

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO RANGEL DE SOUSA FERREIRA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA ALVENARIA DE BLOCOS DE
CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO**

CAMPO MOURÃO

2023

GUSTAVO RANGEL DE SOUSA FERREIRA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA ALVENARIA DE BLOCOS DE
CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO**

Study of adherence resistance in autoclaved aerated concrete block

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Profª Drª Fabiana Goia Rosa de Oliveira.

CAMPO MOURÃO

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUSTAVO RANGEL DE SOUSA FERREIRA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA NA ALVENARIA DE BLOCOS DE
CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14/junho/2023

Fabiana Goia Rosa de Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Campo Mourão*

Jorge Luís Nunes de Góes
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Campo Mourão*

Paula Cristina de Souza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus Campo Mourão*

CAMPO MOURÃO
2023

AGRADECIMENTOS

A princípio, dedico este trabalho aos meus pais, por todo incentivo e sacrifício que tiveram de fazer para que a realização dos meus sonhos, e consequentemente a conclusão da minha graduação, fosse possível. Obrigado por todo amor e compreensão!

Agradeço à minha orientadora, Prof^a Fabiana Goia, não somente por todo conhecimento transmitido durante a graduação e elaboração deste trabalho, mas também pelo exemplo de excelência profissional.

Ao grupo PET Civil, pela oportunidade de desenvolver atividades para proporcionar a melhoria da vivência acadêmica, e criar laços com pessoas que são e foram essenciais para a formação do meu caráter profissional e pessoal.

Aos amigos, que nos momentos difíceis, longe de casa, tornaram-se minha família e me motivaram, lembrando do motivo de todos estarem aqui. Carregarei vocês comigo para sempre!

Por fim, a todos que de alguma maneira fizeram parte da minha passagem pela universidade e cooperaram para o bom andamento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho volta-se para a área de materiais da construção civil e direciona-se para o estudo da resistência de aderência em substratos feitos de blocos de concreto celular autoclavado. O motivo principal para a realização deste, deve-se ao fato de o material em questão ter tido um crescente uso em obras prediais brasileiras, devido a sua baixa condutividade térmica e pequena massa específica, apesar de suas grandes dimensões. Neste trabalho executou-se uma parede com alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado e revestiu-se uma das faces com uma camada chapisco seguida de emboço com argamassa mista (cimento e cal), enquanto a outra utilizou-se apenas da camada de emboço. Em seguida realizou-se o ensaio de tração normal com dinamômetro e calculou-se a resistência de aderência para as faces. Para a face que recebeu a camada de chapisco, obteve-se 0,21 MPa e na face que possuía apenas emboço, a resistência de aderência foi de 0,15 MPa. Em posse destes resultados, foi realizado um comparativo com os valores exigidos pela ABNT NBR 13749 (2013) e valores de trabalhos anteriores. Constatou-se que os valores alcançados nesta pesquisa foram inferiores aos prescritos em normativa e para substratos de bloco cerâmico. Quando comparados com trabalhos de outros autores para substrato de BCCA, o resultado foi 650% mais satisfatório. Por fim, concluiu-se que para que este material tenha melhor desempenho quanto a aderência, além da camada de chapisco ser necessária, também é importante a realização de um tratamento superficial anterior a realização do revestimento argamassado.

Palavras-chave: Aderência; BCCA; Resistência de aderência; Concreto Celular.

ABSTRACT

This work focuses on the field of building materials and focuses on the study of adhesion resistance in substrates made of autoclaved aerated concrete blocks. The main reason for this study is due to the fact that this material has been increasingly used in Brazilian building construction, due to its low thermal conductivity and small specific mass, despite its large dimensions. In this work, a masonry wall of autoclaved aerated concrete blocks was executed and one of the faces was coated with a roughcast layer followed by plastering with mixed mortar (cement and lime), while the other side was used only the plaster layer. Then, the normal traction test was carried out with a dynamometer and the adhesion resistance for the faces was calculated. For the face that received the roughcast layer, 0,21 MPa was obtained, and for the face with only roughcast, the bond strength was 0,15 MPa. With these results in hand, a comparison was made with the values required by ABNT NBR 13749 (2013) and values from previous works. It was found that the values achieved in this research were lower than those prescribed in regulations and for ceramic block substrates. When compared with works by other authors for BCCA substrate, the result was 650% more satisfactory. Finally, it was concluded that in order for this material to perform better in terms of adhesion, in addition to the roughcast layer being necessary, it is also important to carry out a surface treatment prior to performing the mortar coating.

Keywords: Adhesion; BCCA; Adhesion resistance; Aerated Concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cronograma da classificação dos concretos leves.	17
Figura 2 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco e esquema do conjunto de camadas (revestimento, cola e pastilha).	22
Figura 3 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco e esquema do conjunto de camadas (revestimento, cola e pastilha).	23
Figura 4 – Defeitos encontrados no material devido o transporte.	25
Figura 5 – Dimensões do bloco.	26
Figura 6 – Ensaio de compressão: (a) Extração dos corpos de prova, (b) Corpos de prova 1, 2, 3 e 4, (c) Corpos de prova 5 e 6, (d) Rompimento dos corpos de prova.	27
Figura 7 – Paletização dos blocos.	28
Figura 8 – Paginação da alvenaria.	29
Figura 9 – Confeção do meio-bloco: (a) Marcação da seção de corte, (b) Marcação da segunda seção de corte, (c) Corte, (d) Regularização da seção de corte.	29
Figura 10 – Meio-bloco.	30
Figura 11 – Materiais da argamassa de assentamento: (a) Recipiente de cimento, (b) Cimento CP II, (c) Cal hidratada, (d) Areia média.	31
Figura 12 – Preparo da argamassa de assentamento: (a) Mistura de cal e areia, (b) Adição de água, (c) Acréscimo de cimento, (d) Argamassa finalizada.	32
Figura 13 – Verificações de assentamento: (a) Alinhamento vertical, (b) Alinhamento horizontal, (c) Alinhamento da fiada, (d) Umedecimento da área de aplicação da argamassa.	33
Figura 14 – Parede de substrato finalizada.	34
Figura 15 – Mistura do chapisco.	35
Figura 16 – Lançamento do chapisco.	35
Figura 17 – Finalização do chapisco.	36
Figura 18 – Gabarito da camada de emboço: (a) Taliscas cerâmicas, (b) Fixação das taliscas, (c) Aferição da espessura, (d) Verificação do alinhamento.	37
Figura 19 – Enchimento das mestras.	37
Figura 20 – Regularização das mestras.	38
Figura 21 – Camada de emboço “Face A”: (a) Enchimento, (b) Regularização, (c) Preenchimento de vazios superficiais, (d) Desempenamento.	39
Figura 22 – Camada de emboço da “Face A” finalizada.	39
Figura 23 – Camada de emboço “Face B”: (a) Gabarito da espessura, (b) Enchimento das mestras, (c) Enchimento e nivelamento da superfície, (d) Desempenamento.	40
Figura 24 – Camada de emboço da “Face B” finalizada.	41
Figura 25 – Ferramentas para delimitação dos corpos de prova: (a) Serra copo diamantada 50 mm (vista longitudinal), (b) Serra copo diamantada 50 mm (vista transversal), (c) Furadeira elétrica.	42
Figura 26 – Delimitação dos corpos de prova: (a) Corte do revestimento, (b) Limpeza do corte.	43
Figura 27 – Pastilhas metálicas.	43
Figura 28 – Adesivo epóxi.	44

Figura 29 – Colagem das pastilhas: (a) Papelão para evitar quedas, (b) Colagem e nomenclatura, (c) Distribuição dos corpos de prova.....	44
Figura 30 – Dinamômetro: (a) Vista 1, (b) Vista 2, (c) Vista 3.	45
Figura 31 – Ensaio de tração normal: (a) Instalação do sistema de engate na pastilha, (b) Sistema de engate pastilha-dinamômetro, (c) Acoplamento do dinamômetro, (d) Dinamômetro acoplado.	46
Figura 32 – Corpo de prova 6a.	52
Figura 33 – Corpo de prova 4a.	52
Figura 34 – Corpo de prova 12b.	53
Figura 35 – Corpo de prova 2b.	53
Gráfico 1 – Comparativo com valor de norma – Face A.	50
Gráfico 2 – Comparativo com valor de norma – Face B.	51
Gráfico 3 – Porcentagem de ocorrência de tipos de ruptura – Face A.	54
Gráfico 4 – Porcentagem de ocorrência de tipos de ruptura – Face B.	54
Gráfico 5 – Comparação de resultados por autor.	56
Quadro 1 – Formas de ruptura e valores da resistência de aderência para a Face A.	49
Quadro 2 – Formas de ruptura e valores da resistência de aderência para a Face B.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de resistência à compressão para concretos leves em função da massa específica.....	16
Tabela 2 – Classes e resistência à compressão.....	48
Tabela 3 - Valores obtidos através do ensaio de compressão.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivos gerais.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1	Concreto leve.....	16
4.1.1	Concreto celular autoclavado	17
4.1.2	Bloco de concreto celular autoclavado	18
4.2	Aderência	19
4.2.1	Sistema de aderência mecânico.....	20
4.2.2	Sistema de aderência químico	21
4.3	Métodos de avaliação da resistência de aderência.....	21
4.3.1	Resistência de aderência à tração	21
5	MATERIAIS E MÉTODOS	25
5.1	Recebimento e caracterização do material	25
5.2	Elevação das paredes	28
5.2.1	Preparo do substrato	28
5.2.2	Revestimento argamassado.....	34
<u>5.2.2.1</u>	<u>Face A.....</u>	<u>34</u>
<u>5.2.2.2</u>	<u>Face B.....</u>	<u>40</u>
5.3	Corpos de prova	41
5.3.1	Locação e delimitação.....	41
5.3.2	Colagem das pastilhas	43
5.4	Resistência de aderência.....	45
5.4.1	Ensaio de tração normal.....	45
5.4.2	Cálculo da resistência de aderência.....	46
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6.1	Ensaio de compressão dos blocos.....	48
6.2	Ensaio de tração normal.....	48
6.2.1	Formas de ruptura, resistência de aderência e comparação com a norma. 49	
6.2.2	Análise comparativa com trabalhos anteriores.	54

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Desde anos anteriores, o crédito imobiliário que era pouco atrativo para o sistema financeiro, tornou-se instrumento importante na fidelização de clientes, que pela facilidade em ter acesso a promoção de obras residenciais, acaba se inclinando a aquecer o mercado da construção civil (VARISCO, 2014).

Com este crescimento, a população se tornou cada vez mais crítica quanto o desempenho das habitações. Com a publicação da ABNT NBR 15575 (2021), veio à tona parâmetros essenciais para o estabelecimento das condições de conforto e segurança nas edificações. As características técnicas exigidas pela referida norma, seguem a tendência mundial e promove a qualidade do uso das construções, atendendo as expectativas do consumidor, bem como das sociedades afins da construção civil. Com a finalidade de atender as normatizações, se faz necessário o conhecimento e elaboração de novas tecnologias, para possibilitar a acessibilidade da população a um padrão de qualidade cada vez mais elevado (VARISCO, 2014).

Dentre essas tecnologias, surge o bloco de concreto celular autoclavado como alternativa na execução da alvenaria de vedação. Para a implementação deste material pouco difundido, é necessário a realização de diversos estudos quanto suas propriedades mecânicas e químicas. Dentre estas propriedades, a aderência ao revestimento é uma das mais importantes, pois afeta no conforto do usuário por estar ligada a estética do ambiente. Caso não supra os requisitos necessários, o surgimento de patologias ligadas a esta falha corrompe os aspectos de segurança, conforto e estéticos da edificação.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo são apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

2.1 Objetivos gerais

Estudar a resistência de aderência à tração em alvenaria feita a partir de substrato de bloco de concreto celular autoclavado (BCCA), e estabelecer um comparativo com a alvenaria em bloco cerâmico.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre as propriedades do BCCA, fatores que influenciam na aderência e métodos de avaliá-la.
- Executar, em parede com substrato de BCCA, ensaio de arrancamento conforme descrito na ABNT NBR 13528 (2019).
- Determinar a resistência de aderência do substrato feito a partir de BCCA.
- Analisar os resultados do ensaio e compará-los com os exigidos pela ABNT NBR 13749 (2013).
- Comparar os resultados obtidos com os que foram encontrados por outros autores em trabalhos anteriores, para substrato de blocos cerâmicos, blocos de concreto e BCCA.

3 JUSTIFICATIVA

O cenário da construção civil no Brasil é extremamente conservador no que tange a implementação de novas tecnologias no canteiro de obra. E comprova-se este fato, quando se observa os métodos construtivos utilizados na maioria das obras, que convencionalmente tratam-se do sistema estrutural em concreto armado e alvenaria de vedação em blocos cerâmicos.

Contudo, desde 2006 é observado um crescente uso do concreto celular autoclavado, com cerca de 70% desta prática concentrada na região sudeste do país. Pode-se correlacionar este fato com a alta demanda no setor da construção civil, que faz com que a busca por processos construtivos mais ágeis seja necessária para destaque no mercado de trabalho. Assim, o bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) se torna uma escolha bastante plausível devido a sua variedade de modelos, com dimensões que podem chegar a três vezes a do bloco cerâmico convencional, apresentando uma massa específica menor. É válido citar que esta última propriedade do material proporciona o alívio dos esforços solicitantes do sistema estrutural, proporcionando assim, redução dos custos nas etapas de super e infraestrutura. Outra possível justificativa, atribui-se a necessidade que as edificações possuem de assegurar, que em situações de incêndio, o usuário tenha tempo hábil para a evacuação do local. A ABNT NBR 14432 (2001) discorre sobre os procedimentos referentes as exigências de resistência ao fogo. Por apresentar baixíssima condutividade térmica, o BCCA se torna uma das melhores alternativas para compor paredes corta-fogo, e assim suprir esta necessidade (VARISCO, 2014).

