na flexão realizados em corpos de prova (40 mm x 40 mm x 160 mm) da argamassa de Traço 1: 2: 10 e relação a/c 2,6; e da argamassa de Traço 1: 2: 11 e relação a/c 2,9, conforme método descrito no item 3.6.2.

Tabela 18 - Resultados da resistência à tração na flexão das argamassas

Argamassas (cimento: cal: areia)	Resistência à tração na flexão		
	Tempo de Cura	Individuais (MPa)	Média (MPa)
Traço 1: 2: 10: a/c 2,6	7 dias	0,50	0,51
		0,49	
		0,55	
	28 dias	0,65	0,69
		0,64	
		0,77	
Traço 1: 2: 11: a/c 2,9	7 dias	0,38	0,33
		0,32	
		0,28	
	28 dias	0,68	0,62
		0,57	
		0,60	

Fonte: Autoria própria

Em comparação com a argamassa de Traço 1: 2: 10: a/c 2,6, a argamassa de Traço 1: 2: 11: a/c 2,9 apresentou valores menores de resistência à tração aos 7 dias de cura, principalmente devido ao aumento da relação agregado/aglomerante e à maior quantidade de água na dosagem. Porém, essa diferença não foi significativa após 28 dias.

4.3.3 Resistência à compressão das argamassas de assentamento e revestimento

Os resultados da resistência à compressão das argamassas são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados da resistência à compressão das argamassas

Argamassas (cimento: cal: areia)	Resistência à Compressão		
	Tempo de Cura	Individuais (MPa)	Média (MPa)
Traço 1: 2: 10: a/c 2,6	7 dias	1,15	1,19
		1,28	
		1,01	
		1,14	
		1,42	
		1,14	
	28 dias	1,85	1,85
		1,87	
		1,93	
		1,82	
		1,74	
		1,86	
Traço 1: 2: 11: a/c 2,9	7 dias	0,79	0,73
		0,73	
		0,66	
		0,76	
		0,76	
		0,67	
	28 dias	1,30	1,32
		1,51	
		1,26	
		1,22	
		1,36	
		1,25	

Fonte: Autoria própria

Conforme explicado no item 3.5, a escolha da argamassa a ser utilizada na produção das paredes baseou-se nos resultados de resistência à compressão. Na Tabela 20 apresenta-se o comparativo entre a resistência à compressão aos 28 dias obtidos com as argamassas testadas e com o Bloco EVAi.

Tabela 20 - Relação entre as resistências à compressão da argamassa e do Bloco EVAi

Partes da parede	Resistência compressão 28 dias (MPa)	Relação entre resistências
Bloco EVAi cimento: agregados (80% EVA e 20% areia, em volume)		
Traço 1: 5	1,45	
Argamassas cimento: cal: areia: a/c		
Traço 1: 2: 10: 2,6	1,85	
Traço 1: 2: 11: 2,9	1,32	127,6%
		91,0%

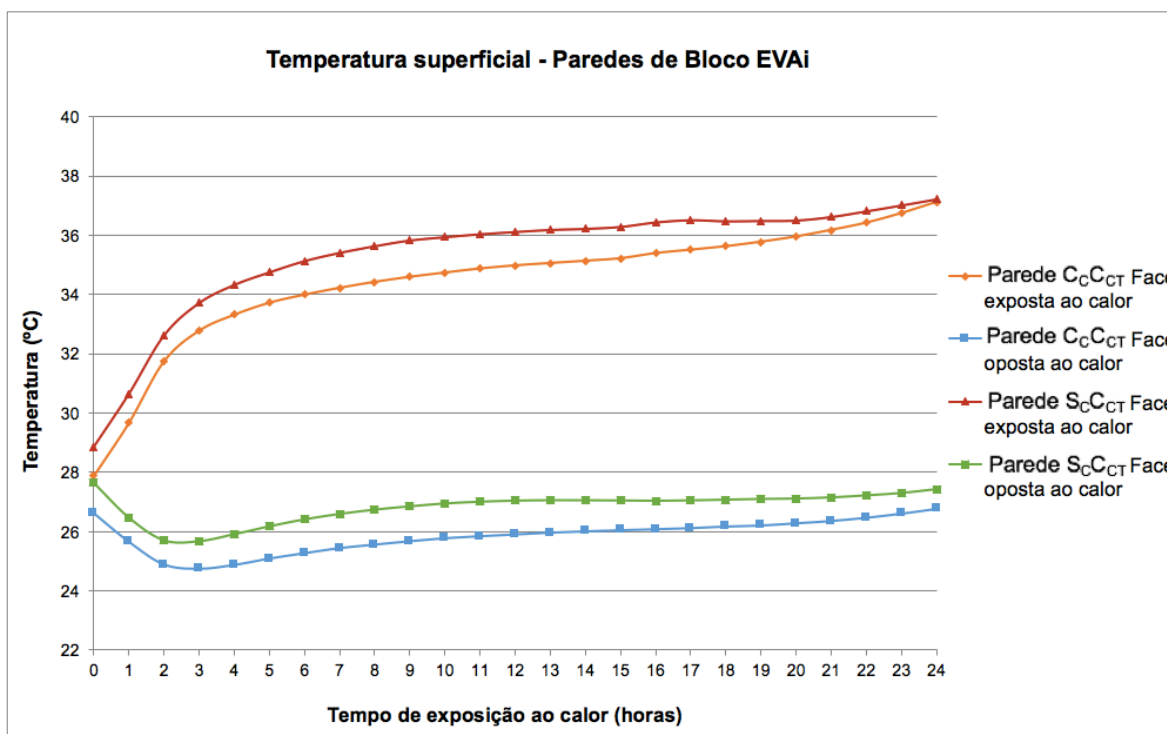
Fonte: Autoria própria

Levando em consideração que a argamassa de assentamento deve ter resistência à compressão entre 70% e 100% com relação à resistência do bloco (RAMALHO e CORRÊA, 2003), a argamassa escolhida é a seguinte: Traço 1: 2: 11: 2,9 (cimento: cal: areia: a/c), por ser aquela que atende aos limites estabelecidos e, portanto, ser a mais adequada para o assentamento dos Blocos EVAi. A mesma dosagem da argamassa de assentamento é a utilizada como argamassa de revestimento.

4.4 Avaliação da compatibilidade mecânica e térmica das paredes com Bloco EVAi

4.4.1 Capacidade de retenção do fluxo de calor das paredes com Bloco EVAi

Na Figura 53 apresenta-se o gráfico que resultou dos ensaios realizados em câmara térmica com a Parede $C_C C_{CT}$ e a Parede $S_C C_{CT}$. Lembra-se que ambas foram construídas com Blocos EVAi, na qual a Parede $C_C C_{CT}$ recebeu a camada de chapisco e o revestimento de aproximadamente 1 cm nos dois lados. No caso da Parede $S_C C_{CT}$ ela recebeu apenas a camada de revestimento de 1 cm aplicado em ambos os lados.

Figura 53 - Variação de temperatura média durante ensaio em câmara térmica

Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado no gráfico, no intervalo entre 10 horas e 18 horas de ensaio o comportamento das temperaturas tende a um padrão praticamente constante nas duas faces das paredes, ou seja, com pequena variação nas temperaturas ao longo do intervalo de tempo. Neste período, considera-se que a transferência de calor através da amostra encontra-se no regime permanente de transferência calor, sendo possível inferir o fluxo de calor que atravessa as amostras diferentes. Deve-se atentar que o período para calcular a temperatura média global, neste caso, diferente dos estudos anteriores, na medida em que ficou definida para o intervalo entre a 10^a e 18^a hora do ensaio.

A Tabela 21 apresenta a temperatura média global medida no ambiente e nas faces da Parede $C_C C_{CT}$ e da Parede $S_C C_{CT}$, assim como as diferenças entre tais temperaturas.

