

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Denizard Paulo Carvalho

**ESTUDO DA INTERFACE ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E
ARGAMASSAS DE CHAPISCO**

Santa Maria, RS
2016

Denizard Paulo Carvalho

**ESTUDO DA INTERFACE ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E
ARGAMASSAS DE CHAPISCO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad

**Santa Maria, RS
2016**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Paulo Carvalho, Denizard
Estudo da interface entre blocos cerâmicos e
argamassas de chapisco / Denizard Paulo Carvalho.- 2016.
207 p.; 30 cm

Orientador: Gihad Mohamad
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2016

1. Argamassas 2. Aderência 3. Chapisco 4. Substrato
cerâmico 5. Parâmetros texturais das areias I. Mohamad,
Gihad II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Denizard Paulo Carvalho. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua José Bonifácio, 2401, Santa Maria, RS. CEP: 97.015-450

Fone: (0xx)55 3376.8800; E-mail: denizard.carvalho@gmail.com

Denizard Paulo Carvalho

**ESTUDO DA INTERFACE ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E
ARGAMASSAS DE CHAPISCO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 21 de julho de 2016:



Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Helena Carasek, Dra. (UFG)



Carina Mariane Stolz, Dra. (UFRGS)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos Érico e Igor, à minha família.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado graças ao auxílio de muitas pessoas. A todos agradeço pela dedicação e atenção, de maneira muito especial, agradeço:

- ao meu orientador Gihad Mohamad por me conceder a oportunidade de aprofundar estudos na área das argamassas, pela confiança que em mim depositou e pelo grande educador que é, grato pela orientação;

- aos professores Geraldo Cechela Isaia e José Mário Dolleys Soares, pelas sugestões da banca de qualificação;

- às professoras Helena Carasek e Carina Mariane Stolz, por aceitarem fazer parte da minha banca de defesa e pelas contribuições valiosas ao presente trabalho;

- aos meus filhos Érico e Ígor, razão e continuação da minha vida;

- aos meus pais Aymoré Mesquita Carvalho e Emília Paulo Carvalho (*in memorian*), e aos meus irmãos Carmen, Fábio, Mírian, Cirângelo, Aymoré, Eurico e Marta, pelo convívio, apoio, amizade e de quem sempre tive o amor e apoio incondicional;

- aos meus amigos, que sempre me incentivaram;

- aos colegas do mestrado, que estavam sempre dispostos a trocar ideias;

- ao pessoal do laboratório de materiais de construção da UFSM, pela força e dedicação com que me auxiliaram nos ensaios, em especial ao Vilson e ao José Pedro, pela colaboração, e ao Willian e ao Diego, pela ajuda nos ensaios;

- à secretária Marília, pelos lembretes e condução de todo o processo administrativo do curso;

- aos professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela contribuição à conquista deste título;

- ao Instituto Federal Farroupilha, pela oportunidade do afastamento integral para os estudos;

- à professora Andréa Valli Nummer e ao geólogo Ronaldo Machado da Fontoura, do Departamento de Geociências da UFSM, pela contribuição no estudo e análise das areias;

Por fim, agradeço a Deus por mais esta conquista.

Gosto de ser homem, de ser gente, porque sei que a minha passagem pelo mundo não é predeterminada, preestabelecida. Que o meu “destino” não é um dado mas algo que precisa ser feito e de cuja responsabilidade não posso me eximir. Gosto de ser gente porque a História em que me faço com os outros e de cuja feitura tomo parte é um tempo de possibilidades e não de determinismo.

(Paulo Freire)