A eficiência da aderência do revestimento nestas duas situações é de extrema importância na qualidade final do empreendimento, pois está contida no cerne da etapa de acabamento. Contribui não só para a vida útil da obra e prevenção de manifestações patológicas, mas também, no conforto e segurança do usuário.

Desta maneira, foi realizado um estudo da resistência ao arrancamento de um sistema de vedação com substrato de BCCA, comparando com valores normativos informados na ABNT NBR 13749 (2013) e resultados obtidos em trabalhos anteriores que utilizaram blocos cerâmicos e blocos de concreto, afim de realizar uma análise técnica sobre a eficiência deste material em aderir ao revestimento argamassado.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, são apresentados os conceitos que embasarão o estudo que será executado.

4.1 Concreto leve

O concreto leve é aquele cuja massa específica seca final, não deve ultrapassar 2000 kg/m³. São elaborados com agregados mais leves, com massa específica reduzida, ou substituindo uma parte dos sólidos, que o compõe, por ar. Podem ser classificados em: concreto celular, concreto sem finos e concreto com agregados leves (ISAIA, 2011)

Já a ABNT NBR MN 35:1995, informa que para a produção de um concreto leve, são utilizados agregados miúdos com massa unitária no estado seco inferior a 1120 kg/m³, e agregados graúdos com massa unitária inferior a 880 kg/m³. A mesma ainda apresenta valores mínimos de resistência à compressão de acordo com a massa específica do concreto, como mostra-se na Tabela 1.

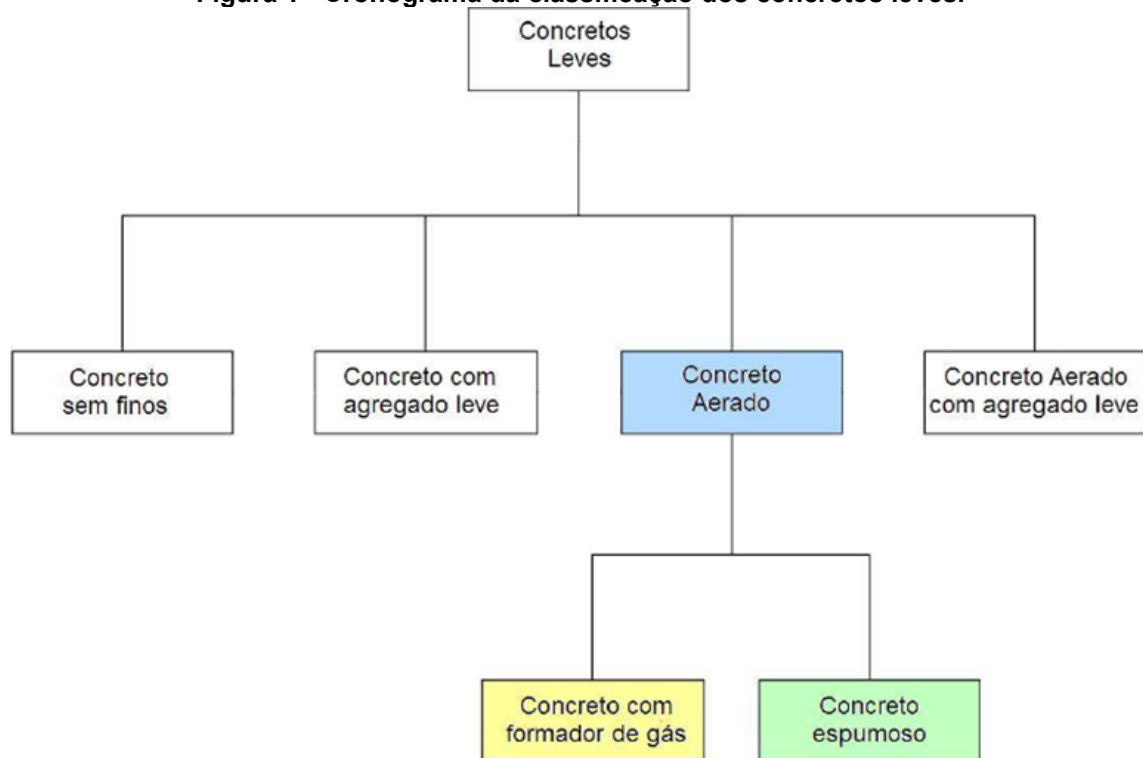
Tabela 1 - Valores de resistência à compressão para concretos leves em função da massa específica.

Resistência à compressão aos 28 dias (valores mínimos)	Massa específica aparente (valores máximos)
MPa	kg/m ³
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: Adaptado da ABNT NBR NM 35 (1995, p. 5)

A *Cement and Concrete Association*, em sua terminologia em relação a classificação dos concretos leves, refere-se ao concreto celular autoclavado (CCA) como concreto aerado com formador de gás. Mota (2001) caracteriza o concreto celular, como um aerado que possui em sua matriz sólida, células de hidrogênio que surgem em decorrência da formação de bolhas, podendo ser de origem química, ou inseridas manualmente no processo de execução. Na Figura 1, dispõe-se a classificação utilizada neste trabalho.

Figura 1 - Cronograma da classificação dos concretos leves.



Fonte: Cement and Concrete Association apud Mota (2001, p. 42)

4.1.1 Concreto celular autoclavado

Na ABNT NBR 13438 (2021) o CCA é descrito como um concreto leve, obtido por meio de um processo industrial, constituído por materiais calcários e ricos em sílica, granulados finamente. Através da utilização de produtos formadores de gases, água e aditivos, se for o caso, esta mistura é expandida, sendo submetidos à pressão e temperatura através de vapor saturado. Suas células são fechadas, aeradas e uniformemente distribuídas. É bastante utilizado na fabricação de blocos usados no levantamento de paredes, principalmente em locais de clima hostil como dos países escandinavos, devido ter como principal característica o isolamento térmico (VARISCO, 2014).

Segundo Lucas (1986), “concreto celular autoclavado” é o termo designado aos concretos leves que apresentam uma estrutura alveolar uniforme, ao qual o diâmetro dos alvéolos, é deve ser da ordem do milímetro e o volume superior a 50% do volume total do concreto.

Isaia (2011) afirma que o bloco feito a partir deste material, se assemelha com a madeira em isolamento térmico, estrutura sólida, massa específica e facilidade de manuseio. Ainda apresenta vantagens, desde que revestidos e devidamente pintados, quanto a deterioração biológica.

No Brasil, o bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) é utilizado na execução de sistemas de vedação internos e externos, contudo o maior problema no emprego deste material, como qualquer nova tecnologia que tange a construção civil, é a adaptação da mão de obra à cultura construtiva exigida, em seus cuidados e especificidades (VARISCO, 2014).

4.1.2 Bloco de concreto celular autoclavado

Entende-se que o bloco de concreto celular autoclavado é produto do concreto celular autoclavado, que durante o processo de fabricação, passa por cortes transversais, longitudinais e sagitais antes da autoclave, neste, com incidências de calor, umidade e pressão, os blocos já possuem as características físicas desejáveis no que se refere ao incremento em sua resistência à compressão (VARISCO, 2014).

Sua massa específica final é influenciada pelo processo de produção, uma vez que se pode obter diversos valores, a depender do tipo e da dosagem dos constituintes, variando entre 400 kg/m³ e 650 kg/m³ (MOTA, 2001).

Os BCCA apresentam baixa condutividade térmica, devido à baixa massa específica determinada pelos poros da estrutura interna. A presença de água nesses poros preenchidos com ar, pelo fato de a água conduzir maior quantidade de calor que o ar, tende a aumentar a condutividade (MOTA, 2001).

Segundo Legatski apud Mota (2001), além da influência direta com a massa específica, a resistência à compressão desses blocos é influenciada pela umidade dos corpos de prova analisado e as condições de cura da mistura no processo de produção.

Os blocos de concreto celular autoclavado devem ser fabricados conforme as normas brasileiras ABNT NBR 13438 (2021), ABNT NBR 13440 (2021), podendo ser produzidos em diferentes classes, porém no Brasil somente a Classe 25 (C 25), até a presente data é produzido. Mota (2001) informa que a massa específica desta classe no Brasil, varia de 500 a 650 kg/m³ conforme o fabricante.

Em visita a uma fábrica de BCCA, Pagani (2012), anotou os procedimentos para a fabricação do mesmo. Inicialmente é feita a extração e transporte da areia, para a secagem e seleção através de peneiramento. Transfere-se o material selecionado para um agitador que recebe água e sobras do corte do bloco para que sejam homogeneizados. Transfere-se este material para uma central de mistura que vai fazer a incorporação de cimento, cal, pó de alumínio e aditivos, devidamente dosados

para o tipo de bloco que será produzido. Logo após, com o despejo da mistura na forma, a reação química do pó de alumínio com a cal e a água formam o aluminato de cálcio, o qual desprende hidrogênio, que é responsável pela formação dos poros que dão forma, densidade e resistência ao BCCA. Após esta pré-cura, são feitos os cortes para delimitação das dimensões do material. Em seguida, as formas são empilhadas e colocadas no interior da autoclave, por um período de 18 horas e pressão de 10 bares, para que seja completada a cura do concreto. Após a cura, são transportados, ainda quentes, para o pátio da fábrica.

4.2 Aderência

Santos (2008) define a aderência como a resistência de arrancamento da argamassa endurecida do substrato, que por sua vez é influenciada por diversos fatores como: condição superficial, qualidade e dosagem correta dos materiais, capacidade de retenção de água, espessura do revestimento, entre outras. Paes (2004) afirma que por depender destes mecanismos que atuam tanto na interface, quanto nas pequenas profundidades do material analisado, este fenômeno possui um certo grau de complexibilidade. Scartezini e Carasek (2003), concluem que quanto maior rugosidade superficial, maior será o intertravamento da argamassa, chamada de macroancoragem, permitindo uma melhor penetração da pasta aglomerante no interior do bloco. Os mesmos autores mencionados anteriormente, citam que a forma como o substrato é preparado para receber o revestimento argamassado (umedecimento e a aplicação de chapisco), é fator influente na resistência de aderência, mas acima de tudo, o tipo de substrato é o maior responsável pela variação existente nesta.

A ABNT NBR 13528-1 (2019), em nota, informa que a aderência não é uma propriedade da argamassa, mas sim do sistema de revestimento que se pretende avaliar. Além disso, é essencial voltar os olhos para a ABNT NBR 13749 (2013), que é o documento que descreve as especificações e valores mínimos para o desempenho de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas, afim de ter uma referência confiável para basear-se ao analisar esta propriedade do material.

Além disso, segundo Carasek (1996), dentre as propriedades dos materiais, a porosidade e a capilaridade são as que possuem maior influência na aderência de argamassas. A sucção inicial da pasta aglomerante pelos poros do substrato, confere

aderência mecânica entre ambos. De uma forma geral, os materiais apresentam tanto poros abertos, quanto poros fechados, sendo classificados quanto ao seu diâmetro. Os micro poros apresentam diâmetro $< 0,1 \mu\text{m}$, por sua vez, poros capilares possuem diâmetro $\geq 0,1 \mu\text{m}$ e $\leq 20 \mu\text{m}$ e os macro poros apresentam diâmetro $> 20 \mu\text{m}$. Para a análise da aderência, os poros abertos de diâmetro capilar são os mais importantes, pois são proporcionam a sucção da pasta aglomerante.

Além da definição de Santos (2008), existe outro tipo de aderência, definida pela influência da argamassa em estado fresco, conhecido como adesão inicial, relacionada diretamente com as características reológicas da pasta aglomerante (VALDEHITA ROSELO, 1976 apud CARASEK, 1996). A retenção de água é uma propriedade da argamassa fresca que garante sua melhor hidratação e resistência de aderência ao substrato (PAGANI, 2012). Segundo Calhau (200, p. 19), “uma retenção de água adequada pode contribuir para o aumento da resistência de aderência ao evitar que parte da água seja perdida para o substrato e o meio ambiente, evitando, assim, retração por secagem rápida e proporcionando uma cura melhor”. Cimentos com que possuem um alto valor de finura, assim como teor de cal empregado, resulta em argamassa com uma maior retenção de água (CINCOTTO et al., 1995). Guimarães (1997) reforça que para uma argamassa mista de cimento e cal, conforme aumenta-se o percentual de cal e diminui-se o de cimento, a resistência à compressão é diminuída, porém é retribuída pelo aumento da retenção de água.

4.2.1 Sistema de aderência mecânico

Kampf (1963), iniciou a afirmativa, que se tornou um consenso por diversos autores, de que o meio pelo qual ocorre a aderência entre o substrato da alvenaria de vedação e o revestimento argamassado, é essencialmente mecânico, pois a pasta aglomerante penetra nos poros ou entre as rugosidades da base alvo da aplicação. Dentre destes, ocorrem precipitações dos géis de silicatos do cimento e do hidróxido de cálcio da cal, e, com decorrer do tempo de cura, exercem a ação de ancoragem da argamassa à parede. Pode-se afirmar que a aderência é o produto de três fatores: resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão da aderência (CARASEK, 1996).