Tabela 21 - Temperatura média global nos ambientes e nas faces das paredes

Amostras	Temperatura média global no ambiente (°C)			Temperatura média global na face (°C)		
	Exposto ao Calor	Oposto ao Calor	Diferença	Exposta ao Calor	Oposta ao Calor	Diferença
Parede C _C C _{CT}	44,9	19,4	25,4	35,2	26,0	9,2
Parede S _C C _{CT}	47,0	19,9	27,1	36,3	27,0	9,2

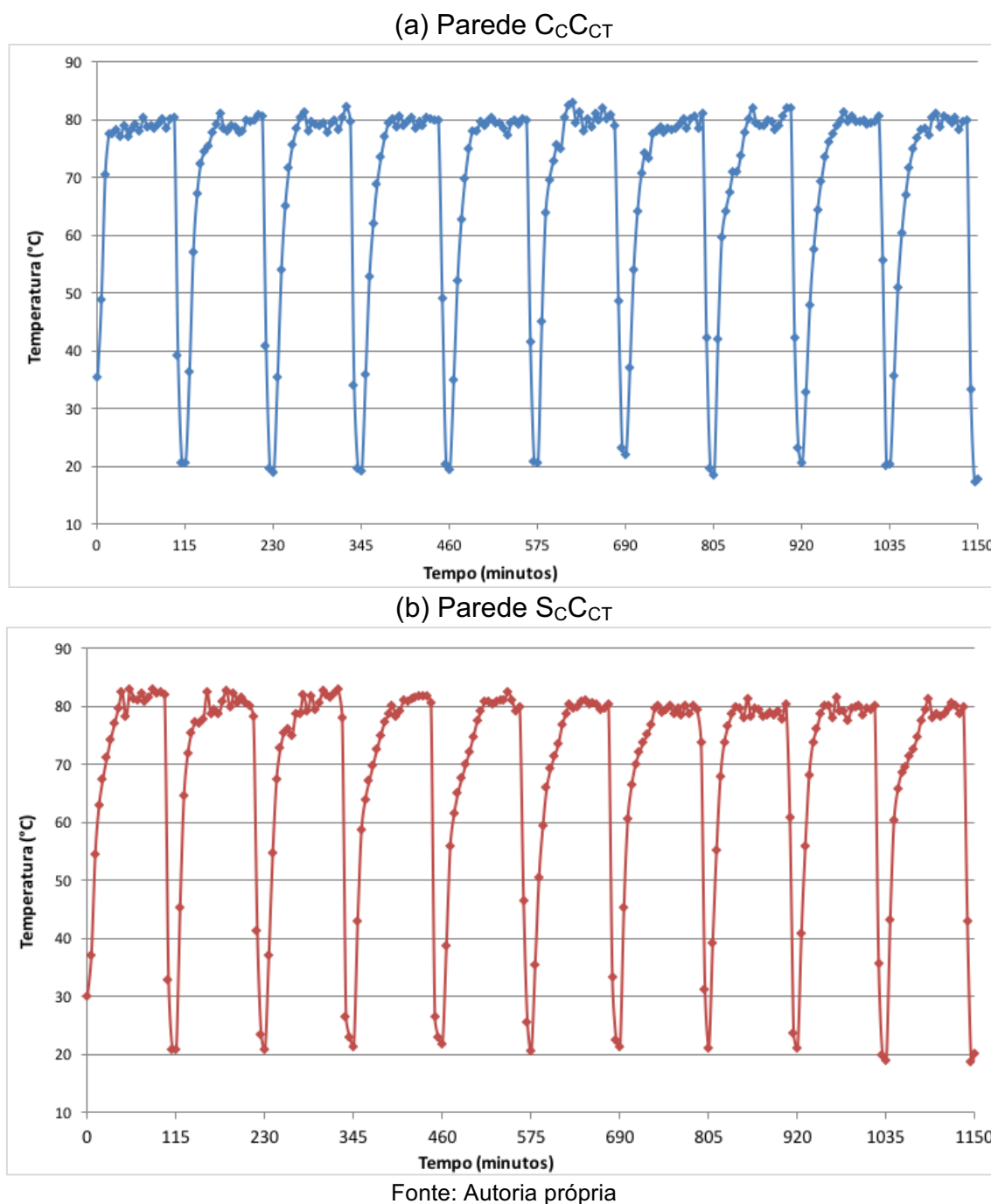
Fonte: Autoria própria

Ao compararmos os resultados apresentados na Tabela 21, observa-se que as amostras demonstraram comportamento muito semelhante e os valores referentes à diferença de temperatura média global entre as faces foram iguais em ambas as amostras. Ou seja, a variável chapisco não influenciou no resultado.

4.4.2 Ação do calor e choque térmico em parede com Bloco EVAi

A etapa de aquecimento das superfícies das amostras até a temperatura de 80 ± 3 °C teve duração de 40 minutos e permaneceram neste patamar de temperatura por mais 60 minutos. A fase de resfriamento através da molhagem (choque térmico) das amostras até a redução da temperatura superficial para 20 ± 3 °C teve duração de 15 minutos. Sendo assim, cada ciclo teve duração de 115 minutos e, como são necessários 10 ciclos de aquecimento e molhagem, o ensaio completo teve duração de 1150 minutos para cada parede.

As temperaturas medidas nas faces expostas da Parede C_CC_{CT} e da Parede S_CC_{CT} durante os ciclos de ação do calor e choque térmico são apresentados detalhadamente nos APÊNDICES A e B e em forma gráfica na Figura 54.

Figura 54 - Temperaturas nos 10 ciclos de choque térmico das paredes

A etapa de aquecimento da face exposta das paredes se iniciou com 35 °C para a Parede $C_C C_{CT}$ e 30 °C para a Parede $S_C C_{CT}$ e se elevaram gradativamente até a temperatura de 80 °C. Observou-se que a temperatura do ambiente externo, no momento que se realizou cada ciclo, influenciou nas temperaturas medidas na face exposta das amostras, de forma que, nos ciclos realizados a partir das 14

horas, as amostras atingiram o patamar de 80 °C mais rápido do que nos ciclos realizados no período da manhã. Deve-se levar em conta o período do ano (fevereiro/março) quando foi realizado esse ensaio, uma vez que ocorreu forte incidência de sol sobre a câmara de choque térmico, durante grande parte do dia. Em outros períodos do ano a posição da câmara de choque térmico permanece sombreada a maior parte do dia, podendo não interferir no tempo do ensaio.

As diferenças médias entre o deslocamento horizontal medido após 45 min da estabilização da temperatura superficial em (80 ± 3) °C e após o resfriamento das amostras são apresentadas na Tabela 22. Estes resultados representam a deformação horizontal média de retração sofrida por cada amostra no momento do choque térmico.

Tabela 22 - Diferenças médias dos deslocamentos nos choques térmicos

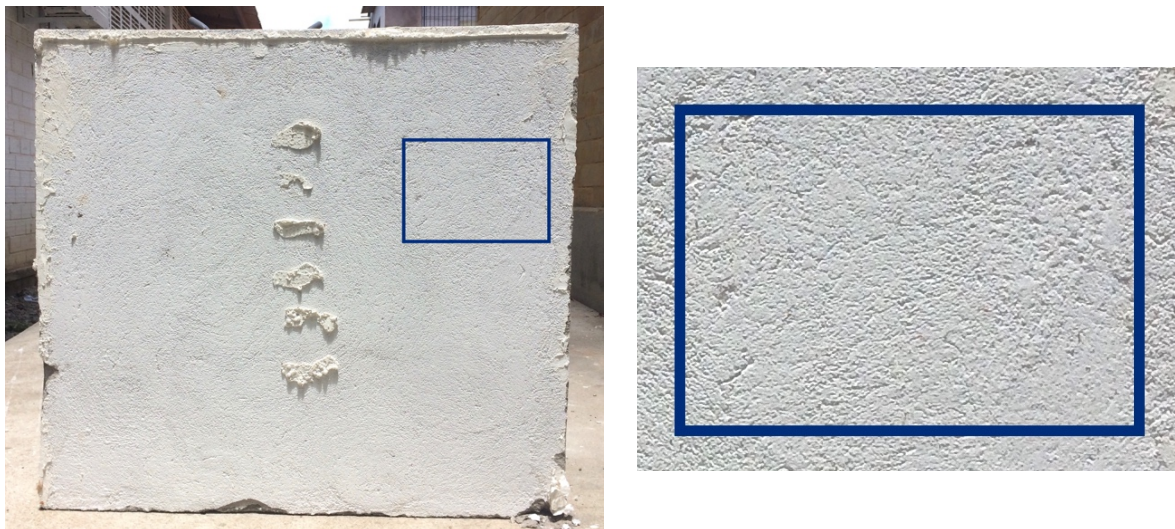
Amostra	Diferenças médias dos deslocamentos
Parede C _C C _{CT}	0,46 mm
Parede S _C C _{CT}	0,53 mm

Fonte: Autoria própria

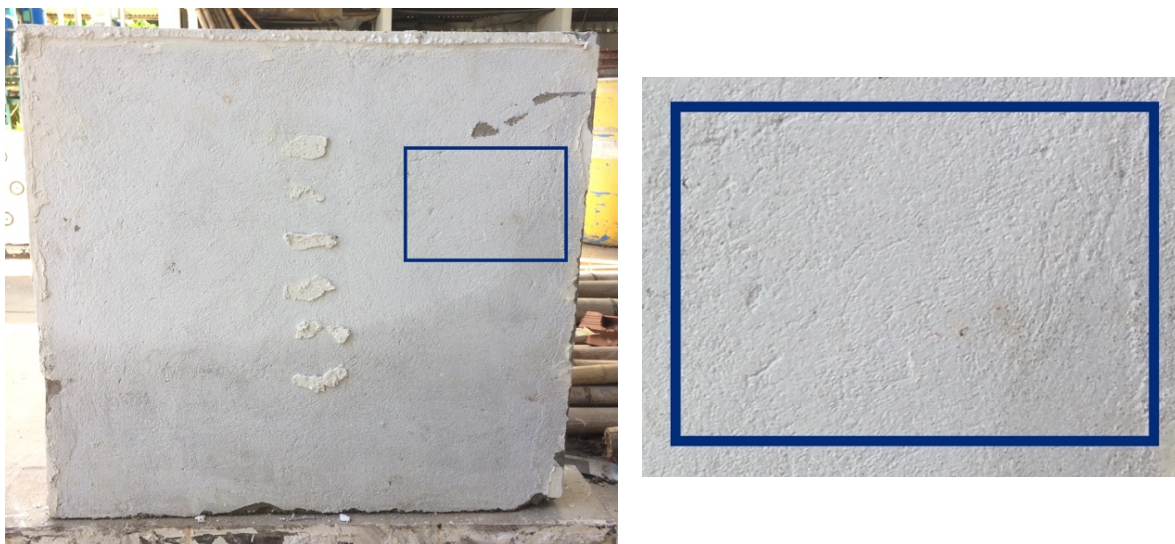
Antes e após a realização dos ensaios, fez-se uma análise visual das superfícies das paredes. O objetivo foi identificar eventuais surgimentos de patologias ou quaisquer alterações relacionadas aos 10 ciclos de ação do calor e choque térmico, que as amostras foram submetidas. A Figura 55 e Figura 56 apresentam a comparação das amostras antes e após os ciclos. É possível observar defeitos na superfície da parede antes e após o ensaio de choque térmico, estes defeitos ocorreram durante o transporte da parede para a câmara e depois de volta para o pátio do LABEME.