RESUMO

ESTUDO DA INTERFACE ENTRE BLOCOS CERÂMICOS E ARGAMASSAS DE CHAPISCO

AUTOR: Denizard Paulo Carvalho

ORIENTADOR: Gihad Mohamad

A análise dos mecanismos de aderência entre argamassas de revestimento e substratos porosos tem sido alvo de muitos pesquisadores, devido à importância que tem para garantir o desempenho do sistema. Com base no referencial teórico sobre o tema, este trabalho de natureza experimental teve como objetivo principal analisar a influência da topografia superficial de blocos cerâmicos na aderência de argamassas de chapisco e a sua relação, ainda, com o conjunto de características dos agregados miúdos que compõem as argamassas de chapisco. Inicialmente, os substratos e os materiais componentes das argamassas foram caracterizados através do grupo de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas; na sequência, foram realizados ensaios de caracterização das argamassas nos estados fresco e endurecido. Na fase de testes, os blocos receberam as argamassas de chapisco. As variáveis experimentais estudadas foram: três tipos de blocos cerâmicos (bloco cerâmico de vedação com faces lisas, bloco cerâmico de vedação com faces ranhuradas horizontais, e bloco cerâmico de vedação com faces ranhuradas verticais); e dois tipos de argamassas de chapisco (uma elaborada com areia grossa e outra com areia média). Dessa forma, surgiram seis interfaces que foram avaliadas através de aspectos relacionados à resistência de aderência à tração e à permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo. Na intenção de observar a extensão de aderência e o envolvimento dos grãos de areia pela pasta das argamassas de chapisco, foram feitas análises da interface através da observação por lupa estereoscópica e microscópio petrográfico. Foram pesquisadas as características das areias que influem no desempenho das argamassas de chapisco em seu estado fresco e endurecido, com ênfase nos parâmetros texturais das areias, avaliados com auxílio da análise petrográfica. Os resultados mostraram que há correlação direta entre a extensão de aderência, proporcionada pelas ranhuras dos blocos cerâmicos e a resistência de aderência à tração, possibilitada pela natureza fluida da argamassa de chapisco, indicando, assim, a forte influência do tipo de bloco cerâmico nos resultados de aderência à tração. De outro lado, o estudo das características das areias, representadas, principalmente, pela composição granulométrica, massa específica, massa unitária, índice de vazios, graus de arredondamento e esfericidade e mineralogia revelou-se útil no sentido de compreender o papel dos agregados miúdos perante o desempenho das argamassas de chapisco. Notou-se que a resistência de aderência à tração foi maior para as argamassas de chapisco com areia grossa do que com areia média, quando se compara um mesmo tipo de bloco, embora os testes tenham apontado diferenças não significativas. Esse fato pode ser explicado pela pouca diferença entre algumas das características das areias utilizadas; porém, a areia grossa estudada parece proporcionar um maior entrosamento dos grãos envolvidos pela pasta da argamassa, indicado pelo grau de arredondamento. Foram observadas, ainda, relações diretas na obtenção de resultados quando se compara a permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo com o ensaio do índice de absorção inicial de água (AAI) e AAI estendido. A constatação final é de que o tratamento de base através do emprego de chapisco pode proporcionar vários benefícios: aumento da rugosidade da base, aumento da resistência de aderência à tração e regulagem da capacidade de sucção. Possibilitando, com isso, homogeneizar a absorção de água por parte do substrato, evitando diferentes tempos de sarrafeamento e desempenho para a camada de revestimento. Assim, o tratamento da base com uso do chapisco pode aumentar o desempenho e a durabilidade dos revestimentos de argamassa.

Palavras-chave: Argamassas. Aderência. Chapisco. Tratamento da base. Substrato cerâmico. Parâmetros texturais das areias. Revestimentos de argamassa.