A trabalhabilidade da argamassa, a energia de impacto na execução, as características e propriedades do substrato, bem como fatores externos, estão diretamente ligados ao fenômeno da aderência (CARASEK, 2014). Em busca de

eliminar as variabilidades em decorrência da energia de impacto na execução do revestimento, Carasek (1996) idealizou um dispositivo para lançamento de argamassa. Trata-se de uma caixa com fundo em gaveta que proporciona a aplicação de argamassa por meio de queda livre em substrato horizontal. Após o lançamento de uma altura padrão, a argamassa é nivelada com espessura de 20 mm, utilizando uma desempenadeira de madeira com gabaritos metálicos fixados sobre a face a revestir do substrato.

Carasek (1996) ainda realizou um estudo microscópico, da extensão de aderência, que é a relação da área de contato efetivo e a área total possível de ser unida. A autora concluiu que a trabalhabilidade da argamassa, que é diretamente ligada ao teor de cal na mesma, e o efeito geral da molhagem dos substratos é positivo para o aumento da extensão de aderência.

4.2.2 Sistema de aderência químico

O sistema de aderência químico é oriundo de ligações polares covalentes entre os átomos de cimento e do substrato. Tal constatação foi feita através de ensaios com placas de vidro unidas por uma camada de argamassa, para o ensaio de tração direta. Por ter a superfície muito lisa, esta ligação feita entre as placas de vidro, despreza a ancoragem mecânica. Ao fim, notou-se que independentemente do tipo da argamassa, o valor de resistência obtido era sempre entorno de 0,021 MPa que representa menos de 10% do encontrado em corpos de prova com blocos de diversos tipos, onde a aderência mecânica prevalece (KAMPF, apud CARASEK, 1996, p. 13).

4.3 Métodos de avaliação da resistência de aderência

Apesar de haver ensaios não destrutivos, baseados em ultrassom e vibrações sônicas para a avaliação da eficiência de adesivos, a avaliação da resistência de aderência só pode ser feita através de ensaios destrutivos (ADDAMS apud CARASEK, 1996, p. 75).

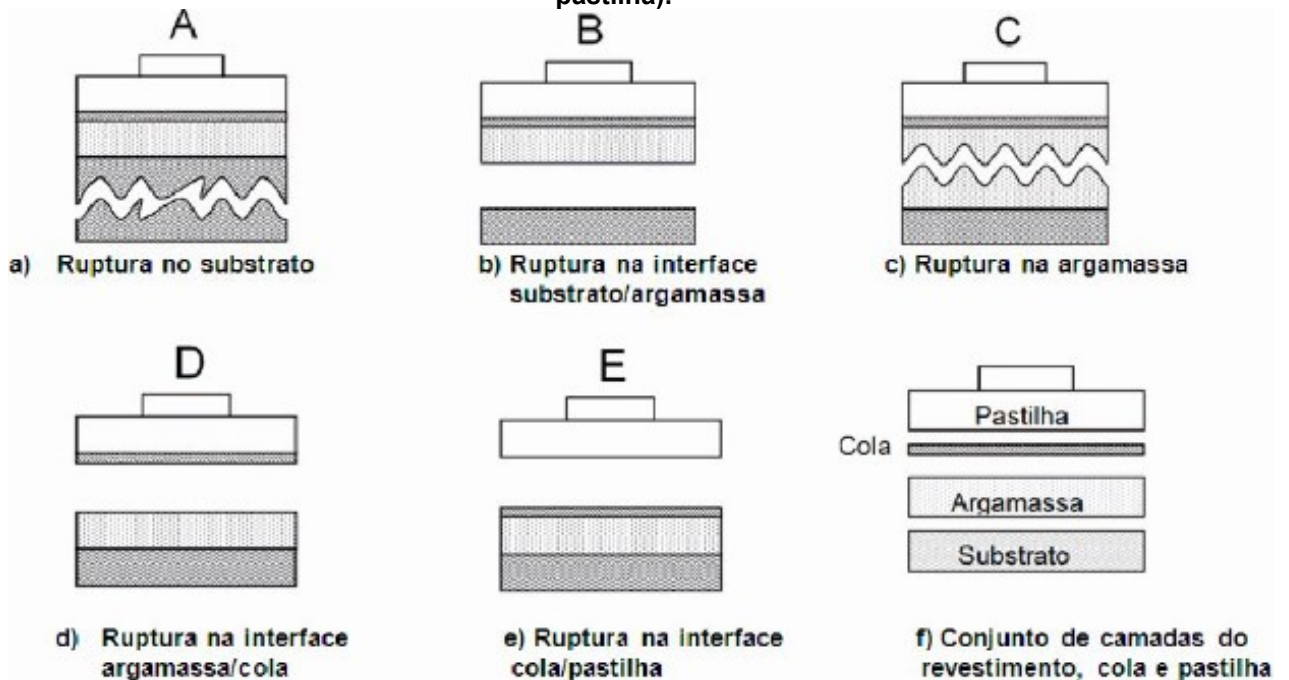
4.3.1 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração, ou também designada como resistência ao arrancamento, é a tensão máxima resistida por um corpo de prova de revestimento submetido à um esforço normal de tração.

Para a realização do ensaio, deve-se cortar o revestimento perpendicularmente ao seu plano, assim definindo o corpo de prova. Logo após, sobre o corpo de prova é colado um dispositivo para acoplar o equipamento de tração. Após a cura do adesivo utilizado para a fixação do dispositivo, o equipamento é acoplado a ele e inicia-se o tracionamento até a ruptura do corpo de prova ABNT NBR 13528-2 (2019).

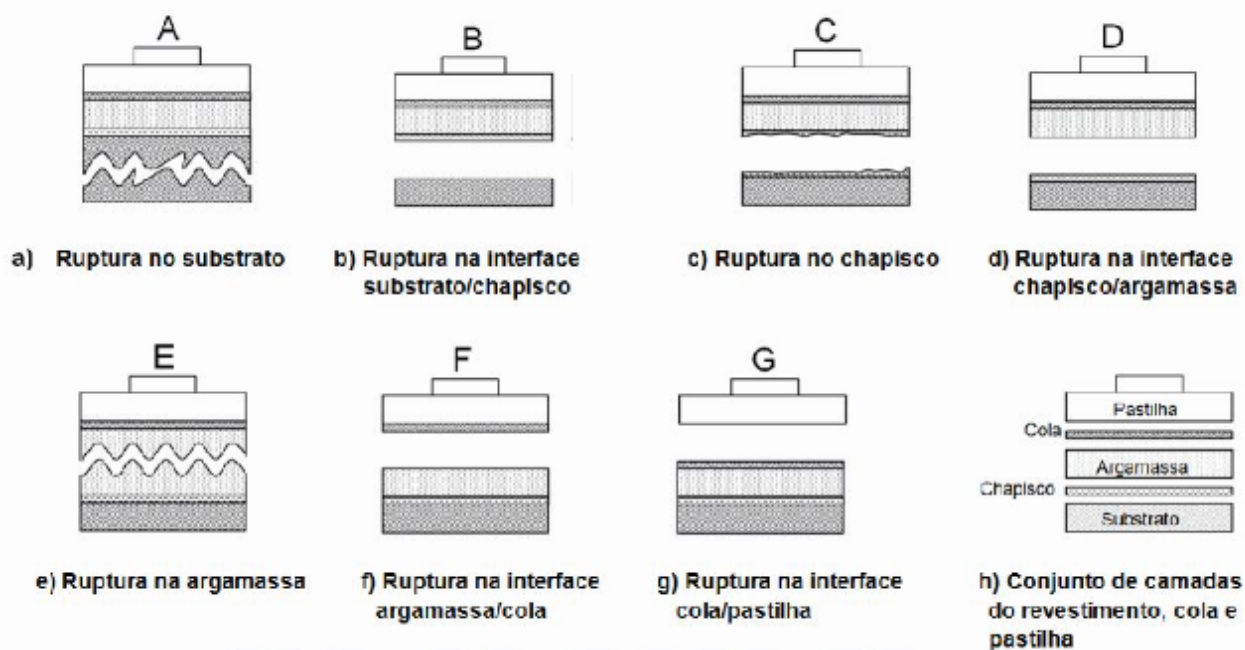
Além dos resultados apresentarem uma alta variabilidade nos valores, em decorrência da inconstância da forma de aplicação do revestimento no decorrer do substrato, existe uma variação na forma de ruptura dos corpos de prova. Sendo assim, deve-se avaliar os resultados para cada um desses tipos de ruptura, uma vez que a magnitude dos valores depende destes. Nas figuras 2 e 3 apresentam-se as formas de ruptura.

Figura 2 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco e esquema do conjunto de camadas (revestimento, cola e pastilha).



Fonte: ABNT NBR 13528-2 (2019, p. 8)

Figura 3 - Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com chapisco e esquema do conjunto de camadas (revestimento, cola e pastilha).



Fonte: ABNT NBR 13528-2 (2019, p. 9)

Somente na ruptura do tipo B da Figura 2, e nos exemplos B e D da Figura 3 o valor do ensaio representa o valor da resistência. Nos tipos restantes, o valor não é preciso, sendo a rigor o valor da resistência, maior que o obtido em ensaio. Com a ocorrência do tipo E na Figura 2 e G na Figura 3, subtende-se que houve falha no sistema de fixação da pastilha ao corpo de prova, assim se faz necessário o descarte do resultado. Por fim, pode acontecer mais de uma forma de ruptura simultaneamente, e para esta situação deve-se anotar a percentagem da área de cada uma delas, conforme demonstrado na ABNT NBR 13528-2 (2019).

Em sua tese, Carasek (1996), avaliou esta propriedade para diversos traços e tipos de revestimentos de argamassa em blocos de concreto celular autoclavado. Constatou-se que para argamassa com traço de 1:1/4:3 (cimento, cal, areia) obteve-se ruptura acima de 0,3 MPa, variando o traço para 1:2:9 a aderência foi praticamente nula e para o traço de 1:0:3, 60% dos resultados foram acima de 0,2 MPa e o restante acima de 0,3 MPa. Demonstrando que a predominância da quantidade da mistura de cimento e cal, sobre a quantidade de areia, acarreta em resultados de resistência mais satisfatórios. Carasek (1996), obteve os valores médios de 0,08 MPa para blocos de concreto e 0,45 MPa para blocos cerâmicos, ambos para revestimento argamassado com traço de 1:2:9, em volume (cimento, cal e areia), sem a camada de chapisco. Em

seu trabalho, Rodrigo Cruz (2015) alcançou, em painéis revestidos com a camada de chapisco lançado com traço de 1:3 em volume (cimento e areia), para o substrato de blocos de concreto, o valor médio de R_a de 0,52 MPa, enquanto para o de blocos cerâmicos, que é o mais comum em construções brasileiras, Cruz (2015) obteve o valor médio de 0,36 MPa.

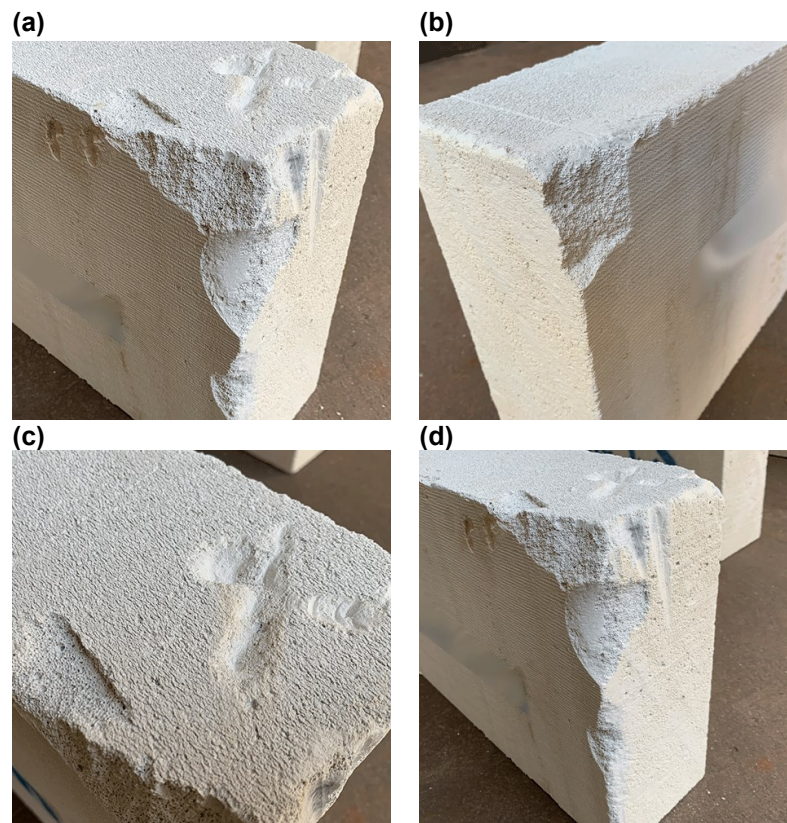
5 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo, são descritos os materiais e métodos referentes ao estudo que foi realizado.

5.1 Recebimento e caracterização do material

O material foi transportado da sede do fabricante (SC) até as dependências da UTFPR Campus Campo Mourão (PR). Por conta disso, no recebimento foram identificadas avarias no mesmo, porém durante o processo de elevação da parede, houve uma seleção dos blocos que apresentavam poucos, ou nenhum defeito para compor o substrato (Figura 4).