Figura 55 - Parede $C_C C_{CT}$: antes e depois do ensaio de choque térmico

(a) antes do ensaio, com detalhe ampliado



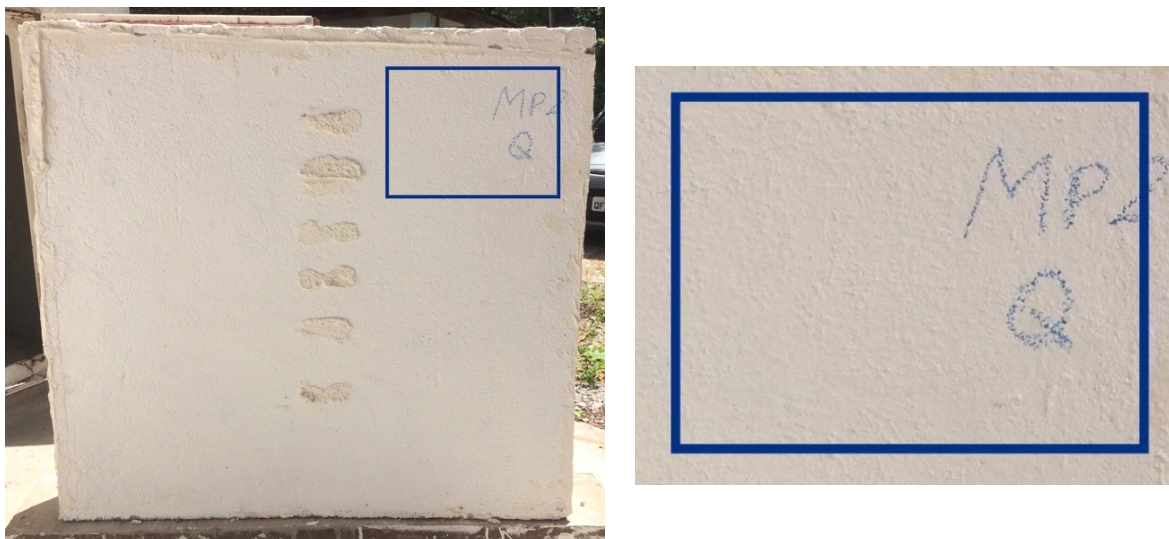
(b) depois do ensaio, com detalhe ampliado



Fonte: Autoria própria

Figura 56 - Parede S_CC_{CT}: antes e depois do ensaio de choque térmico

(a) antes do ensaio, com detalhe ampliado



(b) depois do ensaio, com detalhe ampliado



Fonte: Autoria própria

Como pode ser observado nas figuras ampliadas, em ambas as amostras não houve a ocorrência de patologias macroscópicas, como fissuras, destacamentos, empolamentos ou outros danos nas superfícies ensaiadas.

4.4.3 Resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento em paredes com Bloco EVAi

Os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados de resistência de aderência à tração da argamassa são apresentados detalhadamente nos APÊNDICES (C, D, E e F) e de forma resumida na Tabela 23 e Tabela 24.

Tabela 23 - Resistência de aderência à tração nas paredes com chapisco

Amostra	Tensão Ra Média (MPa)
Parede C _C S _{CT}	0,24
Parede C _C C _{CT}	0,21

Fonte: Autoria própria

Tabela 24 - Resistência de aderência à tração nas paredes sem chapisco

Amostra	Tensão Ra Média (MPa)
Parede S _C S _{CT}	0,12
Parede S _C C _{CT}	0,12

Fonte: Autoria própria

A NBR 13749 (2013) apresenta os limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única de revestimento em argamassa cimentícia de paredes, determinando que tal revestimento só deve ser aceito se, dentre 12 ensaios realizados, no mínimo 8 valores sejam iguais ou maiores aos indicados na Tabela 25.

Tabela 25 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra)

Local	Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco
		≥ 0,20
	Externa	Cerâmica ou laminado
		≥ 0,30
		Pintura ou base para reboco
		≥ 0,30
		Cerâmica
		≥ 0,30

Fonte: Adaptado da NBR 13749 (2013)

Comparando-se a resistência de aderência à tração das paredes ensaiadas (Tabela 23 e Tabela 24) com os limites exigidos por norma (Tabela 25), observa-se que apenas os resultados das paredes com chapisco estão dentro do limite estipulado para parede interna com acabamento de pintura ($R_a \geq 0,20$ MPa). As amostras sem chapisco não apresentaram o desempenho mínimo, ou seja, a rugosidade superficial do Bloco EVAi não foi suficiente para ancorar a argamassa de revestimento e, portanto, não ocorreu a aderência mínima necessária. O requisito para parede externa não foi atendido em nenhum dos ensaios, o que sugere a necessidade de novos estudos para essa condição, talvez avaliando outras argamassas de revestimento com variáveis resistências sobre o substrato (Bloco EVAi).

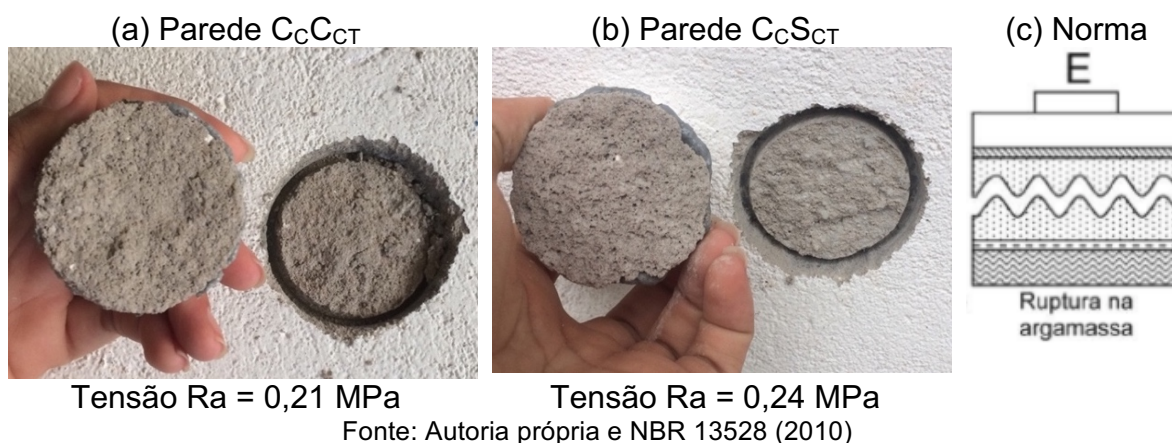
De qualquer modo, a partir dos resultados obtidos, verifica-se que o pré-tratamento do substrato com a aplicação da camada de chapisco resultou no aumento de 100% da resistência de aderência da argamassa. Apesar da dificuldade em se comparar a resistência de aderência em diferentes tipos de substratos, observa-se que os resultados obtidos são similares aos apresentados por Kazmierczak *et al.* (2007) relativos aos blocos de concreto, conforme citado no item 2.4.3.

Em relação aos resultados de resistência de aderência das paredes que sofreram ação do calor e choque térmico, quando comparados às respectivas paredes de referência, observou-se que o choque térmico não exerceu influência significativa na aderência da argamassa de revestimento das amostras, tanto no caso sem chapisco, quanto com chapisco.