ABSTRACT

STUDY OF THE INTERFACE BETWEEN CERAMIC BLOCKS AND SLURRY MORTAR

AUTHOR: Denizard Paulo Carvalho

SUPERVISOR: Gihad Mohamad

The analysis of adhesion mechanisms between mortar lining and porous substrates has been the target of innumerable researchers due to its importance in ensuring system performance. Based on the theoretical reference of the topic, this work of experimental nature aimed to analyze the influence of the superficial topography of ceramic blocks in bonding slurry mortars and their relationship with the set of characteristics of fine aggregates that make up slurry mortars. Initially, the substrates and component materials of the mortars were characterized according to the Brazilian Association of Technical Standards; afterwards, characterization tests of fresh and hardened mortars were carried out. In the testing phase, the blocks received the slurry mortars. The experimental variables studied were: three types of ceramic blocks (ceramic sealing block with smooth surfaces, ceramic sealing block with horizontal grooved surfaces, and ceramic sealing block with vertical grooved surfaces); and two types of slurry mortars (one was prepared with coarse sand and the other with medium sand). Thus, six interfaces were evaluated through aspects of bonding strength and permeability and absorption by the pipe method. In order to observe the extent of adhesion and involvement of the grains of sand through the paste of the slurry mortars, interface analyses were conducted through observation by magnifying glass and petrographic microscope. The characteristics of the sands that influence the performance of fresh and hardened slurry mortars were analyzed, with emphasis on the textural parameters of the sands, which were evaluated with the aid of petrographic analysis. Results showed that there is direct correlation between the extent of adhesion provided by the grooves of the blocks, and bond tensile strength, made possible by the fluid nature of the slurry mortar. Therefore, this indicates the strong influence of the type of ceramic block on results of bond strength. On the other hand, the study of the characteristics of the sands, represented mainly by the granulometric composition, density, unitary mass, void content, degrees of roundness and sphericity, and mineralogy, proved to be useful in order to understand the role of the fine aggregates in the performance of the slurry mortar. Additionally, we observed that the tensile bonding strength was higher for the slurry mortars with coarse sand than with medium sand, when comparing the same type of block, although the tests have pointed to non-significant differences. This fact can be explained by the small difference between some of the characteristics of the sand used; however, the coarse sand studied seems to provide greater integration of the grains involved by the mortar paste, which was indicated by the degree of roundness. Moreover, it was also possible to observe direct relations in achieving results when comparing the permeability and absorption by the pipe method with the initial rate of absorption test (IRA) and extended IRA test. The final observation is that the basic treatment using slurry mortar can provide several benefits: increased roughness of the base, increased tensile bonding strength, adjustment of the suction capacity. This way, it was possible to homogenize the absorption of water by the substrate, thus avoiding different screeding times and performance for the lining layer. Thus, the treatment of the base with the use of slurry mortar can increase the performance and durability of the mortar lining.

Keywords: Mortars. Bonding. Slurry mortar. Base treatment. Ceramic substrate. Textural parameters of sand. Mortar lining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Alvenaria sem revestimento, apresentando degradação dos blocos.....	39
Figura 2.2 - Exemplos de curvas granulométricas.....	45
Figura 2.3 - Esquema ilustrativo para avaliação da forma dos grãos de agregado.....	49
Figura 2.4 - Efeitos físicos do transporte nos grãos de areia, de acordo com a distância.....	50
Figura 2.5 - Classificação da Geologia para os sedimentos.....	50
Figura 2.6 - Exemplos de seis classes usadas nas determinações dos graus de arredondamento.....	51
Figura 2.7 - Categorias de arredondamento e esfericidade.....	51
Figura 2.8 - Representação esquemática da umidade do agregado.....	53
Figura 2.9 - Entrosamento das areias de acordo com a distribuição granulométrica.....	55
Figura 2.10 - Entrosamento de areias de grãos arredondados e de grãos angulares.....	56
Figura 2.11 - A água e os diferentes ângulos de contato com as superfícies.....	58
Figura 2.12 - Relação do ângulo de contato com a molhabilidade das superfícies.....	59
Figura 2.13 - Camadas de revestimento de uma parede em alvenaria.....	64
Figura 2.14 - Substratos de diferentes naturezas que serão revestidos com argamassa.....	65
Figura 2.15 - Tipos de chapisco: (a) Tradicional; (b) Desempenado; (c) Rolado.....	67
Figura 2.16 - Fatores que exercem influência na aderência.....	70
Figura 2.17 - Cachimbo de vidro conforme especificação do CSTC.....	76
Figura 3.1 - Fluxograma do programa experimental.....	80
Figura 3.2 - Blocos cerâmicos utilizados.....	81
Figura 3.3 - Aspectos da seção dos blocos cerâmicos utilizados.....	82
Figura 3.4 - Comparação do índice de absorção inicial e estendido dos blocos BL, BH e BV em função da raiz do tempo em minutos.....	84
Figura 3.5 - Curvas granulométricas das areias média e grossa e intervalos recomendados da NBR 7211 (2009a).....	87
Figura 3.6 - Curvas granulométricas das areias média e grossa e os intervalos recomendados da BS 1199 para areias naturais empregadas em argamassas de revestimentos externos.....	88
Figura 3.7 - Aspectos da areia média estudada.....	91
Figura 3.8 - Aspectos da areia grossa estudada.....	91
Figura 3.9 - Categorias de arredondamento e esfericidade dos grãos das areias estudadas.....	92
Figura 3.10 - Classes de grãos tomados das areias em estudo.....	93
Figura 3.11 - Grãos da areia média.....	95
Figura 3.12 - Graus de arredondamento e esfericidade da areia média, distribuídos nas peneiras analisadas, via gráfica.....	96
Figura 3.13 - Imagens dos grãos da areia grossa.....	98
Figura 3.14 - Gráfico com os graus de arredondamento e esfericidade da areia grossa, distribuídos nas peneiras analisadas.....	99
Figura 3.15 - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência das argamassas.....	102
Figura 3.16 - Aspectos do ensaio de retenção de água.....	104
Figura 3.17 - Detalhe do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco.....	105
Figura 3.18 - Detalhes dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão.....	106
Figura 3.19 - Detalhes do ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração.....	107
Figura 3.20 - Ensaio de absorção por capilaridade.....	109
Figura 3.21 - Aplicação do chapisco nos blocos.....	110