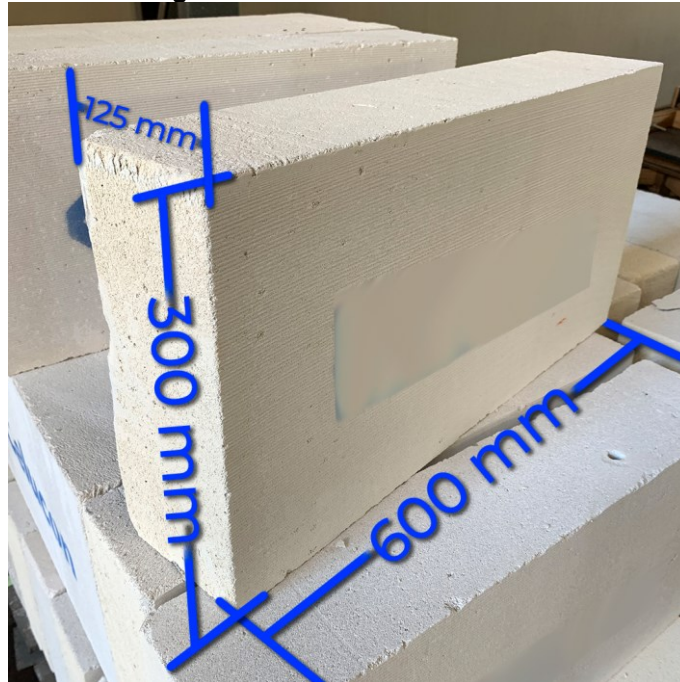
Figura 4 – Defeitos encontrados no material devido o transporte.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Logo após, com auxílio de uma trena foi realizada a verificação das medidas dos blocos, que deveriam ter 125 x 300 x 600 mm, tendo variabilidade de ± 3 mm em suas dimensões conforme ABNT NBR 13438 (2021). Constatou-se uniformidade em todos os blocos usados. Na Figura 5, essas dimensões são demonstradas.

Figura 5 – Dimensões do bloco.

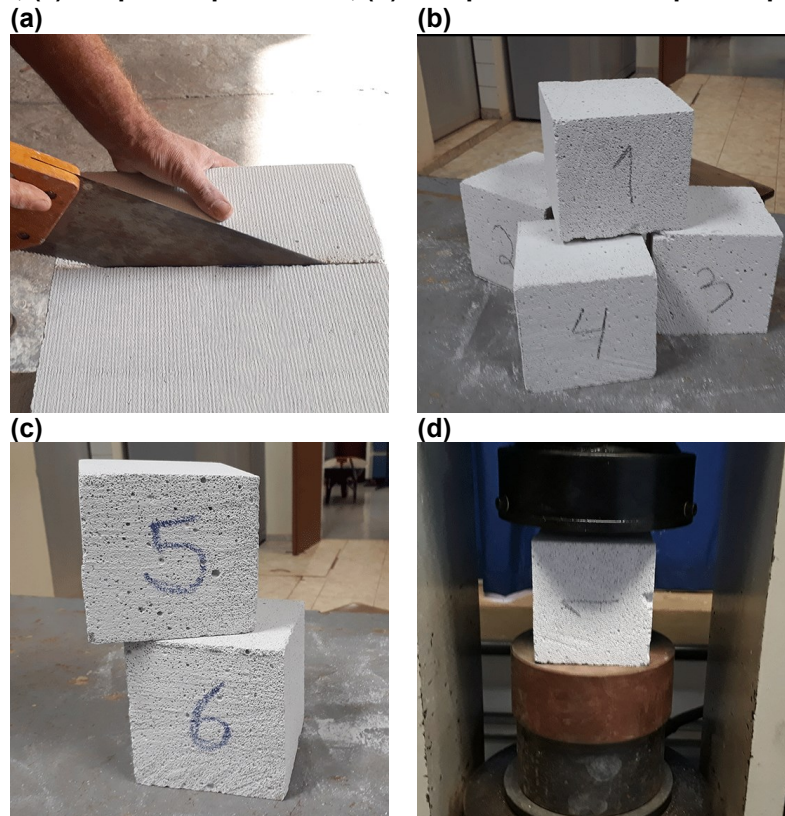


Fonte: Autoria Própria (2023)

Em seguida, realizou-se um ensaio de compressão para conferência da resistência a compressão e classe do material.

Conforme a ABNT NBR 13440 (2021), foram extraídos 2 corpos de prova de 10x10x10 cm proporcionalmente equidistantes de cada bloco. Foram utilizados 3 blocos, totalizando 6 corpos de prova. Com o auxílio de uma lixa, foi feita a regularização das faces. Logo após, foi feita a numeração, conferência das dimensões e rompimento dos mesmos, através de uma prensa hidráulica com velocidade de carregamento de 0,05 MPa/s. A Figura 6 apresenta os registros desta etapa.

Figura 6 – Ensaio de compressão: (a) Extração dos corpos de prova, (b) Corpos de prova 1, 2, 3 e 4, (c) Corpos de prova 5 e 6, (d) Rompimento dos corpos de prova.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Posterior ao rompimento, foi feito o cálculo da resistência à compressão e comparados com os valores apresentados na ABNT NBR 13438 (2021). O cálculo da resistência à compressão foi feito da seguinte maneira:

$$R_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:

R_c é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

F é a carga de ruptura, expressa em newtons (N);

A é a área da seção transversal do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm²).

Após a realização do ensaio, os blocos foram paletizados e armazenados até o dia da elevação das paredes.

Figura 7 – Paletização dos blocos.



Fonte: Autoria Própria (2023)

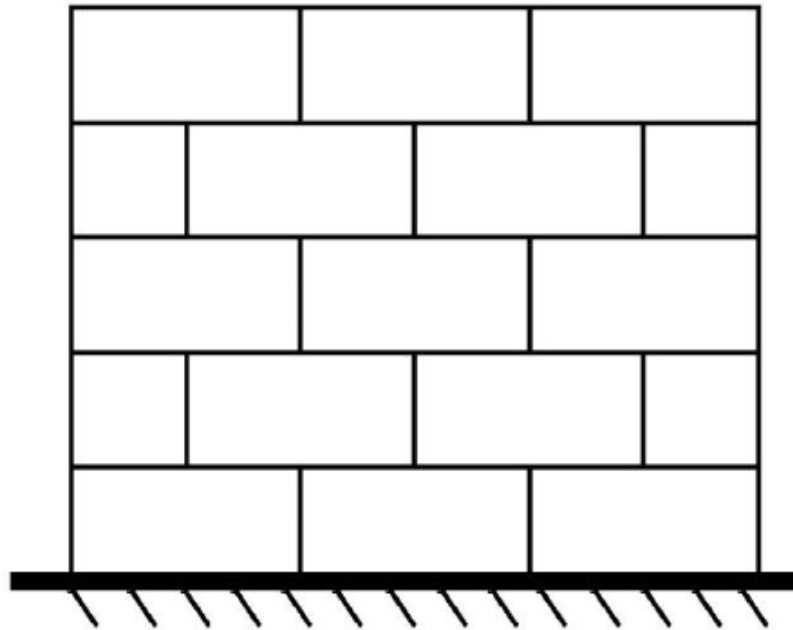
5.2 Elevação das paredes

Nesta seção serão apresentados os processos da etapa de elevação das paredes.

5.2.1 Preparo do substrato

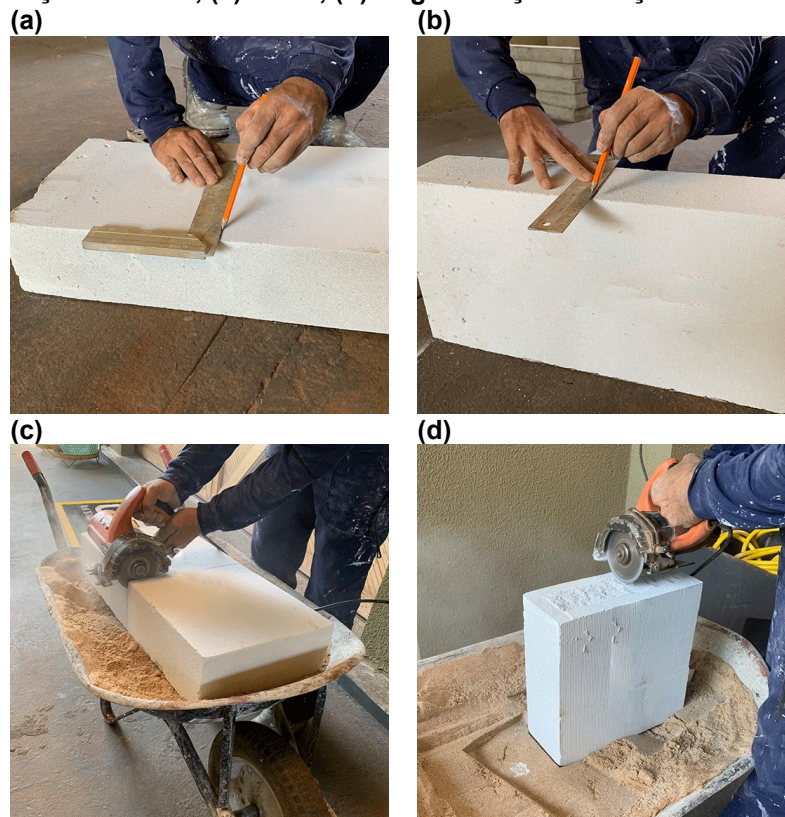
Inicialmente, foi definida a paginação da alvenaria (Figura 8), com a finalidade de racionalizar o trabalho, definindo as dimensões e quantidade de blocos a serem cortados. Concluiu-se que a parede teria 1,80x1,50m, portanto seriam utilizados 13 blocos inteiros e 4 meios-blocos (Figura 10). Sabendo-se disso, seria necessário realizar o corte de 2 blocos inteiros (Figura 9).

Figura 8 – Paginação da alvenaria.



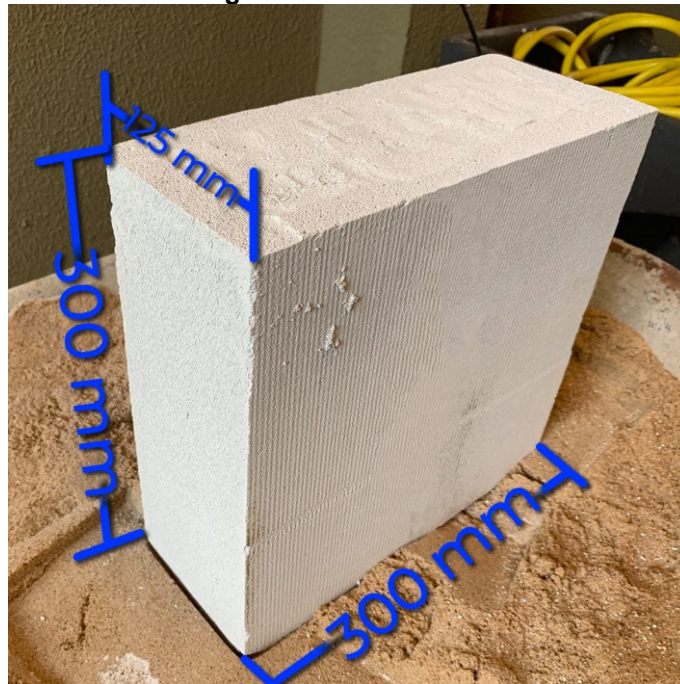
Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 9 – Confeção do meio-bloco: (a) Marcação da seção de corte, (b) Marcação da segunda seção de corte, (c) Corte, (d) Regularização da seção de corte.



Fonte: Autoria Própria (2023)

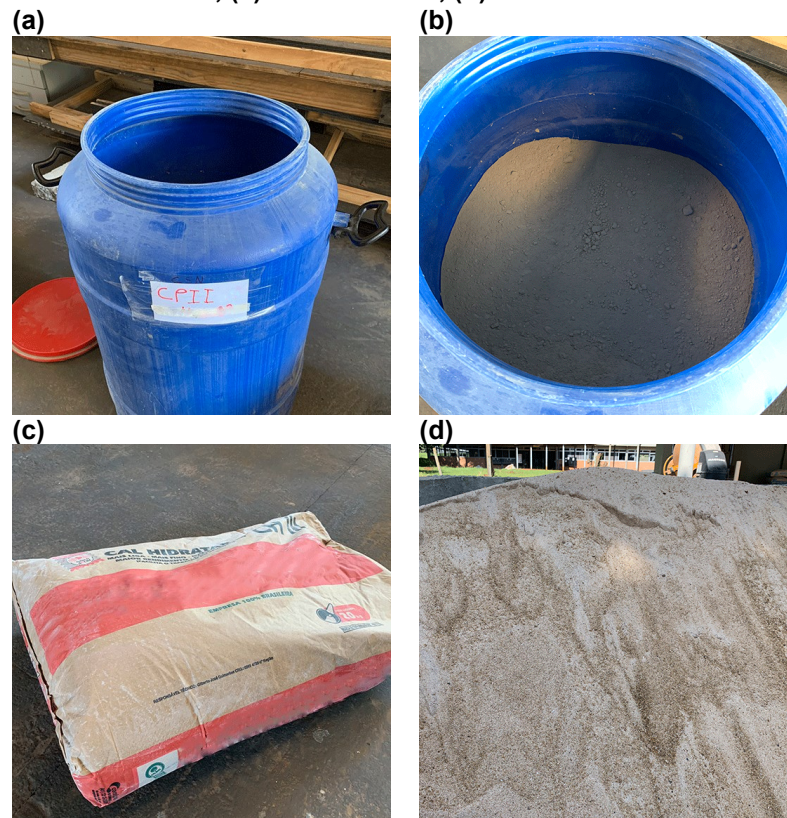
Figura 10 – Meio-bloco.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Logo após, visando o emprego de argamassa convencional feita *in loco* para assentamento dos blocos, foi feita a separação dos materiais a serem usados (Figura 11). O traço utilizado foi de 1:3:8 em volume (cimento, cal e areia) definido pela ABNT NBR 14956-2 (2013), assim como recomendado pelo caderno técnico do fabricante. Foi feito o uso de cimento portland CP II F-32, cal hidratada e areia média.