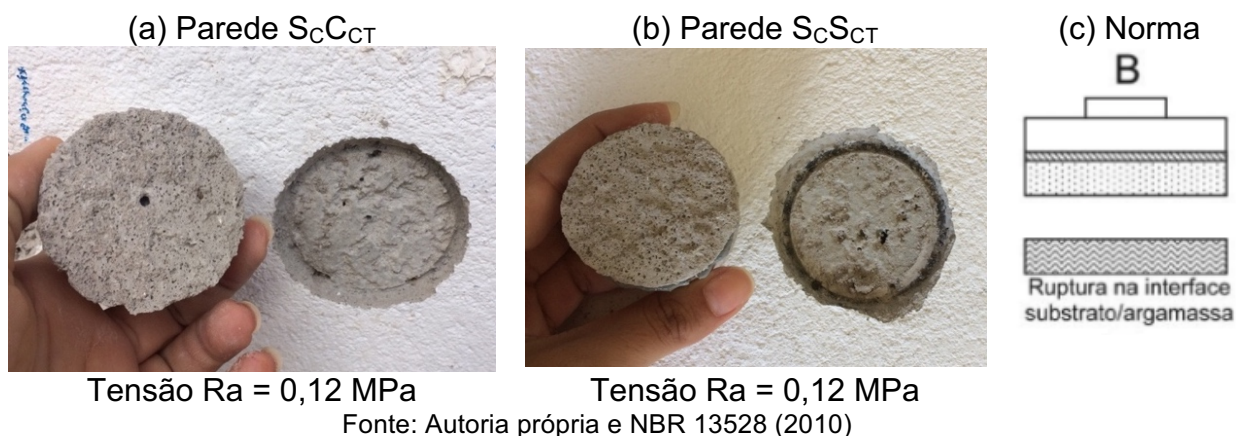
Comparando-se apenas os resultados obtidos nas paredes chapiscadas, observa-se que a parede com chapisco que sofreu choque térmico apresentou uma resistência de aderência 12,5% menor do que a parede também com chapisco que não passou por choque térmico. Apesar disto, a parede com chapisco após a aplicação dos 10 ciclos de ação do calor e choque térmico teve o resultado da resistência de aderência à tração (0,21 MPa) ainda dentro do limite exigido por norma para parede interna ($R_a \geq 0,20$ MPa).

Em relação à forma de ruptura, nos ensaios de resistência de aderência à tração da argamassa, realizados nas paredes com chapisco (Parede $C_C C_{CT}$ e Parede $C_C S_{CT}$), a ruptura de todas as pastilhas ocorreu na argamassa. Este fato demonstra que as resistências à tração são maiores do que os valores obtidos no ensaio e que o revestimento demonstrou elevada aderência ao substrato, mesmo após a degradação das paredes, ocorridas através ensaios da câmara térmica e de choque térmico. Na Figura 57, apresentam-se exemplos da forma de ruptura da argamassa de revestimento das paredes, que são comparadas às formas de ruptura, ilustradas na NBR 13528 (2010).

Figura 57 - Pastilhas após arrancamento (paredes com chapisco)



Nos ensaios de resistência de aderência à tração da argamassa, realizados nas paredes sem chapisco (Parede $S_C C_{CT}$ e Parede $S_C S_{CT}$), a forma de ruptura da maioria das pastilhas ocorreu na interface entre o substrato e a argamassa, demonstrando-se com este resultado que, no sistema sem chapisco, a aderência da argamassa à base é reduzida. Desta forma, em paredes construídas com Bloco EVAi existe a necessidade da camada de chapisco antes da aplicação do revestimento argamassado cimentício. Na Figura 58, tem-se exemplos da forma de ruptura das paredes sem chapisco e a correspondente representação da norma.

Figura 58 - Pastilhas após arrancamento (paredes sem chapisco)

4.4.4 Resistência à compressão e encurtamentos das paredes com Blocos EVAi

A Tabela 26 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão das paredes.

Tabela 26 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão das paredes

Amostra	Carga (kN)	Resistência à compressão		
		(kN/m)	(MPa)	Média (MPa)
Parede C _C S _{CT}	169,20	210,19	1,50	1,51
Parede C _C C _{CT}	177,30	218,89	1,51	

Fonte: Autoria própria

A Parede C_CC_{CT} e a Parede C_CS_{CT} possuem as mesmas características construtivas (paredes com Bloco EVAi com chapisco) e se diferem apenas na aplicação do choque térmico ocorrido apenas na Parede C_CC_{CT}. Desta forma, observa-se que os resultados de resistência à compressão foram iguais em ambas as amostras, indicando que o choque térmico realizado (10 ciclos) não apresenta influência na resistência à compressão das paredes com Bloco EVAi.

A Tabela 27 abaixo mostra a eficiência das paredes, isto é, a razão entre a resistência das paredes e a resistência do Bloco EVAi.

Tabela 27 - Eficiência média das paredes de Bloco EVAi

fc média (MPa)		Eficiência
Paredes	Blocos EVAi	
1,51	1,45	1,04

Fonte: Autoria própria

A Tabela 28 apresenta uma comparação dos resultados obtidos no estudo com os valores apresentados por outros autores.

Tabela 28 - Comparação entre os estudos com paredes de bloco de EVA

Fonte	Blocos EVA (80% EVA)		Argamassa de assentamento		Parede		Eficiência parede/ bloco
	Traço	Resist. compres. (MPa)	Traço (cim: cal: areia)	Resist. compres. (MPa)	Dimens. (m)	Resist. compres. (MPa)	
Pimentel (2005)	1:3	0,92	1:1:5	9,59	1,20 x 2,60*	0,92	1,00
Polari Filho (2005)	1:3	1,29	1:1:6	5,15	1,20 x 2,60*	1,03	0,80
Rocha (2008)	1:5	1,19	1:2:4	4,11	1,20 x 2,60*	0,47	0,40
Autoria própria	1:5	1,45	1:2:11	1,32	0,80 x 0,80	1,51	1,04

*paredes sem aplicação de argamassa cimentícia como camada de revestimento

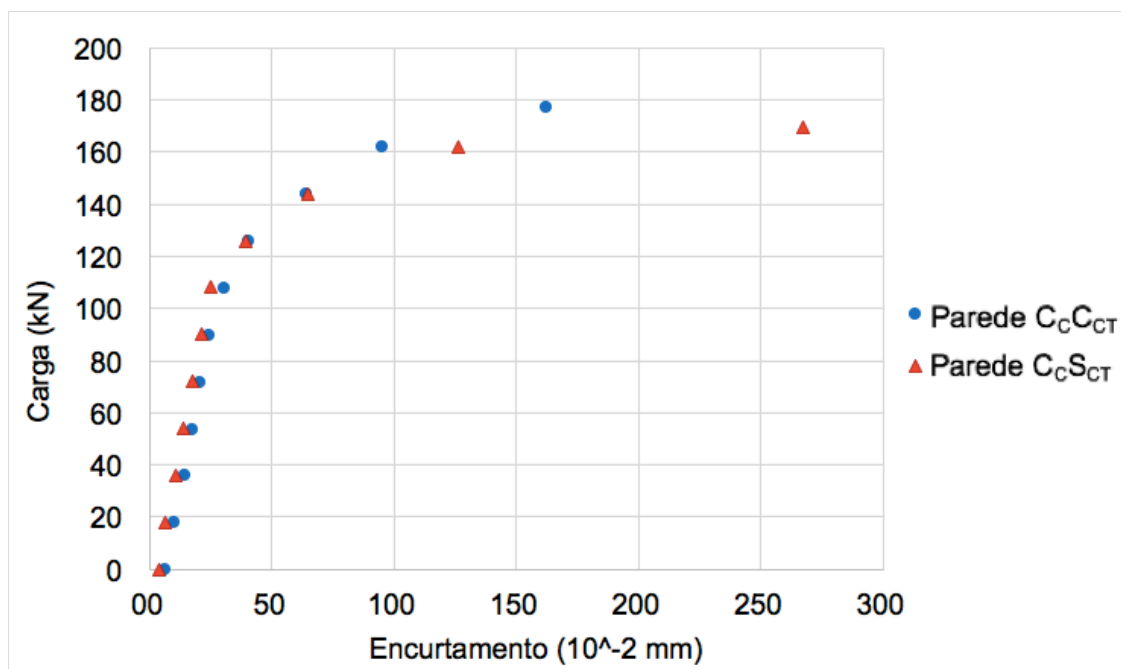
Fonte: Autoria própria

Observa-se que a eficiência parede-bloco do presente estudo apresentou o maior resultado comparado às pesquisas anteriores. Este fato pode ser atribuído à maior resistência à compressão do Bloco EVAi produzido e ao traço adequado da argamassa de assentamento que, junto ao bloco, proporcionaram à parede uma maior resistência à compressão. Deve-se considerar também outras diferenças entre os estudos, tais como: as diferentes dimensões das paredes ensaiadas; as diferentes geometrias dos blocos EVA (POLARI FILHO, 2005 e PIMENTEL, 2005) e EVAi (ROCHA, 2008 e atual estudo); as diferentes dosagens utilizadas na

moldagem dos blocos EVA e na argamassa de assentamento; e, ainda, a aplicação de argamassa de revestimento, que ocorre somente nas paredes do atual estudo.

Em relação ao encurtamento das paredes, as primeiras fissuras surgiram em todas as amostras após a aplicação da carga de 144 kN, que equivale a 81,2% da carga de ruptura da Parede $C_C C_{CT}$ e 85,1% da Parede $C_C S_{CT}$, demonstrando que, mesmo após o surgimento das primeiras fissuras, as paredes suportaram a aplicação de carga. Os resultados dos encurtamentos medidos pelos defletômetros instalados nas paredes são apresentados na Figura 59. No APÊNDICE F, encontram-se detalhadamente os valores obtidos em cada medição.