Figura 3.22 - Atividades do ensaio de aderência à tração	111
Figura 3.23 - Atividades do teste de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo	113
Figura 3.24 - Etapas de preparo das amostras para observação ao microscópio petrográfico.....	114
Figura 4.1 - Densidade de massa no estado endurecido x densidade de massa no estado fresco x densidade de massa teórica.....	117
Figura 4.2 - Teste de Tukey, com $\alpha = 5\%$, a partir dos de saída do programa MINITAB	118
Figura 4.3 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BL x AM.....	120
Figura 4.4 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BH x AM	121
Figura 4.5 - Forma de ruptura do ensaio de aderência à tração para a interface BV x AM	122
Figura 4.6 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BL x AG	123
Figura 4.7 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BH x AG	124
Figura 4.8 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BV x AG	125
Figura 4.9 - Resumo da resistência de aderência à tração, aos 28 dias	127
Figura 4.10 - Teste de Tukey com $\alpha = 5\%$, a partir dos dados de saída do programa MINITAB.....	129
Figura 4.11 - Seção transversal dos blocos cerâmicos BH e BV.....	132
Figura 4.12 - Resistência de aderência à tração em função do acréscimo de área devido às ranhuras	133
Figura 4.13 - Comportamento da argamassa na hora do lançamento: “efeito cascata” e “efeito calha vertical” nos blocos BH e BV.....	134
Figura 4.14 - Método do cachimbo para o SP sem chapisco x com AM x com AG.....	137
Figura 4.15 - Método do cachimbo para os substratos sem chapisco.....	138
Figura 4.16 - Método do cachimbo: blocos e SP com AM	139
Figura 4.17 - Método do cachimbo para os substratos com AG.....	140
Figura 4.18 - Método do cachimbo: resumo para o BL.....	141
Figura 4.19 - Gráfico método do cachimbo: resumo para o BH.....	142
Figura 4.20 - Método do cachimbo: resumo para o BV	143
Figura 4.21 - Teste de Tukey com $\alpha = 5\%$, a partir dos de saída do programa MINITAB	147
Figura 4.22 - Interface BL x AM, 56 dias de idade do chapisco.....	148
Figura 4.23 - Interface BH x AM, 56 dias de idade do chapisco	149
Figura 4.24 - Interface BV x AM, 56 dias de idade do chapisco	150
Figura 4.25 - Interface BL x AG, ao microscópio, 56 dias	151
Figura 4.26 - Interface BH x AG, ao microscópio, 56 dias	152
Figura 4.27 - Interface BV x AG, ao microscópio, 56 dias	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.....	38
Tabela 2.2 - Principais requisitos e propriedades das argamassas para as diferentes funções	39
Tabela 2.3 - Classificação dos agregados em função do módulo de finura (MF)	43
Tabela 2.4 – DMC do agregado recomendado para cada camada que compõe o revestimento	46
Tabela 2.5 - Classificação dos agregados segundo a textura superficial	54
Tabela 2.6 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos.....	64
Tabela 2.7 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única.....	72
Tabela 3.1 - Características geométricas, físicas e mecânicas dos blocos utilizados	83
Tabela 3.2 - Valores do índice de absorção inicial – AAI (g/193,55cm ² /min) e estendido.....	84
Tabela 3.3 - Caracterização química, física e mecânica do cimento CP IV-32 utilizado	85
Tabela 3.4 - Porcentagens retidas acumuladas das areias média e grossa e as zonas de utilização.....	87
Tabela 3.5 - Coeficiente de não uniformidade (C _{NU}) e coeficiente de curvatura (C _C).....	88
Tabela 3.6 - Resumo das características das areias média e grossa.....	89
Tabela 3.7 - Graus de arredondamento e esfericidade da areia média, distribuídos nas peneiras analisadas, em porcentagens.....	96
Tabela 3.8 - Graus de arredondamento e esfericidade da areia grossa, distribuídos nas peneiras analisadas, em porcentagens.....	99
Tabela 3.9 - Média ponderada dos graus de arredondamento e esfericidade das areias.....	100
Tabela 3.10 - Definição dos traços para as argamassas de chapisco AM e AG	101
Tabela 3.11 - Roteiro para caracterização das argamassas de chapisco empregadas	102
Tabela 3.12 - Determinação do índice de consistência para a AM e a AG	103
Tabela 3.13 - Ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco	104
Tabela 3.14 - Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão: resultados médios	106
Tabela 3.15 - Ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido	107
Tabela 3.16 - Determinação da resistência potencial de aderência à tração da AM, aos 28 dias	108
Tabela 3.17 - Determinação da resistência potencial de aderência à tração da AG, aos 28 dias.....	108
Tabela 3.18 - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.....	109
Tabela 3.19 - Cálculo do consumo de materiais das argamassas AM e AG	112
Tabela 4.1 - Resumo da caracterização das argamassas de chapisco AM e AG	115
Tabela 4.2 - Dados de saída da ANOVA a partir do MINITAB para a resistência potencial de aderência à tração da AM x AG	118
Tabela 4.3 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BL x AM	120
Tabela 4.4 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BH x AM.....	121
Tabela 4.5 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BV x AM.....	122
Tabela 4.6 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BL x AG	123
Tabela 4.7 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BH x AG.....	124
Tabela 4.8 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BV x AG.....	125
Tabela 4.9 - Resumo dos valores de resistência de aderência à tração.....	126
Tabela 4.10 - Dados calculados para a ANOVA dos dados de resistência de aderência à tração	128
Tabela 4.11 - Definição de grupos de comportamento a partir do Teste de Tukey	129
Tabela 4.12 - Acréscimos potenciais na área de contato com as argamassas devidos às ranhuras ...	131