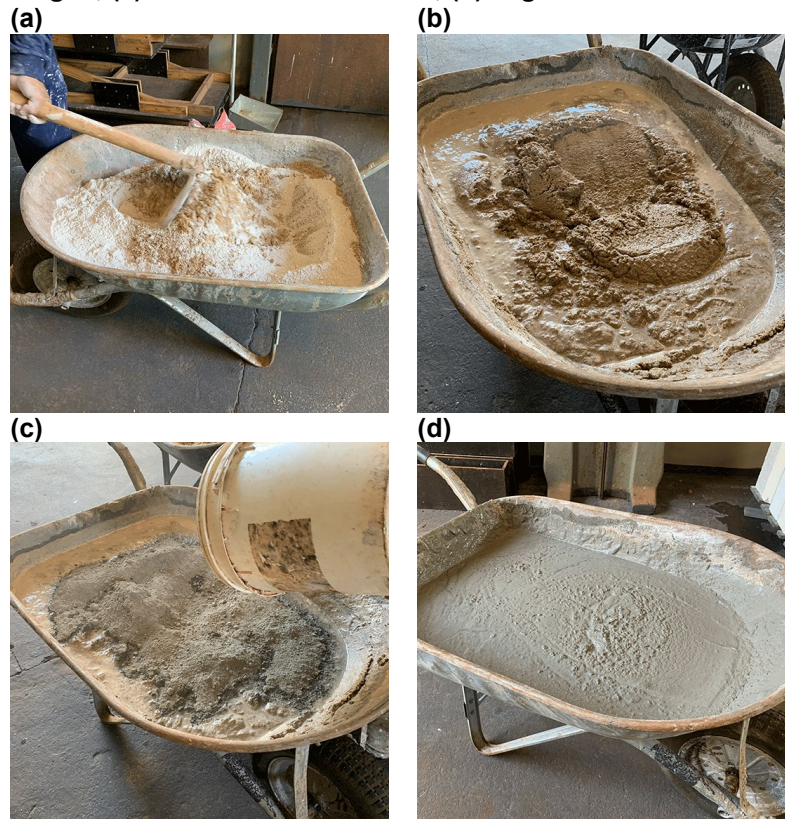
Figura 11 – Materiais da argamassa de assentamento: (a) Recipiente de cimento, (b) Cimento CP II, (c) Cal hidratada, (d) Areia média.



Fonte: Autoria Própria (2023)

O preparo da argamassa foi iniciado com a mistura da cal hidratada com a areia em uma carriola, posteriormente feita a adição de água e por fim o acréscimo de cimento. A adição de água foi feita até que a mistura alcançasse a consistência desejável para melhor trabalhabilidade. A Figura 12 demonstra o passo a passo.

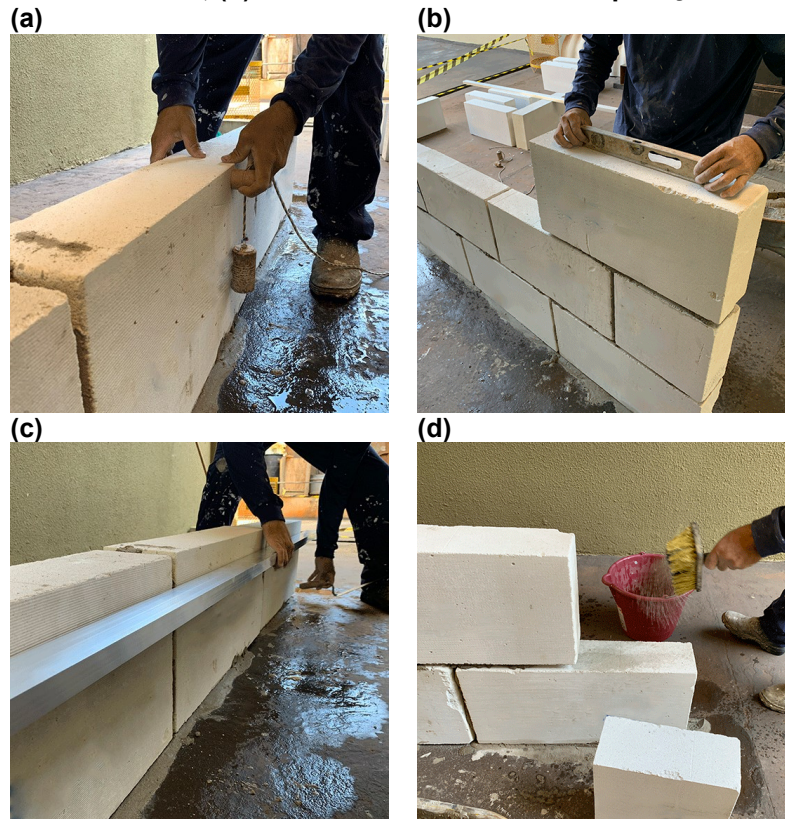
Figura 12 – Preparo da argamassa de assentamento: (a) Mistura de cal e areia, (b) Adição de água, (c) Acréscimo de cimento, (d) Argamassa finalizada.



Fonte: Autoria Própria (2023)

A seguir, fez-se a regularização do piso e assentamento da primeira fiada. A cada bloco assentado foi feita a verificação do nível, prumo e do alinhamento de um bloco em relação ao outro, para que não ocorresse acúmulo de erros que comprometam a linearidade da parede. Além disso, para melhor aderência da argamassa ao bloco, com auxílio de uma broxa, realizou-se o umedecimento da área a ser aplicada a argamassa. Durante o processo, também houve preocupação em manter a espessura da argamassa em torno de 10 mm. A Figura 13 mostra o procedimento descrito anteriormente.

Figura 13 – Verificações de assentamento: (a) Alinhamento vertical, (b) Alinhamento horizontal, (c) Alinhamento da fiada, (d) Umedecimento da área de aplicação da argamassa.



Fonte: Autoria Própria (2023)

O processo de assentamento e verificações foi repetido para todas as fiadas subsequentes à primeira. Com a conclusão da quinta fiada, chegando a 1,50 m de altura, finalizou-se a etapa de elevação da parede de substrato. A Figura 14 exhibe o resultado obtido com o término desta etapa.

Figura 14 – Parede de substrato finalizada.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Com a finalização da etapa de assentamento dos blocos, esperou-se a secagem da argamassa por cerca de duas horas, para que o substrato estivesse mais firme para receber as camadas de chapisco e emboço.

5.2.2 Revestimento argamassado

Esta etapa iniciou-se com a nomeação das faces do substrato. Denominou-se como “Face A”, aquela que simularia uma parede externa, portanto, por recomendação do fabricante, teria o seu revestimento composto pelas camadas de chapisco e emboço. Nomeou-se como “Face B”, a que simularia uma parede interna, desta forma, também por recomendação do fabricante, teria apenas a camada de emboço como formadora de seu revestimento.

5.2.2.1 Face A

Definiu-se que seria usado chapisco lançado, com traço de 1:3, em volume, (cimento e areia) e a quantidade de água seria adicionada até que a consistência que possibilitasse melhor trabalhabilidade fosse alcançada. As Figuras 15 e 16 exibem a mistura do chapisco e o lançamento do mesmo, enquanto na Figura 17 é exposta a parede com a camada finalizada.

Figura 15 – Mistura do chapisco.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 16 – Lançamento do chapisco.



Fonte: Autoria Própria (2023)

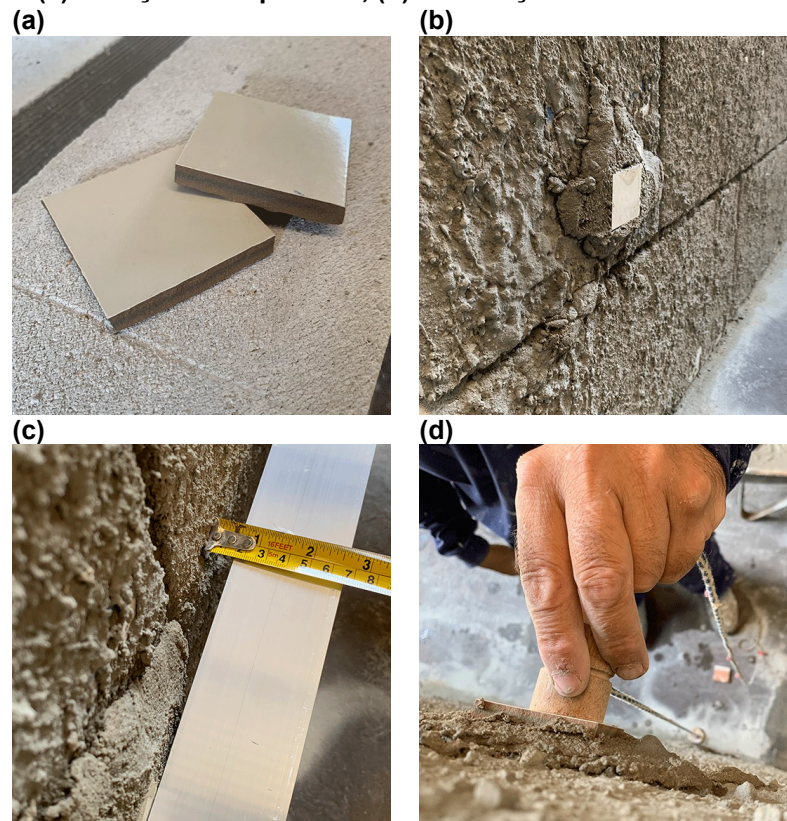
Figura 17 – Finalização do chapisco.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Com o término do chapisco e com o auxílio da fixação de taliscas de material cerâmico, foi feita a marcação de 1,5 cm para a espessura do emboço. Em seguida, realizou-se o enchimento das mestras com argamassa de traço 1:3:8, em volume, (cimento, cal e areia), para guiar todo o restante do procedimento. As Figuras 18, 19 e 20, demonstram o procedimento citado anteriormente.

Figura 18 – Gabarito da camada de emboço: (a) Taliscas cerâmicas, (b) Fixação das taliscas, (c) Aferição da espessura, (d) Verificação do alinhamento.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 19 – Enchimento das mestras.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 20 – Regularização das mestras.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Posteriormente, executou-se o enchimento do restante da parede, a nivelção da superfície, desempenamento e preenchimento dos vazios superficiais, utilizando-se de uma desempenadeira de plástico e de uma broxa, com função de umedecer a região a ser desempenada. Tal etapa é ilustrada na Figura 21, enquanto na Figura 22 é exibida a parede após a aplicação do emboço.

Figura 21 – Camada de emboço “Face A”: (a) Enchimento, (b) Regularização, (c) Preenchimento de vazios superficiais, (d) Desempenamento.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 22 – Camada de emboço da “Face A” finalizada.



Fonte: Autoria Própria (2023)

5.2.2.2 Face B

Para esta face, foram repetidas as etapas realizadas na “Face A”, uma vez que o objetivo seria simular o desempenho de uma parede interna, o fabricante sugere o descarte da camada de chapisco e assim foi feito. O processo é representado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Camada de emboço “Face B”: (a) Gabarito da espessura, (b) Enchimento das mestras, (c) Enchimento e nivelamento da superfície, (d) Desempenamento.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 24 – Camada de emboço da “Face B” finalizada.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Finalizando a elevação das paredes, esperou-se 28 dias, para que houvesse a cura da argamassa e após este período deu-se início aos procedimentos do ensaio de tração normal (arrancamento).

5.3 Corpos de prova

Como informado na seção anterior, após a cura da argamassa, deu-se início as etapas que compreendem o ensaio de tração normal descrito na ABNT NBR 13528-2 (2019), para definição da resistência de aderência do material. O primeiro passo foi a definição dos corpos de prova.

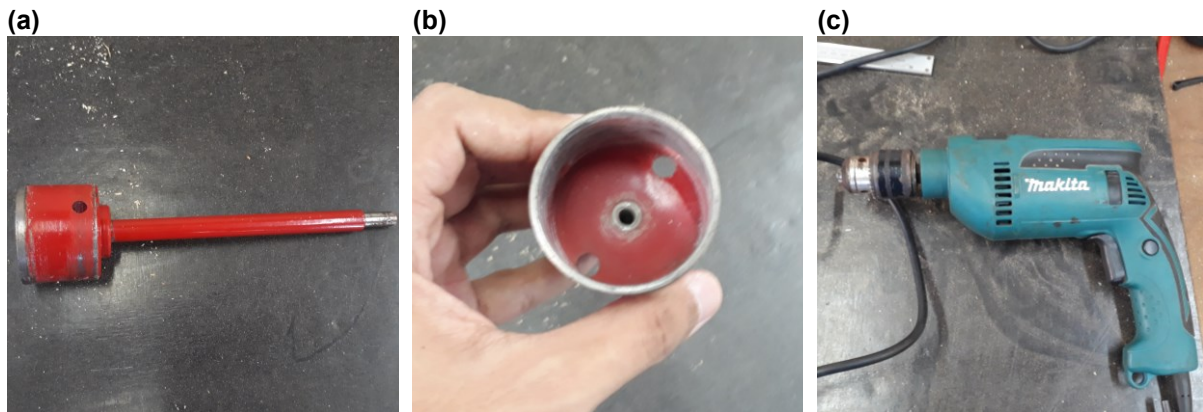
5.3.1 Locação e delimitação

A ABNT NBR 13528-2 (2019), recomenda que para toda determinação, deve-se fazer uso de 12 corpos de prova, espalhados de forma aleatoriamente sobre o painel revestido contemplando arrancamentos de juntas e blocos. Estes corpos de prova devem estar distantes um do outro em pelo menos 50 mm. Ainda é sugerido por norma, que para paredes internas devem ser distribuídos a 30 cm acima do piso e 30 cm abaixo do teto. Como a “Face B”, tem como objetivo simular uma parede do ambiente interno, atendeu-se esta recomendação técnica. Também foi atendida para

a “Face A”, para melhor ergonomia do operador dos equipamentos que compreendem este estudo.