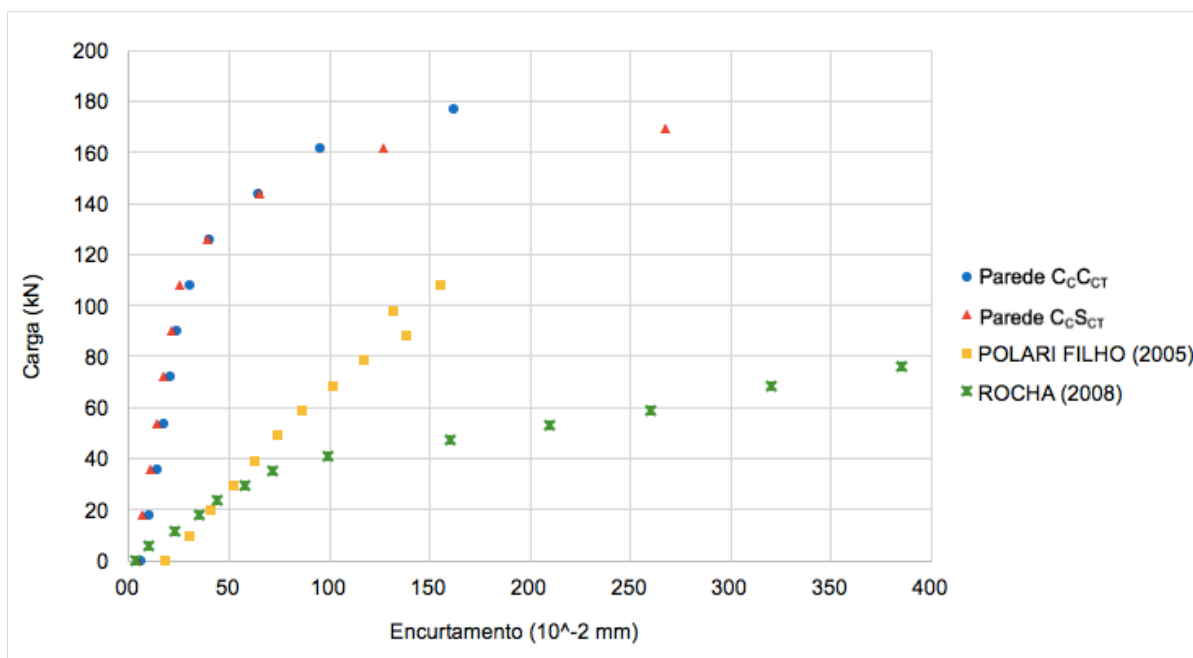
Figura 59 - Resultados do encurtamento da Parede $C_C C_{CT}$ e Parede $C_C S_{CT}$



Fonte: Autoria própria

A Figura 60 apresenta uma comparação entre os valores medidos pelos defletômetros nas paredes $C_C C_{CT}$ e $C_C S_{CT}$ com os resultados obtidos por Polari Filho (2005) e Rocha (2008), durante os respectivos ensaios de resistência à compressão de paredes com blocos com 80% de EVA.

Figura 60 - Comparação entre os encurtamentos das paredes obtidos no estudo atual ($C_C C_{CT}$ e $C_C S_{CT}$) e em estudos anteriores (outros autores)



Fonte: Autoria própria

A partir do gráfico comparativo, observa-se que a parede ensaiada por Polari Filho (2005) demonstrou ser mais deformável do que as paredes $C_C C_{CT}$ e $C_C S_{CT}$, porém suportando menor carga. Da mesma forma, as amostras testadas no atual estudo sofreram menor deformação do que a parede de Bloco EVAi avaliada por Rocha (2008). É possível também observar a discrepância entre as cargas suportadas pelas paredes representadas na Figura 60, nas quais as paredes $C_C C_{CT}$ e $C_C S_{CT}$ suportaram em torno de 60% de carga a mais do que as amostras de Polari Filho (2005) e na ordem de 120% a mais do que as de Rocha (2008).

Como já era esperado, após o ensaio de resistência à compressão, as paredes apresentaram rachaduras, porém sem estar totalmente danificadas (Figura 61). Por isso, após o rompimento à compressão da Parede $S_C S_{CT}$, optou-se por comprimir a amostra até que se chegasse ao colapso da mesma, com o intuito de verificar o modo de ruptura. A Figura 62 apresenta o modo de ruptura da parede com Bloco EVAi após a ruína forçada. Observa-se, a partir dos destroços, que a parede rompeu em sua maioria na argamassa de assentamento e, assim como foi observado no ensaio de resistência à compressão dos Blocos EVAi, após

o rompimento, os componentes se mantiveram aparentemente inteiros,, ou melhor, os únicos que quebraram foram aqueles blocos que colidiram com o pórtico metálico durante a queda da parede.

Figura 61 - Parede com Bloco EVAi após ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autoria própria

Figura 62 - Modo de ruptura da parede de Bloco EVAi

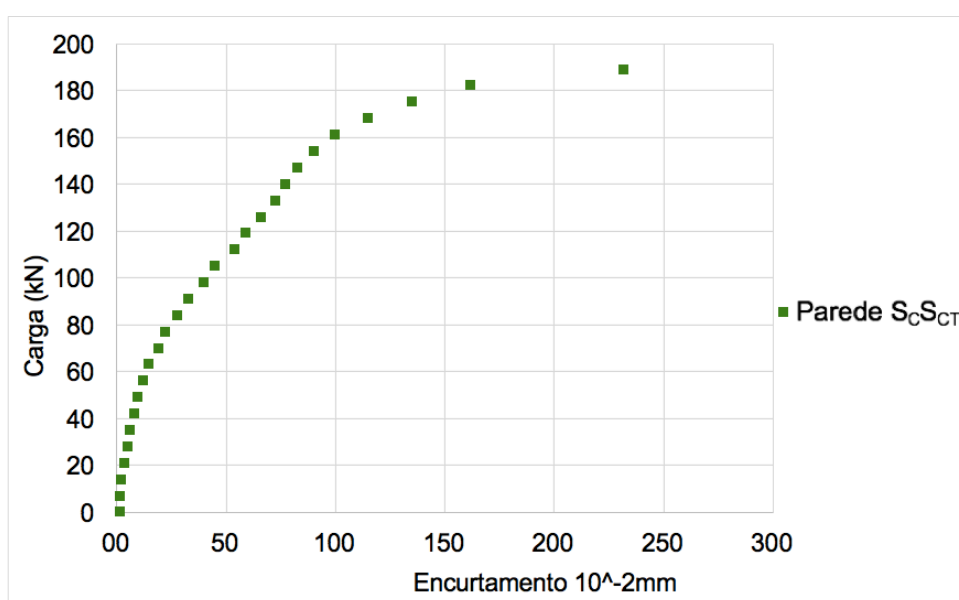


Fonte: Autoria própria

De qualquer modo, verifica-se que, conforme esperado, as paredes deformaram-se significativamente antes do rompimento, demonstrando que o material possui elevada ductilidade, característica que pode ser interessante no controle de patologias em alvenarias.

De acordo com a metodologia explicada no item 3.8.4., a parede $S_C S_{CT}$ foi utilizada como parede-teste para a definição da carga de ruptura real do ensaio de resistência à compressão. Para o rompimento da parede $S_C S_{CT}$, estimou-se a carga de ruptura de 70 kN, porém a parede rompeu com a carga de 188,6 kN, isto é, 2,7 vezes maior do que valor estimado, ocorrendo assim um lento incremento de carga durante o ensaio (apenas 7 kN, que correspondia a 10% da carga de ruptura estimada), não compatível com o indicado pela NBR 16522 (2016). Portanto, considera-se que a Parede $S_C S_{CT}$ não foi ensaiada adequadamente, apresentando a resistência à compressão (1,71 MPa) mais elevada do que as outras amostras. Em relação ao encurtamento, as primeiras fissuras surgiram após a aplicação da carga de 140 kN, que representa 74% da carga efetiva de ruptura. Os resultados medidos pelos defletômetros instalados na Parede $S_C S_{CT}$ são apresentados na Figura 63 e os valores detalhados são expostos no APÊNDICE G.

Figura 63 - Resultado do encurtamento da Parede $S_C S_{CT}$



Fonte: Autoria própria

Observa-se a partir do gráfico, (Figura 63) que a Parede S_CS_{CT} é o único caso que combina maior capacidade de carga (188,6 kN) com maior deformação ocorrida, quando comparado com as outras amostras. Provavelmente, devido ao lento carregamento aplicado nesta parede durante o ensaio (visto pelo número de registros na curva do gráfico) tenha contribuído para obtenção desse resultado divergente entre as amostras.