Tabela 4.13 - Resistência de aderência à tração em função do acréscimo de área devido às ranhuras	133
Tabela 4.14 - Método do cachimbo para o SP sem chapisco, SP com AM, SP com AG.....	136
Tabela 4.15 - Método do cachimbo para os blocos e o substrato-padrão sem chapisco.....	138
Tabela 4.16 - Método do cachimbo: blocos e SP com AM.....	139
Tabela 4.17 - Método do cachimbo: resumo para substratos com AG.....	140
Tabela 4.18 - Método do cachimbo: resumo para o BL.....	141
Tabela 4.19 - Método do cachimbo: resumo para o BH.....	142
Tabela 4.20 - Método do cachimbo: resumo para o BV.....	143
Tabela 4.21 - Medidas, em milímetros, das falhas de contato, para cada exemplar da interface	146
Tabela 4.22 - Dados de saída da análise de variância.....	147

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 OBJETIVOS	24
1.1.1 Objetivo geral	24
1.1.2 Objetivos específicos	24
1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	24
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	32
2 REVISÃO DE LITERATURA	33
2.1 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	34
2.2 FUNÇÃO DAS ARGAMASSAS	36
2.3 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO	40
2.3.1 Cimento Portland	40
2.3.2 Agregado miúdo	41
2.3.2.1 Análise petrográfica e características dos grãos	47
2.3.2.2 Massa unitária e massa específica real	52
2.3.2.3 Absorção e umidade	52
2.3.2.4 Textura superficial dos agregados	53
2.3.2.5 Entrosamento dos grãos	54
2.3.3 Água e molhamento das superfícies	56
2.3.4 Dosagem das argamassas	60
2.4 SUBSTRATOS	61
2.4.1 Substratos cerâmicos	62
2.5 CAMADAS DE REVESTIMENTO	64
2.5.1 Chapisco	65
2.5.2 Procedimentos de execução	68
2.6 MECANISMOS DE ADESÃO E ADERÊNCIA	68
2.7 TRANSPORTE E PERDA DE ÁGUA	73
2.7.1 Permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo	75
3 MATERIAIS E MÉTODOS	79
3.1 PROCEDIMENTO GERAL	79
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS	81
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO	85
3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS	86
3.4.1 Análise petrográfica da areia média	94