A delimitação do corpo de prova é feita através do corte do revestimento, e para isso usou-se uma furadeira equipada com uma serra copo diamantada de 50 mm de diâmetro (Figura 25), conforme especificado por norma.

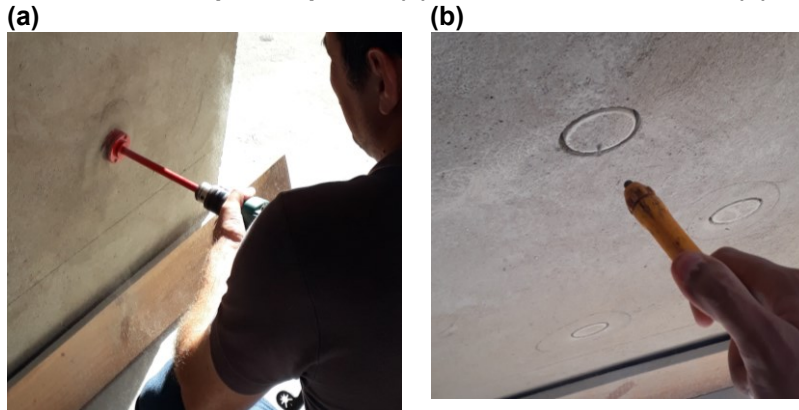
Figura 25 – Ferramentas para delimitação dos corpos de prova: (a) Serra copo diamantada 50 mm (vista longitudinal), (b) Serra copo diamantada 50 mm (vista transversal), (c) Furadeira elétrica.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Em posse de um lápis de carpinteiro, foi feita uma marcação prévia da distribuição de cada um dos 12 corpos de prova. Após a marcação, o técnico do laboratório realizou o corte dos mesmos, seguindo a recomendação da norma que é: cortar o revestimento até a superfície do substrato com transpasse de 1 a 5 mm. Posteriormente, efetuou-se a limpeza superficial com um pincel sendo seguido por uma rajada de ar comprimido, para certificar-se que não haveria nenhum resíduo de material no local (Figura 26).

Figura 26 – Delimitação dos corpos de prova: (a) Corte do revestimento, (b) Limpeza do corte.



Fonte: Autoria Própria (2023)

5.3.2 Colagem das pastilhas

Para o ensaio desenvolvido, o corpo de prova é composto pela parcela de revestimento e substrato que são arrancados. Para que o arrancamento seja possível, é necessário fazer uso de pastilhas metálicas (Figura 27), que fazem parte do dinamômetro, que são aderidas à parede por meio da colagem com adesivo epóxi (Figura 28).

Figura 27 – Pastilhas metálicas.



Fonte: Autoria Própria (2023)

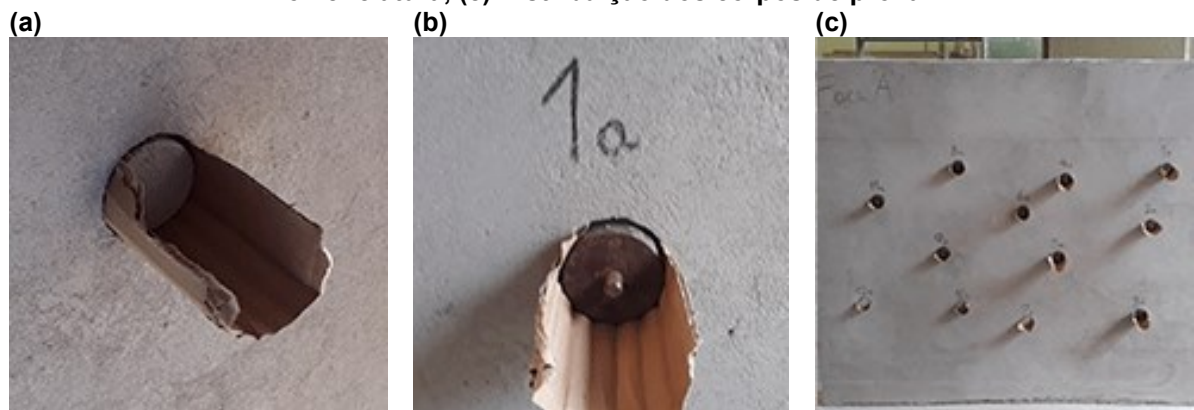
Figura 28 – Adesivo epóxi.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para a realização da colagem, foi assegurada, não somente a isenção de partículas na superfície da parede e das pastilhas, mas também a prevenção de possíveis quedas das pastilhas em decorrência da ação gravitacional. Para isso, foram utilizados pedaços de papelão que foram inseridos no corte dos corpos de prova. Após a colagem, atribuiu-se uma nomenclatura para cada corpo de prova, ao qual é composta por um número de 1 a 12, e uma letra minúscula que identifica a qual face da parede refere-se. Na Figura 29, são ilustrados os procedimentos citados anteriormente.

Figura 29 – Colagem das pastilhas: (a) Papelão para evitar quedas, (b) Colagem e nomenclatura, (c) Distribuição dos corpos de prova.



Fonte: Autoria Própria (2023)

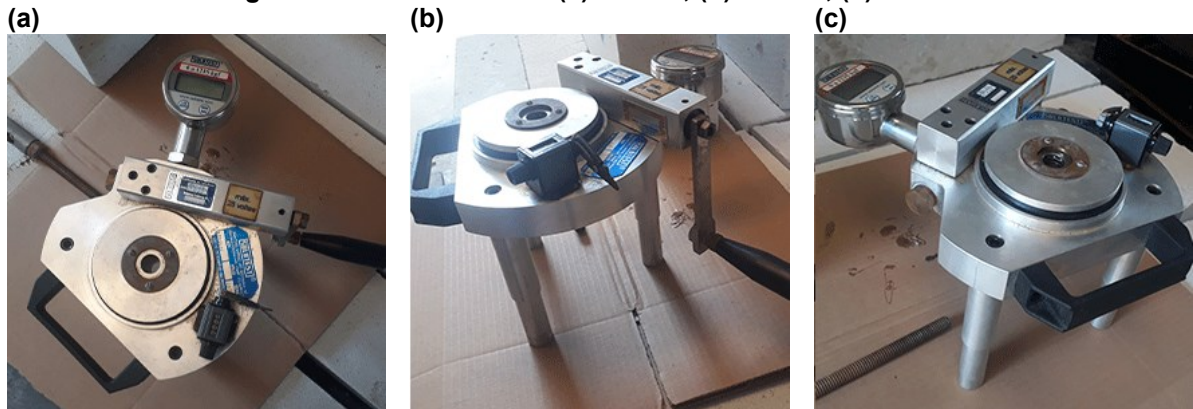
5.4 Resistência de aderência

Conforme descrito nos objetivos deste trabalho, realizou-se uma avaliação da resistência de aderência da parede feita com substrato de BCCA, e para tal avaliação adequou-se do ensaio de tração normal descrito pela ABNT NBR 13528-2 (2019).

5.4.1 Ensaio de tração normal

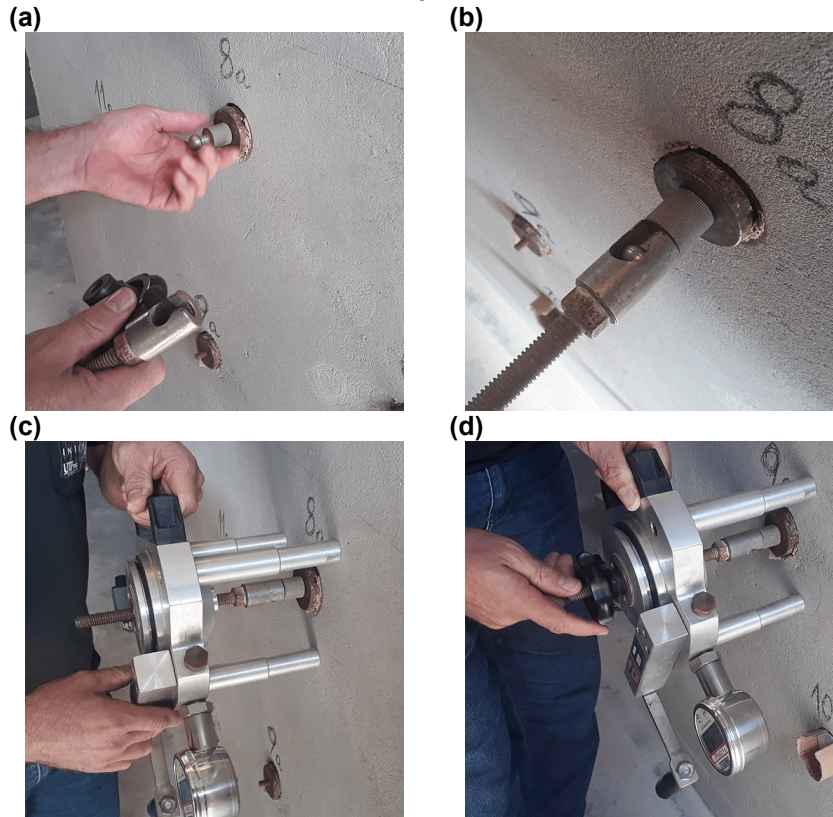
Conforme a norma, o ensaio foi feito 24 horas após a fixação das pastilhas sobre a superfície dos corpos de prova, pois é o tempo de secagem que o fabricante do adesivo epóxi informa. Acoplou-se o dinamômetro à pastilha e aplicou-se um crescente esforço de tração até que houvesse o rompimento do revestimento. A Figura 30 exibe o dinamômetro utilizado neste ensaio, enquanto a Figura 31 registra o momento de um dos ensaios.

Figura 30 – Dinamômetro: (a) Vista 1, (b) Vista 2, (c) Vista 3.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 31 – Ensaio de tração normal: (a) Instalação do sistema de engate na pastilha, (b) Sistema de engate pastilha-dinamômetro, (c) Acoplamento do dinamômetro, (d) Dinamômetro acoplado.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Após a acoplagem, aplicou-se o carregamento através de voltas por um sistema de manivela, até o rompimento do painel revestido. Após o rompimento, o equipamento exibe a carga de ruptura. Anotou-se cada uma das cargas, juntamente com o nome do corpo de prova que se refere e duas fotografias que exibem a forma de ruptura. O ensaio foi realizado da mesma maneira para ambas as faces da parede.

5.4.2 Cálculo da resistência de aderência

Com o término dos ensaios, calculou-se a resistência de aderência de cada um dos corpos de prova através da seguinte equação:

$$R_a = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Onde:

R_a é a resistência de aderência à tração ao substrato, expressa em megapascals (MPa);

F é a carga de ruptura, expressa em newtons (N);

A é a área da seção transversal do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm^2).

Assim como mencionado na revisão bibliográfica do presente trabalho, foram avaliados os resultados para cada tipo de ruptura que foi obtida. Posteriormente, comparou-se a média das resistências ao arrancamento obtidas pelo ensaio de tração normal, com os valores exigidos pela ABNT NBR 13749 (2013) e valores apresentados em trabalhos anteriores a este, para substrato à base de blocos cerâmicos e de concreto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos.

6.1 Ensaio de compressão dos blocos

A Tabela 2 apresenta os valores mínimos de resistência de acordo com a classe do bloco, enquanto na Tabela 3 são mostrados os resultados do ensaio realizado.

Tabela 2 – Classes e resistência à compressão.

Classe	Resistência à compressão – seca (MPa)	
	Valor médio mínimo	Menor valor isolado
C 12	1,2	1,0
C 15	1,5	1,2
C 25	2,5	2,0
C 35	3,5	3,0
C 45	4,5	4,0

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 13438 (2021, p. 3)

Tabela 3 - Resultados do ensaio de compressão.

Corpo de prova	Resistência à compressão
Nº	MPa
1	1,85
2	2,58
3	2,10
4	1,88
5	2,25
6	2,82
Média	2,25

Fonte: Autoria própria (2023)

O bloco enviado pelo fabricante, é classificado como classe C 25, porém houve uma diferença de 10% nos valores médios e de 7,5% no menor valor isolado. Uma possível justificativa para esta diferença, seria o fato de os corpos de prova não serem um cubo totalmente perfeito, em decorrência de uma pequena não uniformidade entre as faces, que ocorre devido a forma como foram extraídos dos blocos.

6.2 Ensaio de tração normal

A seguir, descreve-se os resultados e considerações feitas a partir do ensaio de tração normal.

6.2.1 Formas de ruptura, resistência de aderência e comparação com a norma.

Em posse dos registros fotográficos e das Figuras 2 e 3, realizou-se a classificação dos corpos de prova conforme suas formas de ruptura. Sendo a Figura 2 utilizada para os ensaios feitos na Face B, e a Figura 3 para ensaios da Face A. Com os valores obtidos, por meio do dinamômetro foi realizado o cálculo da resistência de aderência dos corpos de prova, conforme a Equação 2. Para tal cálculo, foram consideradas as observações do item 10 da ABNT NBR 13528-2 (2019). Os Quadros 1 e 2, foram adaptados das tabelas 1 e 2 da ABNT NBR 13528-2 (2019), e apresentam os resultados do ensaio realizado neste trabalho.