5 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado e na análise dos resultados alcançados durante a fase experimental, conclui-se que:

- O tratamento térmico em água fervente a 100 °C, no processo de beneficiamento dos resíduos de EVA, é mais efetivo do que o tratamento térmico em estufa a 100 °C. Contudo, considerando o consumo de energia em qualquer dos casos, constatou-se que com o resíduo de EVA utilizado no presente estudo a redução no volume do agregado de EVA e alteração de sua massa unitária foram pouco significantes;
- A partir dos procedimentos adotados no processo de beneficiamento dos resíduos/agregados de EVA na produção de Blocos EVAi, se conseguiu confirmar que a maior massa unitária dos agregados de EVA resultou em maior resistência à compressão e menor absorção de água do pré-moldado. Com o agregado de EVA de alta densidade, fornecido já triturado pela indústria geradora com massa unitária igual a 278,57 kg/m³, foram produzidos Blocos EVAi com resistência à compressão média, após 28 dias de cura, igual a 1,45 MPa e absorção de água igual a 1,98%, cujos valores atenderam aos requisitos propostos por Polari Filho (2005); Melo e Lima Filho (2009). Por isso, para produção de Blocos EVAi, recomenda-se o EVA de alta densidade in natura;
- Na execução das paredes com os Blocos EVAi, foram atendidos os valores proporcionais entre as respectivas resistências à compressão dos componentes (Blocos EVAi) e da argamassa de assentamento/revestimento. Após as paredes serem submetidas à 10 ciclos de ação do calor e choque térmico, não foram observadas fissuras, destacamentos, empolamentos ou outros danos em suas superfícies. Tal resultado demonstra que a alvenaria avaliada apresentou desempenho

satisfatório frente a este tipo de degradação, que qualquer construção está sujeita;

- A resistência de aderência à tração entre a argamassa de revestimento e o substrato (Bloco EVAi) foi reduzida quando não se executou a camada de chapisco. Portanto, o chapisco é essencial para garantir a aderência entre a argamassa de revestimento e a superfície do Bloco EVAi, mesmo esse componente tendo elevada rugosidade superficial, devido ao alto teor de EVA (80%) no compósito cimentício utilizado na sua moldagem;
- Os ciclos térmicos para analisar o aspecto do fluxo de calor, bem como para avaliar a ação de calor e choque térmico nas paredes com Bloco EVAi não prejudicaram a aderência entre a argamassa de revestimento e o substrato, nem afetaram a resistência à compressão das paredes, indicando adequada compatibilidade entre os desempenhos mecânicos e térmicos do sistema de alvenaria em teste;

A partir dessas conclusões pode-se afirmar que foi possível avançar no estudo que visa viabilizar a utilização do Bloco EVAi nos sistemas de alvenarias sem função estrutural, uma vez que ficou demonstrada a possibilidade de compatibilização entre os aspectos físicos, mecânicos e térmicos, entre as partes e o todo do elemento de vedação. Assume destaque neste estudo, a comprovação da necessidade da execução da camada de chapisco entre o substrato (Blocos EVAi com 80% de EVA) e a argamassa de revestimento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Investigar as dimensões ideais para os encaixes do Bloco EVAi e apresentar a remodelação da fôrma do bloco;
- Avaliar argamassas de revestimento com variáveis resistências sobre o substrato de Bloco EVAi buscando atender os requisitos de aderência para parede externa exigidos pela NBR 13749 (2013);
- Avaliar o desempenho acústico da alvenaria de Bloco EVAi de acordo com a NBR 15575-4;
- Avaliar a resistência à impactos de corpo mole, corpo duro e peças suspensas em protótipos de paredes com Bloco EVAi;
- Investigar a resistência de aderência à tração de argamassa de revestimento em paredes de Bloco EVAi submetidos a mais de 10 ciclos de ação do calor e choque térmico;
- Verificar a resistência ao fogo da alvenaria de Bloco EVAi.

REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS (Associação Brasileira das Indústrias de Calçados). **Relatório Setorial** – Indústria de calçados do Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br/midia/relatorios/relatorio-setorial-2016.pdf>>. Acesso em: 2 mar. 2018.

ANGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural** - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. Limeira, 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia), Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 7200**. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 7211**. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 7215**. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 7973**. Poliestireno expandido para isolamento térmico – Determinação de absorção de água. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 12118**. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13281**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13528**. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 15575-4**. Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 16522**. Alvenaria de blocos de concreto – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

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

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, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte**. São Carlos: USP, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BECKER, F. A.; ANDRADE, J. J. O. Avaliação da influência do substrato de concreto na resistência de aderência à tração de diferentes tipos de chapisco. **Revista Matéria**, v. 22, n. 4, 2017.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural**. 100 f. João Pessoa, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Pernambuco, João Pessoa, 2002.

BRASIL. **Lei no 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 9 mar. 2016.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. Florianópolis, 1998. 167p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

CAÑAS *et al.* **Concreto leve** – Uma opção para a construção civil. In: 43º Congresso Brasileiro do Concreto; COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Nosso futuro comum: Relatório Brundtland. 430p. Rio de Janeiro: FGV, 1988.

CARASEK, H. C. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, p. 863-903. 2010.

CRESCENCIO, R.; BARROS, M. A influência do choque térmico na resistência à tração do revestimento decorativo monocamada. In: Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas, 5, São Paulo, 2003. **Anais**. São Paulo: ANTAC, 2003. p. 631-642.

CTCCA - Centro Tecnológico do Couro Calçados e Afins. **Cartilha do EVA**, Novo Hamburgo, 1993.

FERRAZ, F. C. **Comparação dos sistemas de alvenaria de vedação: bloco de concreto celular autoclavado x bloco cerâmico**. Belo Horizonte, 2011. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

FIORITO, ANTONIO J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. - São Paulo: Pini, 2009.

FRANCIS, A. J. *et al.* **The effect of joint thickness and other factors on the compressive strenght of brickwork**. In: International brick masonry conference, 2., Stoke-on-trent, England, Proceedings. Stoke-on-trent, British Ceramic Research Association, p. 31, 1971.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. São Carlos, 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil. In: Workshop sobre Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. **Anais**. ANTAC - PCC/USP, São Paulo, 1996.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

GIORGI, P. **Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitabilidade e sustentabilidade**. Santa Maria: UFSM, 2016. 98 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

GOMES, E. G. S. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos EVA**. João Pessoa, 2015. 127 p. Dissertação (Mestrado em

Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, 2015.

GOMES, N. S. **A resistência das paredes de alvenaria**. São Paulo, 1983. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1983.

GOMES NETO, D. P. **Dosagem de microconcretos leves de alto desempenho para produção de pré-fabricados de pequena espessura** - Estudo de caso. São Carlos: USP, 1998. 156 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

HAYASHI, Y.; AOYAMA, T.; MATSUYAMA, M. **Technique of application of fiber materials to exterior ceramic wall tiling**. In: Durability of building materials and components. 1993.

HENDRY, A.W. (1998). **Structural Masonry**. 2.ed. Hong Kong : Macmillan Press Ltd.

IBRAHIM Y. I.; SEEDAHMED A. I.; MASHAIR A. M. Study on permeability, sound insulation for light weight concrete mixture with industrial EVA waste. **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, ISSN: 2277-9655, Sudan, December, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo, IPT, 1998.

KAZMIERCZAK, C.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência do substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos tecnológicos**, v. 3, n. 1, p. 47-58, 2007.

KHAMPUT, P.; SUWEERO, K. Using of Para-rubber to Develop Properties of Concrete Block Mixed with Ethylene Vinyl Acetate Plastic in Masonry. **International Journal of Environmental and Rural Development**, Thailand, July, 2014.

LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação do desempenho mecânico de protótipo executado com blocos EVA**: Estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

MAYCÁ, J.; RECENA, F. A. P.; CREMONINI, R. A. **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais**. Curso de especialização em construção civil – NORIE/UFRGS, 2008.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto**: produção de componentes e parâmetros de projeto. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 616 p.

MIRANDA, L.; SELMO, S. Efeito de choques térmicos na fissuração de revestimentos de argamassa com RCD. In: Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas, 5, São Paulo, 2003. **Anais**. São Paulo: ANTAC, 2003.

MSCP. **Medições II-00 - Critério de Chauvenet**. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/tecdiv/med200.shtml>, último acesso em 2 de agosto de 2017, revisado em dezembro de 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. Trad. Salvador E. Giamusso;

PAES, I. L.; BAUER, E.; CARASEK, H. Influência da estrutura de poros de argamassas mistas e de blocos de concreto e cerâmico no desempenho dos revestimentos. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6., 2005, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: UFSC, 2005. p. 1 - 11.

PIMENTEL, U. H. O. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias**. Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual da Paraíba. João Pessoa, 2005.

POLARI FILHO, R. S.; MELO, A. B.; BARBOSA, N. P. **A reciclagem de resíduos da indústria de calçados (EVA) na execução de painéis de vedação na construção civil: avaliação de desempenho**. In.: ENCONTRO TEMÁTICO MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 2, 2003. João Pessoa. **Anais**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2003.

POLARI FILHO, R. S. **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: bloco EVA, uma alternativa às alvenarias das construções**. 88 f. João Pessoa: UFPB, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.

PREZOTTO *et al.* **Etileno acetato de vinila – EVA**. Planejamento e projeto da indústria química. Porto Alegre, UFRGS. Nov. 1990, 256 p. (Trabalho de conclusão das disciplinas de planejamento e projeto da indústria química I e II) – Escola de Engenharia. Porto Alegre, 1990.

QUEIROGA, A. B. R. E.; SILVA, E. P.; ALMEIDA, J. G.; MELO, A. B. Avaliação de mini paredes com blocos EVA submetidas à ação de calor e choque térmico. In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2014, Guimarães. **Anais**. Materiais de Construção Sustentáveis, 2014. v. 1. p. 321-330.