3.4.1.1	<i>Análise da esfericidade da areia média</i>	96
3.4.1.2	<i>Análise do grau de arredondamento e angulosidade da areia média</i>	97
3.4.2	Análise petrográfica da areia grossa	97
3.4.2.1	<i>Análise da esfericidade da areia grossa</i>	99
3.4.2.2	<i>Análise do grau de arredondamento e angulosidade da areia grossa</i>	100
3.4.3	Média ponderada dos graus de arredondamento e esfericidade das areias média e grossa	100
3.5	PREPARO E ENSAIOS DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO	100
3.5.1	Proporcionamento das argamassas	101
3.5.2	Preparo da mistura e determinação do índice de consistência	102
3.5.3	Retenção de água	103
3.5.4	Densidade de massa e teor de ar incorporado, no estado fresco	104
3.5.5	Resistência à tração na flexão e à compressão	105
3.5.6	Densidade de massa aparente no estado endurecido	106
3.5.7	Resistência potencial de aderência à tração	107
3.5.8	Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade	109
3.5.9	Aplicação das argamassas de chapisco nos blocos cerâmicos	110
3.5.10	Ensaio de resistência de aderência à tração	110
3.5.11	Consumo de materiais das argamassas e a relação com os dados dos ensaios	111
3.6	ENSAIOS DE ABSORÇÃO E PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO	112
3.7	IMAGENS DA INTERFACE PELA LUPA ESTEREOSCÓPICA E MICROSCÓPIO.....	113
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
4.1	CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS VERSUS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS.....	115
4.1.1	Análise da variância para os resultados da resistência potencial de aderência à tração	118
4.2	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	119
4.2.1	Resistência de aderência à tração na interface BL x AM	119
4.2.2	Resistência de aderência à tração na interface BH x AM	121
4.2.3	Resistência de aderência à tração na interface BV x AM	122
4.2.4	Resistência de aderência à tração na interface BL x AG	123
4.2.5	Resistência de aderência à tração na interface BH x AG	124
4.2.6	Resistência de aderência à tração na interface BV x AG	125
4.2.7	Resumo dos valores de resistência de aderência à tração aos 28 dias	126

4.2.8	Análise da variância para os ensaios de resistência de aderência à tração ..	128
4.2.9	Efeito devido ao tipo de ranhura dos blocos na resistência de aderência à tração.....	131
4.3	PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO PELO MÉTODO DO CACHIMBO	136
4.3.1	Método do cachimbo para o SP sem chapisco, SP com AM, SP com AG.....	136
4.3.2	Método do cachimbo para os substratos sem chapisco	138
4.3.3	Método do cachimbo para os substratos com AM.....	139
4.3.4	Método do cachimbo para os substratos com AG	140
4.3.5	Método do cachimbo para o BL	141
4.3.6	Método do cachimbo para o BH.....	142
4.3.7	Método do cachimbo para o BV	143
4.3.8	Comentários sobre os ensaios de absorção e permeabilidade.....	143
4.4	ANÁLISE DA INTERFACE SUBSTRATO-CHAPISCO ATRAVÉS DE IMAGENS.....	145
4.4.1	Teste de verificação da uniformidade da aplicação do chapisco nos blocos.	145
4.4.2	Análise da interface BL x AM	148
4.4.3	Análise da interface BH x AM	149
4.4.4	Análise da interface BV x AM	150
4.4.5	Análise da interface BL x AG	151
4.4.6	Análise da interface BH x AG.....	152
4.4.7	Análise da interface BV x AG.....	153
4.4.8	Comentários sobre a análise da interface através de imagens.....	154
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
5.1	CONCLUSÕES.....	155
5.1.1	Quanto às características dos agregados miúdos.....	156
5.1.2	Quanto às características das argamassas de chapisco	156
5.1.3	Quanto à permeabilidade e absorção.....	156
5.1.4	Quanto à resistência de aderência à tração e a extensão de aderência	157
5.1.5	Quanto à análise das imagens	157
5.1.6	Quanto às funções das argamassas de chapisco:.....	158
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	158
APÊNDICE A	- CARACTERIZAÇÃO DO BL.....	167
APÊNDICE B	- CARACTERIZAÇÃO DO BH.....	170
APÊNDICE C	- CARACTERIZAÇÃO DO BV	173
APÊNDICE D	- CARACTERIZAÇÃO DA AREIA MÉDIA.....	176
APÊNDICE E	- CARACTERIZAÇÃO DA AREIA GROSSA	179

APÊNDICE F - ANÁLISE PETROGRÁFICA DA AREIA MÉDIA	182
APÊNDICE G - ANÁLISE PETROGRÁFICA DA AREIA GROSSA.....	185
APÊNDICE H – CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	188
APÊNDICE I – CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	190
APÊNDICE J – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO PELO MÉTODO DO CACHIMBO.....	194

1 INTRODUÇÃO

A proteção que as argamassas de revestimento proporcionam ao substrato constitui parcela essencial no desempenho e durabilidade das edificações, podendo-se dizer que as mesmas são a *pele* das construções.