Quadro 1 – Formas de ruptura e valores da resistência de aderência para a Face A.

Corpo de prova		Carga de ruptura (N)	Tensão R_a (MPa)	Forma de ruptura (%)						
nº	Área (mm²)			A	B	C	D	E	F	G
1a	1963	363	> 0,18						100	
2a	1963	579	> 0,29					100		
3a	1963	39	> 0,02					100		
4a	1963	29	> 0,01					100		
5a	1963	628	> 0,32						100	
6a	1963	893	> 0,45					100		
7a	1963	128	> 0,06	90	10					
8a	1963	137	> 0,07	100						
9a	1963	785	> 0,40	85				15		
10a	1963	638	> 0,32	65	35					
11a	1963	559	> 0,28	100						
12a	1963	59	> 0,03	80	20					

Fonte: Autoria própria (2023)

Quadro 2 – Formas de ruptura e valores da resistência de aderência para a Face B.

Corpo de prova		Carga de ruptura (N)	Tensão R_a (MPa)	Forma de ruptura (%)				
nº	Área (mm²)			A	B	C	D	E
1b	1963	20	> 0,01				100	
2b	1963	10	0,01		100			
3b	1963	500	0,25		100			
4b	1963	471	0,24		100			
5b	1963	20	0,01		75	25		
6b	1963	284	0,14		50	50		
7b	1963	373	0,19		50	50		
8b	1963	20	0,01		100			
9b	1963	412	> 0,21			100		
10b	1963	598	0,30		30	70		
11b	1963	78	0,04		70	30		
12b	1963	736	> 0,37				100	

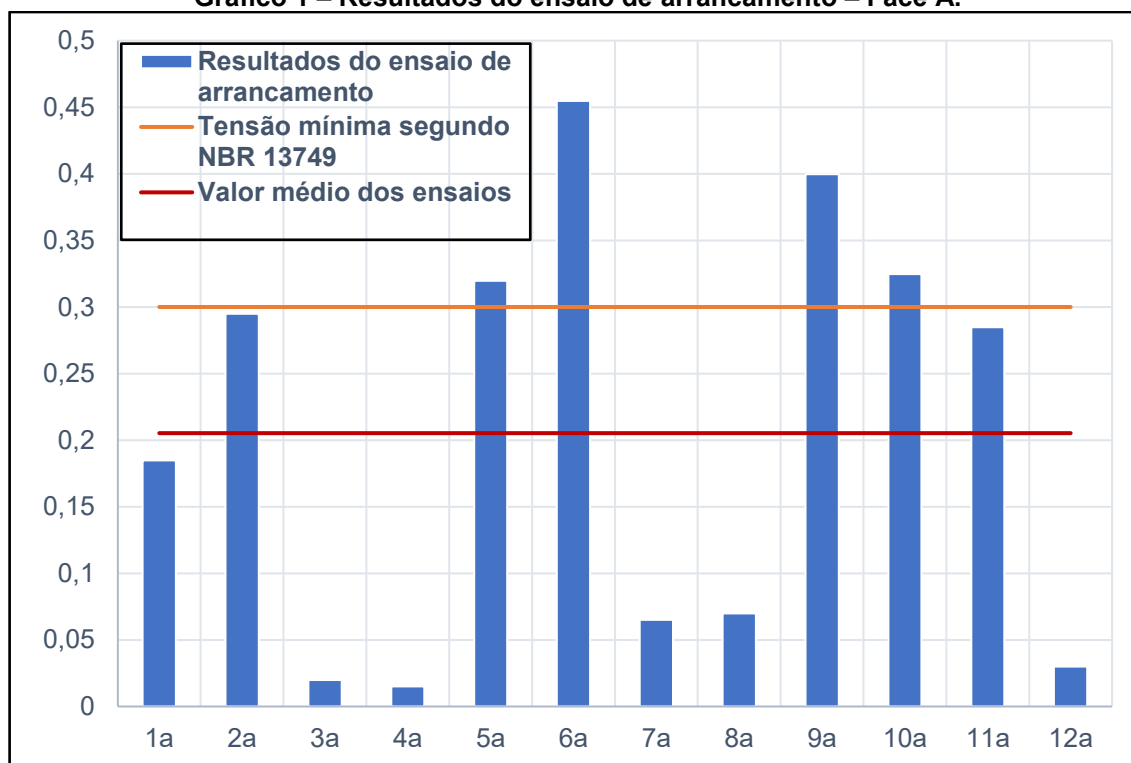
Fonte: Autoria própria (2023)

Para a Face A, observa-se que as formas de ruptura predominantes são dos tipos “A” e “E”. Além disso, o restante dos corpos de prova apresentou rupturas que também são enquadradas na situação em que não se pode definir o valor da resistência de aderência, logo, conforme a norma, o valor numérico da tensão deve ser precedido pelo sinal de maior que ($>$), conforme ABNT NBR 13528-2 (2019).

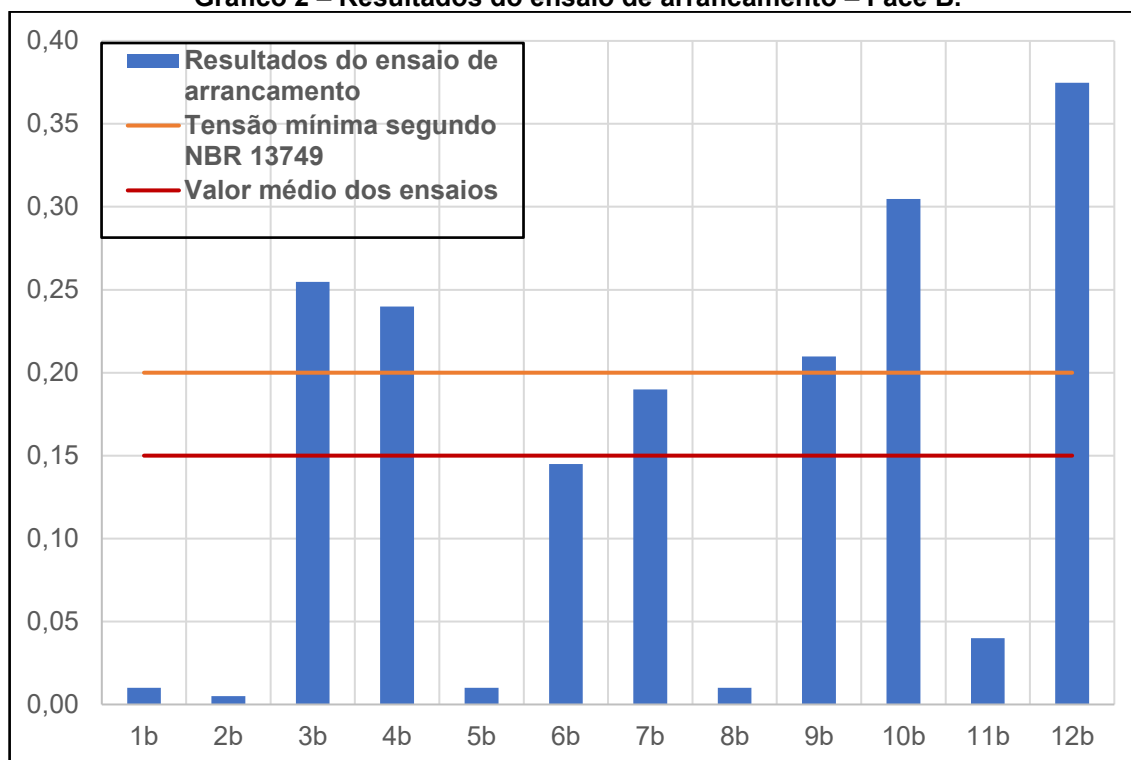
Considerando os valores de R_a obtidos, calculou-se a média entre eles, para fins de comparação com os valores mínimos exigidos pela ABNT NBR 13749 (2013). Para a face em questão, a norma exige que a R_a seja maior, ou igual, a 0,3 MPa, enquanto o valor médio obtido por meio dos ensaios foi maior que 0,21 MPa.

Na Face B, a forma de ruptura concentrou-se no tipo “B” e apenas os corpos de prova 1b, 9b e 12b, foram dos tipos em que o valor da resistência de aderência deve ser precedido pelo sinal de maior que ($>$). Portanto, para esta face é possível concluir que o valor médio é de 0,15 MPa, enquanto a ABNT NBR 13749 (2013), fixa o valor mínimo de 0,2 MPa. Os Gráficos 1 e 2, demonstram a comparação dos valores isolados com o valor exigido por norma.

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de arrancamento – Face A.



Fonte: Autoria própria (2023)

Gráfico 2 – Resultados do ensaio de arrancamento – Face B.

Fonte: Autoria própria (2023)

Na representação gráfica, nota-se que a Face A, metade dos corpos de prova foram maiores ou menores em até 0,05 MPa do valor da norma. Para este resultado, obteve-se um desvio padrão de 0,15 MPa e coeficiente de variação de 74,60%. Para a Face B, concluiu-se, também, que metade dos corpos de prova foram maiores ou menores em até 0,05 MPa do valor da norma. Seu desvio padrão foi de 0,13 MPa e coeficiente de variação de 84,32%. Estes valores são justificados pelo lançamento de argamassa manual. Existe uma variação no volume e na força que o profissional faz a cada vez que realiza a aplicação. Tal fato é previsto, em nota, pela ABNT NBR 13528-2 (2019).

Estabelecendo uma porcentagem entre os valores médios para termos comparativos, o resultado obtido na Face A, foi 33,33% a baixo do desempenho esperado pela norma. Além disso, para a mesma face, o máximo valor foi no corpo de prova 6a e o menor no 4a, apesar de ambos apresentarem a mesma forma de ruptura, foi possível visualizar algumas manchas de cal neste último. Pode-se atribuir isso, ao fato de a mistura da argamassa ter sido feita manualmente, acarretando na não incorporação por completo da cal hidratada. As Figuras 32 e 33 registram os corpos de prova 6a e 4a respectivamente.

Figura 32 – Corpo de prova 6a.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 33 – Corpo de prova 4a.



Fonte: Autoria Própria (2023)

O valor médio da Face B foi 25% abaixo do normativo. Para esta, a resistência de aderência máxima foi no corpo de prova 12b e o menor no 2b, que apresentaram formas de ruptura distintas. O corpo de prova 2b rompeu na interface argamassa/substrato. Este fato pode ser atribuído a uma limpeza inapropriada da superfície do substrato. Antes da aplicação do emboço, o profissional realizou a limpeza à seco com uma broxa, que não é método mais eficiente para remoção de agentes contaminantes, como a poeira. As Figuras 34 e 35 registram os corpos de prova 12b e 2b respectivamente.

Figura 34 – Corpo de prova 12b.



Fonte: Aatoria Própria (2023)

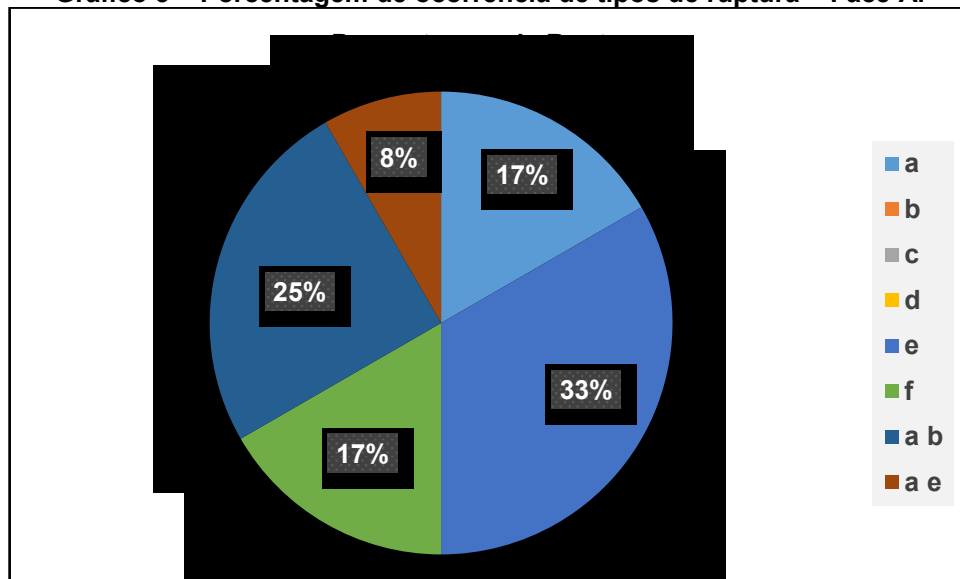
Figura 35 – Corpo de prova 2b.



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Fazendo-se uma análise da forma de ruptura dos corpos de prova, visualizou-se a predominância de alguns tipos a depender da face observada, porém ainda assim obteve-se uma variação considerável. Com Gráficos 3, que demonstra a porcentagem da ocorrência dos tipos de ruptura para a Face A, é possível notar a predominância do tipo “E” e tipo “A”. Para essa análise, considerou-se a ocorrência simultânea de mais de um tipo.