QUEIROGA, M. S. **Resistência à compressão de painéis reduzidos de alvenaria de BTC**. João Pessoa: UFPB, 2016. (Monografia) Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016

RAMALHO, M. A. e CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 1 ed. 2003.

RAONGJANTA, W.; JINGB, M.; KHAMPUT, P. Lightweight concrete blocks by using waste plastic, **International Journal of Control Theory and Applications**, ISSN : 0974-5572, Volume 10, Number 30, Thailand, 2017.

RAVULA, M. B.; SUBRAMANIAM, K. V. L. Experimental investigation of compressive failure in masonry brick assemblages made with soft brick. **Materials and Structures**, 50(1), 1-11, India, 2017.

RIBEIRO, J. L. D. **Projeto de experimentos na otimização de produtos e processos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Notas de aula, 1995.

ROCHA, F. M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: Bloco EVA – Intertravamento e racionalização das alvenarias**. 109 f. João Pessoa: UFPB, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2008.

ROCHA, F. M. D.; MELO, A. B.; SILVA, E. P.; TORRES, S. M. Pré-moldado (bloco EVAi) para alvenaria intertravada: projeto, produção, desempenho e simulação de uso em habitação social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 47-60, abr./jun. 2013.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto leve estrutural produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. São Paulo, PINI, 2009.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, ABCP, 2.ed.1998. 44 p. (ET-91)

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria sílico-calcária**. São Paulo: USP, 1984. 298 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa**: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. Goiânia: UFG, 2002. 262 p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2002.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas. In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, 5., 2003, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ANTAC, 2003. p. 1-13.

SILVA, J. C. **Manual de elaboração de relatórios e tratamento de resultados experimentais**. Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2001. 36 p.

SOARES, E. A., LEAL, A. F., CARDOSO, J. A. F. **Argamassas leves produzidas com resíduos de calçados e de cerâmicas**. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande / Depto de Engenharia Civil, 2007.

TRIUNFO, P. S. A. **Copolímero Etileno-Acetato de Vinila (EVA) – Características e informações gerais**. Folheto da petroquímica Triunfo, RS, 1994.

TEMOCHE ESQUIVEL, J. F. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa**. 2009. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

APÊNDICES

**APÊNDICE A – TEMPERATURAS OBTIDAS NOS CICLOS DE CHOQUE
TÉRMICO DA PAREDE C_CC_{CT}**

Choque Térmico - Parede C_CC_{CT}										
Tempo (min)	Temperatura Média (°C) por CICLO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	35,34	27,50	26,43	26,79	25,45	33,32	28,28	31,12	24,98	27,19
5	48,92	36,27	35,42	35,89	34,95	45,09	37,03	41,95	32,93	35,66
10	70,59	57,01	53,95	52,89	52,17	63,83	54,04	59,61	47,97	51,07
15	77,47	67,19	65,08	62,02	62,72	69,58	64,24	64,18	57,46	60,33
20	77,51	72,48	71,54	68,77	69,88	72,83	70,61	67,33	64,45	66,93
25	78,17	74,57	75,75	73,43	75,07	75,56	74,26	70,99	69,39	71,73
30	77,17	75,43	78,44	76,97	78,13	75,01	73,35	70,85	73,45	74,89
35	78,99	77,84	80,41	79,41	77,92	80,26	77,50	73,83	76,08	76,78
40	77,17	79,10	81,24	80,18	79,57	82,57	77,94	77,87	77,52	78,17
45	78,19	81,03	78,00	78,69	78,92	82,94	78,65	80,18	78,95	78,52
50	79,11	78,48	79,65	80,61	79,74	79,52	77,69	81,96	79,93	77,29
55	78,10	77,91	79,15	79,03	80,40	81,20	78,60	79,48	81,31	80,31
60	80,29	78,90	78,98	79,66	79,33	77,93	78,26	78,99	79,58	81,10
65	78,69	78,73	79,40	80,28	79,49	80,10	78,57	79,05	80,61	78,72
70	78,94	77,89	77,84	78,57	78,58	78,76	79,27	79,78	79,71	80,60
75	78,44	77,98	79,50	79,63	77,25	81,03	80,20	79,54	79,64	80,05
80	79,14	79,98	79,87	78,86	79,45	79,81	78,54	78,31	79,89	79,33
85	80,13	79,55	78,21	80,33	79,97	82,10	80,23	78,98	79,19	80,25
90	78,53	80,00	80,35	80,08	79,24	80,09	80,67	80,57	79,35	78,33
95	80,13	80,90	82,23	79,83	80,17	80,76	78,52	82,08	79,57	79,60
100	80,47	80,69	79,54	79,95	79,79	78,93	81,09	82,12	80,64	79,82
105	39,16	40,84	34,03	48,98	41,61	48,62	42,28	42,25	55,61	33,28
110	20,72	19,56	19,73	20,34	20,92	23,21	19,71	23,23	20,25	17,24
115	20,54	18,90	19,27	19,54	20,61	21,94	18,44	20,50	20,31	17,70

**APÊNDICE B – TEMPERATURAS OBTIDAS NOS CICLOS DE CHOQUE
TÉRMICO DA PAREDE $S_C C_{CT}$**

Choque Térmico - Parede $S_C C_{CT}$										
Tempo (min)	Temperatura Média (°C) - por CICLO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	30,03	35,50	28,63	33,47	31,04	29,74	37,42	30,66	33,58	33,84
5	37,16	45,42	37,16	42,85	38,74	35,38	45,37	39,20	40,85	43,20
10	54,37	64,68	54,70	58,72	55,87	50,59	60,60	55,25	55,92	60,46
15	62,97	71,93	67,47	63,99	61,50	59,34	66,37	67,85	68,11	65,81
20	67,50	75,50	72,82	67,10	65,03	65,94	69,99	73,72	73,80	68,61
25	71,08	77,41	75,51	69,85	67,59	69,19	72,05	76,61	76,13	69,50
30	74,23	77,16	76,10	72,58	69,93	71,46	73,72	78,66	78,80	71,50
35	77,01	77,66	74,96	75,00	72,25	73,42	75,17	79,96	80,10	72,71
40	79,64	82,38	78,76	77,32	74,79	76,78	76,75	79,64	80,24	74,70
45	82,39	78,61	78,64	78,63	77,48	78,82	79,60	77,99	77,89	77,53
50	78,25	79,36	82,05	80,19	79,16	80,47	80,07	81,35	81,59	79,41
55	82,90	78,77	79,25	78,26	80,86	79,69	78,98	78,13	79,25	81,40
60	81,38	80,86	81,86	79,28	80,80	79,88	79,40	79,55	79,09	78,02
65	80,99	82,79	79,45	81,17	80,32	80,86	80,07	79,51	77,57	78,67
70	82,25	79,82	80,56	80,90	80,95	81,03	78,83	78,13	79,59	78,14
75	80,93	82,30	82,67	81,31	81,06	80,35	79,76	78,60	79,80	78,82
80	81,59	80,71	82,09	81,64	81,05	80,50	78,59	78,94	80,13	79,70
85	82,96	81,46	81,50	81,75	82,57	80,31	80,20	78,59	78,54	80,59
90	82,27	80,58	82,28	81,71	81,10	79,32	78,65	79,16	79,73	80,12
95	82,56	80,24	82,92	81,86	79,30	79,65	80,10	77,81	79,53	78,81
100	81,92	78,22	78,02	80,67	79,80	80,35	79,34	80,38	80,11	79,79
105	32,77	41,37	26,40	26,58	46,56	33,31	73,74	60,88	35,76	42,86
110	20,85	23,53	23,03	22,86	25,43	22,56	31,25	23,56	19,80	18,78
115	20,85	20,90	21,33	21,90	20,60	21,40	21,18	21,07	19,00	20,25

**APÊNDICE C – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA
DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE C_cC_{ct}**

Arrancamento de Argamassa - Parede C _c C _{ct}											
Corpo de prova							Local do ensaio	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)	
Num	Espessura			Diâmetro							Área (mm²)
	e1 (mm)	e2 (mm)	em (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)					
1	1,00	1,00	1,00	48,00	50,00	49,00	1885,69	BLOCO	449	> 0,24	100% Argamassa
2	6,00	1,00	3,50	51,00	50,00	50,50	2002,90	BLOCO	392	> 0,20	100% Argamassa
3	8,00	4,00	6,00	50,00	50,00	50,00	1963,44	BLOCO	480	> 0,24	100% Argamassa
4	6,00	4,00	5,00	51,00	50,00	50,50	2002,90	BLOCO	196	> 0,10	100% Argamassa
5	1,00	1,00	1,00	45,00	47,00	46,00	1661,85	BLOCO	205	> 0,12	100% Argamassa
6	2,00	1,00	1,50	47,00	50,00	48,50	1847,40	BLOCO	578	> 0,31	100% Argamassa
7	1,00	1,00	1,00	48,00	49,00	48,50	1847,40	BLOCO	539	> 0,29	100% Argamassa
8	4,00	1,00	2,50	50,00	50,00	50,00	1963,44	BLOCO	539	> 0,27	100% Argamassa
9	1,00	1,00	1,00	49,00	50,00	49,50	1924,37	JUNTA	480	> 0,25	100% Argamassa
10	2,00	1,00	1,50	49,00	50,00	49,50	1924,37	JUNTA	333	> 0,17	100% Argamassa
11	1,00	1,00	1,00	48,00	49,00	48,50	1847,40	JUNTA	303	> 0,16	100% Argamassa
12	7,00	3,00	5,00	49,00	51,00	50,00	1963,44	BLOCO	215	> 0,11	100% Argamassa
Média (MPa)								> 0,21			
Desvio padrão								0,07			
Coeficiente de variação (%)								35%			