Os substratos cerâmicos existentes no mercado da construção civil possuem, na sua interface de contato com as argamassas de revestimento, uma diversidade de geometrias ou texturas que nem sempre são levadas em conta na hora da aplicação, tendo em vista a garantia de aderência. Prevalendo, frequentemente, a questão do custo do material.

De outro lado, se as propriedades dos agregados componentes das argamassas forem indesejáveis, estas podem afetar expressivamente a durabilidade e o desempenho do sistema. Neville (2016, p. 111), relata que antes tidos como inertes e dispersos na pasta de cimento por razões econômicas, os agregados são considerados hoje “um material de construção ligado a um todo coeso por meio da pasta de cimento [...]”.

A qualidade dos agregados miúdos empregados nas argamassas é de grande importância. Para Carasek (2010, p. 934), estes devem ser selecionados com cautela, visto que ocupam cerca de 60% a 80% do consumo de materiais da argamassa pronta, em massa, “resultando em significativa influência no seu comportamento no estado fresco, bem como no desempenho do revestimento”. Mehta e Monteiro (2014, p. 276), defendem que “não se deve tratar o agregado com menos respeito do que o cimento”.

Para aperfeiçoar a resistência de aderência entre o substrato e o revestimento, frequentemente, é necessário realizar um tratamento prévio do substrato. A essa operação denomina-se preparo da base. Tal preparo deve ser escolhido em função dos atributos superficiais da base e executado com materiais e técnicas apropriadas (CANDIA; FRANCO, 1998, p. 1).

Aplicado como técnica de preparo da base, para uniformizar a absorção de água do substrato e, principalmente, melhorar a aderência do revestimento de argamassa, o chapisco (mistura básica de aglomerante e agregado miúdo) é empregado nas situações em que a responsabilidade de desempenho dos revestimentos aderidos ao substrato é essencial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a interface resultante entre substratos cerâmicos de diferentes aspectos superficiais e argamassas de chapisco elaboradas com agregados miúdos de características distintas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência da topografia superficial dos blocos cerâmicos no desempenho das argamassas de chapisco, através de aspectos referentes à aderência à tração, à permeabilidade e à absorção;
- Investigar como o conjunto de características dos agregados miúdos componentes das argamassas de chapisco interferem no desempenho do sistema substrato-chapisco;
- Estudar a interface entre blocos cerâmicos e argamassas de chapisco através de imagens ao microscópio.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

O estudo da interface entre substratos e argamassas tem sido abordado por muitos pesquisadores. Porém, os aspectos da topografia superficial dos blocos cerâmicos, muitas vezes, não são analisados de maneira a explorar o seu potencial de aderência quando recebem argamassas de revestimento. Perante essa constatação, é possível formular a seguinte questão: blocos cerâmicos de faces lisas proporcionam melhores condições de desempenho e aderência nos revestimentos que blocos cerâmicos com faces ranhuradas, quando empregado o chapisco?

Analisando de outra forma: como o conjunto de características das areias, representado principalmente pela composição granulométrica, módulo de finura, dimensão máxima característica, massa específica, massa unitária, mineralogia, arredondamento, esfericidade, resistência dos grãos, influi no desempenho das argamassas de chapisco aplicadas sobre blocos de faces lisas ou ranhuradas? Como acontece essa interação?

Diante do estudo dos aspectos elencados (aspectos superficiais do substrato X conjunto de características das areias das argamassas de chapisco), como se comportam as condições de aderência, permeabilidade e absorção desse sistema?

Uma argamassa de chapisco é uma mistura básica de um aglomerante (cimento Portland) com um agregado miúdo (material obtido da fragmentação natural ou artificial de rocha).

Dentre os mais importantes recursos minerais consumidos pela sociedade moderna, as areias e os cascalhos estão situados em segundo lugar em termos de volume de produção, e em quinto lugar em valores econômicos (SUGUIO, 2003, p. 330). Os agregados miúdos formam o esqueleto da mistura nas argamassas.