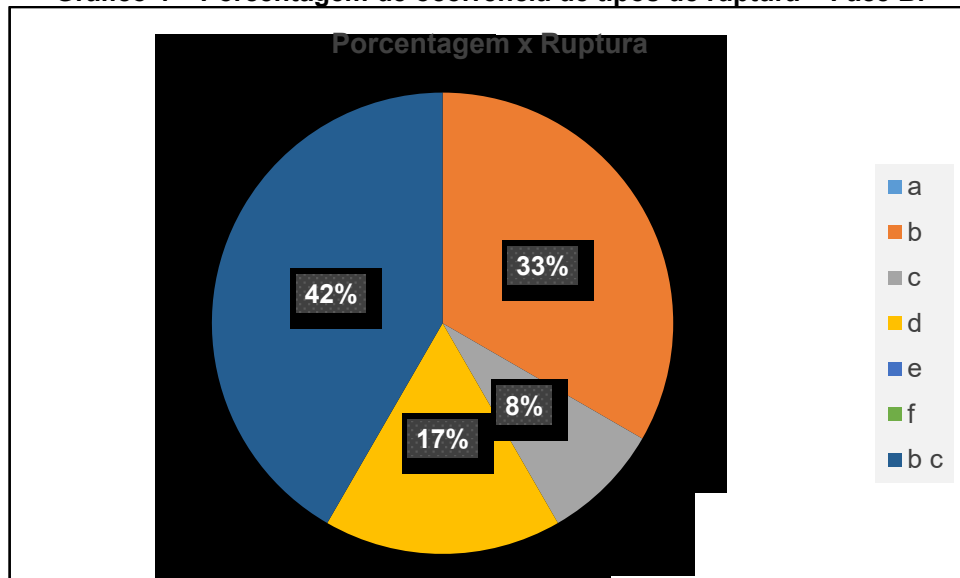
Gráfico 3 – Porcentagem de ocorrência de tipos de ruptura – Face A.



Fonte: Autoria própria (2023)

Já no Gráficos 4, que demonstra a porcentagem da ocorrência dos tipos de ruptura para a Face B, nota-se a predominância do tipo “B”. Para essa análise, considerou-se a ocorrência simultânea de mais de um tipo.

Gráfico 4 – Porcentagem de ocorrência de tipos de ruptura – Face B.



Fonte: Autoria própria (2023)

6.2.2 Análise comparativa com trabalhos anteriores.

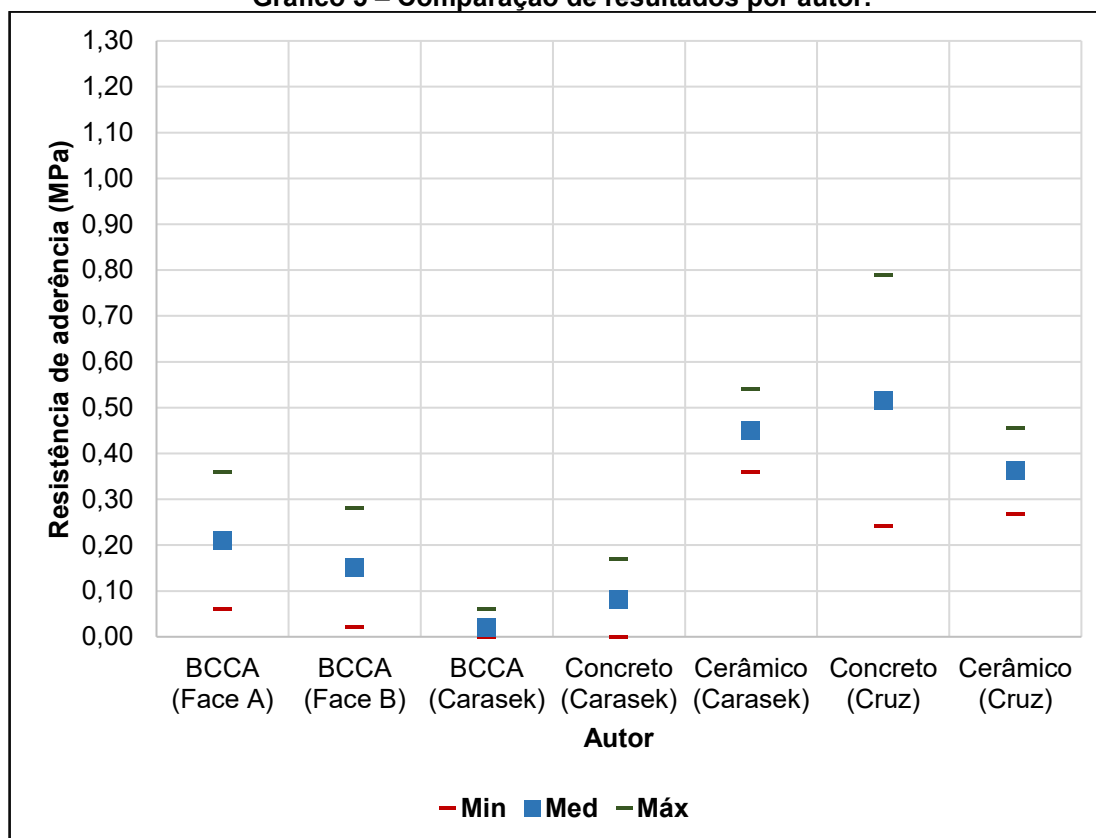
A comparação foi feita tendo os resultados obtidos por Helena Carasek (1996) e Rodrigo Cruz (2015) como referência. Em sua tese, Carasek (1996) elaborou um dispositivo mecânico ideal para o lançamento da argamassa, que não sofre com a influência que o fator humano tem sobre o método convencional e com isso,

estabeleceu valores de resistência de aderência para painéis de alvenaria com diferentes tipos de substratos e argamassas. Utilizou-se dos resultados obtidos por Carasek (1996) para substratos de blocos cerâmicos, blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado, ambos revestidos sem a camada de chapisco e com o mesmo traço de argamassa utilizados no emboço das paredes deste trabalho. Estes foram comparados com os resultados da Face B.

O mesmo foi feito com o trabalho acadêmico de Cruz (2015), que estudou o desempenho de painéis de blocos cerâmicos e blocos de concreto, porém com a camada de chapisco e emboço de mesmo traço do atual estudo, portanto foram utilizados para análise comparativa com a Face A.

A escolha de utilizar-se do material de Helena Carasek (1996) para este estudo, é justificada pela autora ser uma das maiores referências, no âmbito nacional, para a área de argamassas e aderência de painéis revestidos. Enquanto Rodrigo Cruz (2015), foi escolhido por ter realizado um estudo semelhante e utilizando da mesma estrutura que foi utilizada no presente trabalho de conclusão de curso. O Gráfico 5, expõe os valores mínimos, médios e máximos para o desempenho dos materiais, segundo cada autor.

Gráfico 5 – Comparação de resultados por autor.



Fonte: Autoria própria (2023)

Em seu trabalho, Rodrigo Cruz (2015) alcançou, para o substrato de blocos de concreto, o valor médio de R_a de 0,52 MPa, enquanto para o de blocos cerâmicos, que é o mais comum em construções brasileiras, Cruz (2015) obteve o valor médio de 0,36 MPa. Carasek (1996), obteve os valores médios de 0,02 MPa para BCCA; 0,08 MPa para blocos de concreto; e 0,45 MPa para blocos cerâmicos.

Estabelecendo uma porcentagem entre os valores médios para termos comparativos, o resultado da Face A foi 59,62% menor que o do bloco de concreto e 41,67% a menos que o do bloco cerâmico. Os resultados da Face B foram 650% maior que o de BCCA, 87,5% maior que o de bloco de concreto e 66,67% menor que o de bloco cerâmico, sendo estes dados informados por Carasek (1996).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

O BCCA se destaca principalmente pelo seu elevado isolamento térmico e sua resistência a compressão consideravelmente alta, em relação a sua baixa massa específica. A rugosidade e absorção de água, são os principais fatores do substrato para um bom desempenho no que refere-se a resistência de aderência. O melhor método de avaliação, que coincide com o que é usado convencionalmente, é o ensaio de tração normal, ou arrancamento, pois apesar de apresentar um coeficiente de variação elevado, é de fácil acesso e apresenta resultados muito concisos.

Logo, a resistência de aderência na alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado, foi determinada por meio do ensaio de tração normal descrito pela ABNT NBR 13528-2 (2019). Os ensaios nas faces da parede que foi levantada, comprovaram que a rigorosidade das etapas construtivas é essencial para o bom desempenho do material, uma vez que os valores obtidos pela metodologia usada não foram como o esperado.

A resistência de aderência, para cada face, foi determinada por meio da média dos resultados obtidos em cada corpo de prova e com isso chega-se aos valores de 0,15 MPa para a Face B (simulação de parede interna) e 0,21 MPa para a Face A (simulação de parede externa). Nota-se que houve uma diferença de 40% entre o valor médio da face que possuía a camada de chapisco e a que era formada apenas pela camada de emboço. Apesar de ser extremamente poroso internamente, justifica-se esta conclusão com o fato da superfície externa do BCCA não apresentar grande, ou considerável, rugosidade. Assim, necessitando de algum elemento para melhorar o sistema de ancoragem do revestimento argamassado ao substrato. Sugere-se que não seja descartada a camada de chapisco, independente do ambiente em que a parede se encontra. Adiciona-se à sugestão, que seja utilizado algum aditivo no chapisco que for direcionado para paredes com faces sujeitas a intemperes.

Comparando com o que discorre a ABNT NBR 13749 (2013), o valor para parede interna foi de 25% e para a parede externa foi de 30% a menos que o recomendado pela norma. Pode-se atribuir esta diferença, à falta de rigorosidade nos procedimentos que compõem a metodologia adotada, como por exemplo: não realização de estudo preliminar da umidade relativa do ar, no momento da execução da parede; argamassa feita por meio de mistura manual, cooperando para a não

homogeneidade da mesma; limpeza à seco da superfície do substrato com auxílio de broxa, culminando na existência de agentes contaminantes; e emprego de lançamento manual de argamassa de revestimento, uma vez que o profissional não consegue padronizar a força de aplicação sobre o painel.

Ao realizar a comparação com trabalhos já concluídos, conclui-se que o BCCA, quando comparado com os métodos mais convencionais, é o que possui menor desempenho referente à aderência de revestimentos de argamassas. Quando comparado com os dados de Carasek (1996), o bloco cerâmico é 66,67% mais eficiente que o método adotado para alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado. Ao comparar-se com as informações disponibilizadas por Cruz (2015), o material deste estudo é 59,62% e 41,67% menos eficiente que os blocos de concreto e cerâmico, respectivamente.

Neste capítulo, foram levantadas possíveis explicações para o resultado insatisfatório do desempenho do material quanto a aderência. Tais justificativas, consideram que seja simulado o ambiente de laboratório, que é o mais ideal para a análise experimental, porém a metodologia deste trabalho imprime o que é realidade nos canteiros de obras do país. Assim, em casos que a metodologia utilizada seja a mesma deste trabalho, sugere-se que a camada de chapisco não seja descartada em paredes de ambiente interno. Apenas com o presente estudo não é possível concluir quais são os métodos que asseguram o desempenho mínimo da aderência para todos os casos que envolvam alvenaria deste tipo. Desta forma, é necessário que sejam realizadas mais pesquisas voltadas para este âmbito. Para trabalhos futuros, sugere-se a realização de análises do bloco de concreto celular autoclavado, que possam englobar os assuntos: limpeza correta da superfície do substrato e umedecimento da mesma, antes da aplicação do emboço; umedecimento nas primeiras 24 horas após a aplicação do revestimento argamassado; e variação da camada de chapisco em qualquer situação.

REFERÊNCIAS

- ADDAMS, R. D. **The nondestructive evaluation of bonded structures**. Construction & Building Materials. v. 4, n. 1, p. 3-8, mar. 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13438**: Blocos de concreto celular autoclavado – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13440**: Blocos de concreto celular autoclavado – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13528**: revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14956-2**: Blocos de concreto celular autoclavado – Execução de alvenaria sem função estrutural Parte2: Procedimento com argamassa convencional. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Coletânea de Normas Técnicas - Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- BESSEY, G. E. **The world development and economic significance of the aerated concret industry**. In: International Congresso n Lightweight Concrete, 1, London, 1968. Proceedings s.1., Cement and Concrete Association, 1968. v. 1, p. 203-12.
- CALHAU, E. L. **Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar: Propriedades e Recomendações**. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.
- CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos**: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Acesso em: 11 set. 2022.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimentos**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo, IPT, 1995.
- CRUZ, Rodrigo J. P. **Estudo da aderência do revestimento de argamassa executado com chapisco lançado e rolado sobre substrato de bloco cerâmico**

e de concreto. 2015. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Campo Mourão. Campo Mourão, 2015.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal:** Fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: PINI, 1997.

ISAIA, G. C. **Concreto:** Ciência e Tecnologia. 2 vol. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

KAMPF, Leo. **Factors affecting bond of mortar to brick.** Symposium on Masonry Testing. American Society for Testing and Materials, 1963. P.127-142. (ASTM Specials Technical Publication, 320).

LEGATSKI, L. M. **Cellular concrete.** In: American Society for Testing and Materials. Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. Philadelphia, 1978. p.836-851 (ASTM 169B).

LUCAS, J. A. C. **Revestimentos para parâmetros interiores de paredes de alvenaria de blocos de Concreto celular autoclavado.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986.

MOTA, J. A. R. **Influência da junta vertical na resistência a compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto celular autoclavados.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Acesso em: 11 set. 2022.

PAES, Izaura N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** 2004. 242p. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PAGANI, A. **Aderência de revestimento de argamassa em bloco de concreto celular autoclavado,** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFES, Vitória, 2012.

SANTOS, Heraldo B. dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.** Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa.** 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014. Acesso em: 11 set. 2022.