**APÊNDICE D – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA
DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE C_cS_{ct}**

Arrancamento de Argamassa - Parede C _c S _{ct}											
Num	Corpo de prova						Local do ensaio	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)	
	Espessura			Diâmetro							
	e1 (mm)	e2 (mm)	em (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)					Área (mm²)
1	5,00	1,00	3,00	46,00	45,00	45,50	1625,92	BLOCO	176	> 0,11	100% Argamassa
2	6,00	1,00	3,50	46,00	45,00	45,50	1625,92	BLOCO	499	> 0,31	100% Argamassa
3	7,00	1,00	4,00	46,00	45,00	45,50	1625,92	JUNTA	274	> 0,17	100% Argamassa
4	5,00	2,00	3,50	48,00	49,00	48,50	1847,40	BLOCO	480	> 0,26	100% Argamassa
5	4,00	3,00	3,50	48,00	49,00	48,50	1847,40	BLOCO	294	> 0,16	100% Argamassa
6	1,00	1,00	1,00	50,00	50,00	50,00	1963,44	JUNTA	539	> 0,27	100% Argamassa
7	3,00	1,00	2,00	49,00	49,00	49,00	1885,69	BLOCO	421	> 0,22	100% Argamassa
8	5,00	3,00	4,00	50,00	50,00	50,00	1963,44	BLOCO	490	> 0,25	100% Argamassa
9	4,00	1,00	2,50	50,00	50,00	50,00	1963,44	JUNTA	558	> 0,28	100% Argamassa
10	4,00	2,00	3,00	48,00	50,00	49,00	1885,69	BLOCO	-	-	100% Argamassa
11	2,00	1,00	1,50	49,00	50,00	49,50	1924,37	JUNTA	676	> 0,35	100% Argamassa
12	5,00	4,00	4,50	50,00	51,00	50,50	2002,90	JUNTA	439	> 0,22	100% Argamassa
Média (MPa)								> 0,24			
Desvio padrão								0,07			
Coeficiente de variação (%)								30%			

**APÊNDICE E – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA
DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE S_{CCCT}**

Arrancamento de Argamassa - Parede S _{CCT}											
Corpo de prova							Local do ensaio	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)	
Num	Espessura			Diâmetro							
	e1 (mm)	e2 (mm)	e3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)				
1	2,00	1,00	1,50	46,00	47,00	46,50	1698,18	BLOCO	-	-	100% Substrato/Argamassa
2	5,00	4,00	4,50	49,00	50,00	49,50	1924,37	BLOCO	255	0,13	100% Substrato/Argamassa
3	6,00	4,00	5,00	49,00	50,00	49,50	1924,37	BLOCO	230	0,12	100% Substrato/Argamassa
4	5,00	4,00	4,50	49,00	50,00	49,50	1924,37	BLOCO	225	0,12	100% Substrato/Argamassa
5	4,00	4,00	4,00	48,00	48,00	48,00	1809,50	BLOCO	215	0,12	100% Substrato/Argamassa
6	9,00	8,00	8,50	51,00	50,00	50,50	2002,90	JUNTA	-	-	100% Substrato/Argamassa
7	9,00	7,00	8,00	51,00	50,00	50,50	2002,90	JUNTA	196	0,10	100% Substrato/Argamassa
8	1,00	1,00	1,00	47,00	47,00	47,00	1734,89	BLOCO	225	> 0,13	100% Argamassa
9	6,00	5,00	5,50	50,00	48,00	49,00	1885,69	BLOCO	245	0,13	100% Substrato/Argamassa
10	5,00	2,00	3,50	50,00	47,00	48,50	1847,40	JUNTA	235	> 0,13	50% Argamassa - 50% Substrato/Argamassa
11	6,00	4,00	5,00	50,00	50,00	50,00	1963,44	BLOCO	-	-	100% Substrato/Argamassa
12	7,00	4,00	5,50	49,00	49,00	49,00	1885,69	BLOCO	205	0,11	100% Substrato/Argamassa
							Média (MPa)	0,12			
							Desvio padrão	0,01			
							Coefficiente de variação (%)	9%			

**APÊNDICE F – RESULTADOS INDIVIDUAIS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA
DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA DA PAREDE $S_C S_{CT}$**

Arrancamento de Argamassa - Parede S _{CT}											
Num	Corpo de prova						Local do ensaio	Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)	
	Espessura			Diâmetro							
	e1 (mm)	e2 (mm)	e3 (mm)	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)					Área (mm²)
1	3,00	4,00	3,50	49,00	48,00	48,50	1847,40	BLOCO	255	0,14	100% Substrato/Argamassa
2	5,00	3,00	4,00	48,00	46,00	47,00	1734,89	BLOCO	225	0,13	100% Substrato/Argamassa
3	5,00	4,00	4,50	50,00	48,00	49,00	1885,69	BLOCO	176	0,09	100% Substrato/Argamassa
4	3,00	3,00	3,00	50,00	50,00	50,00	1963,44	BLOCO	247	0,13	100% Substrato/Argamassa
5	8,00	4,00	6,00	50,00	49,00	49,50	1924,37	JUNTA	-	-	50% Argamassa - 50% Substrato/Argamassa
6	5,00	4,00	4,50	49,00	49,00	49,00	1885,69	BLOCO	268	0,14	100% Substrato/Argamassa
7	3,00	1,00	2,00	48,00	49,00	48,50	1847,40	BLOCO	-	-	100% Substrato/Argamassa
8	3,00	2,00	2,50	50,00	48,00	49,00	1885,69	JUNTA	235	0,12	100% Substrato/Argamassa
9	4,00	2,00	3,00	49,00	49,00	49,00	1885,69	JUNTA	196	0,10	100% Substrato/Argamassa
10	7,00	3,00	5,00	50,00	50,00	50,00	1963,44	JUNTA	235	> 0,12	10% Argamassa - 90% Substrato/Argamassa
11	6,00	5,00	5,50	51,00	48,00	49,50	1924,37	JUNTA	-	-	10% Argamassa - 90% Substrato/Argamassa
12	5,00	3,00	4,00	50,00	49,00	49,50	1924,37	JUNTA	-	-	100% Substrato/Argamassa
								Média (MPa)	0,12		
								Desvio padrão	0,02		
								Coefficiente de variação (%)	13%		

**APÊNDICE G – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENCURTAMENTOS DA
PAREDE C_cS_{CT} E PAREDE C_cC_{CT}**

Parede C_cS_{CT}				
% da carga estimada	Carga (kN)	Fissuras	Deformação (10 ⁻² mm)	
			Direita	Esquerda
0%	0		3,9	3,0
10%	18		6,5	4,5
20%	36		10,4	7,1
30%	54		14,0	10,0
40%	72		17,5	12,2
50%	90		21,1	15,1
60%	108		25,0	19,0
70%	126		39,3	24,0
80%	144	X	65,0	28,0
90%	162	X	126,5	32,0
Rompimento	169,2	X	267,0	42,5

Parede C_cC_{CT}				
% da carga estimada	Carga (kN)	Fissuras	Deformação (10 ⁻² mm)	
			Direita	Esquerda
0%	0		6,0	5,0
10%	18		10,0	8,5
20%	36		14,0	12,5
30%	54		17,2	16,0
40%	72		20,2	19,0
50%	90		24,0	22,0
60%	108		30,0	25,0
70%	126		40,0	
80%	144	X	64,0	
90%	162	X	95,0	
Rompimento	177,3	X	162,0	

**APÊNDICE H – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENCURTAMENTOS DA
PAREDE S_cS_{CT}**

Parede S_cS_{CT}				
% da carga estimada	Carga (kN)	Fissuras	Deformação (10 ⁻² mm)	
			Direita	Esquerda
0%	0		1,5	0,5
10%	7		1,6	0,6
20%	14		2,2	2,6
30%	21		3,8	4,0
40%	28		5,0	5,5
50%	35		6,3	6,9
60%	42		8,0	8,5
70%	49		9,6	10,1
80%	56		12,0	12,0
90%	63		14,5	14,0
100%	70		19,0	15,0
110%	77		22,0	16,5
120%	84		27,7	18,5
130%	91		33,0	20,0
140%	98		40,0	21,5
150%	105		45,0	23,9
160%	112		54,0	26,0
170%	119		59,0	28,5
180%	126		66,0	31,5
190%	133		72,5	35,0
200%	140	X	77,0	36,0
210%	147	X	82,5	38,5
220%	154	X	90,0	40,2
230%	161	X	100,0	43,0
240%	168	X	115,0	45,0
250%	175	X	135,0	48,5
260%	182	X	162,0	55,0
Rompimento	188,6	X	232,0	68,0