Devido às exigências ambientais e econômicas, cada vez mais os areais se afastam dos centros consumidores e o transporte, em muitos casos, tem um custo maior que o próprio material (AOKI, 2009). Preservar e otimizar esses recursos constitui tarefa necessária. A Figura 1.1 apresenta o depósito de areia de uma loja de materiais de construção, onde o fornecimento é à granel. Já a Figura 1.2 apresenta um *bag* de areia (areia comercializada em sacos), evidenciando o cuidado em não desperdiçar esse recurso.

Figura 1.1 - Depósito de areia em loja de materiais de construção



Fonte: Coletânea de imagens do autor

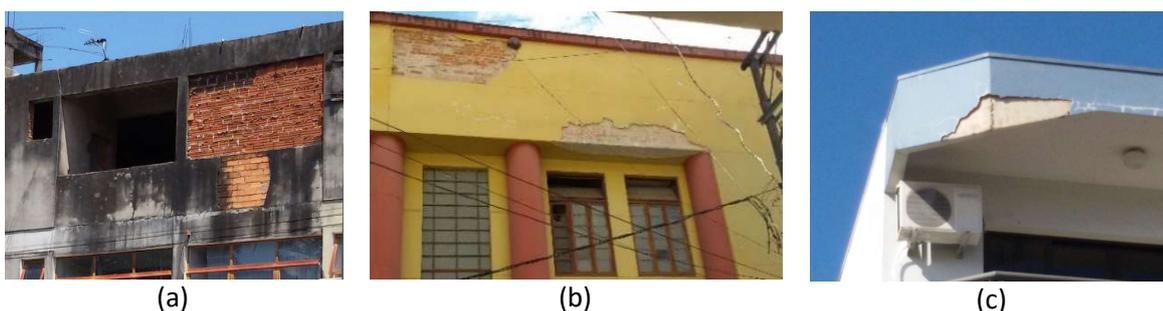
Figura 1.2 - Areia armazenada e comercializada em sacos (*bags*)



Fonte: Coletânea de imagens do autor

As manifestações patológicas a que podem estar sujeitos os revestimentos de argamassa também constituem justificativa para o estudo da interface entre blocos cerâmicos e argamassas de chapisco; não raro, ocorrendo acidentes em que há prejuízos materiais e/ou danos físicos pela queda de elementos descolados de fachadas, principalmente quando se constata a falta e o descuido com o preparo da base. A Figura 1.3 traz exemplos de manifestações patológicas de revestimentos de fachadas.

Figura 1.3 - Casos de manifestações patológicas nos revestimentos de fachadas



Fonte: Coletânea de imagens do autor

Notas: (a) inexistência de chapisco e de camadas de emboço e reboco, bem como a falta de pintura e manutenção; (b) prédio com descolamento de revestimento da fachada em local de grande movimento de pessoas; (c) descolamento de revestimento, com provável movimentação térmica da platibanda, ausência de juntas de movimentação e falta de camada de tratamento da base.

Para que as tensões originadas em um painel não sejam transmitidas para as áreas adjacentes [como possivelmente foi o caso (c) da Figura 1.3] deve-se empregar juntas de movimentação em revestimentos (RIBEIRO; BARROS, p. 38).

A NBR 13755 (1996b, p. 3, p. 5), que trata da utilização de argamassa colante em revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas, aponta a necessidade de serem previstas juntas de assentamento, juntas de movimentação e de dessolidarização e juntas estruturais. Essa norma define junta de movimentação como o espaço regular com função de subdividir o revestimento, tendo em vista aliviar tensões provocadas pela movimentação da base ou do próprio revestimento.

O estudo da aderência entre substratos porosos e argamassas de revestimento tem sido alvo de inúmeros pesquisadores, uma vez que ela se constitui numa das principais características para garantir o desempenho dos revestimentos de argamassa.

Carasek (1996), em trabalho pioneiro, estudou a aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos. Chegou a importantes conclusões sobre o tema. Quanto aos fatores que exercem influência na aderência, essa autora apontou que o tipo de substrato, o tipo de argamassa e a condição de umidade do substrato exercem influência na resistência de aderência. Quanto ao mecanismo de aderência, concluiu, com relação aos blocos cerâmicos, que o mecanismo de aderência é de origem mecânica e se dá pelo intertravamento de cristais de etringita no interior dos poros da base.

Em relação ao efeito das características dos agregados no desempenho dos revestimentos de argamassa, Carneiro, Cincotto e John (1997) ressaltaram a importância da massa unitária da areia empregada na produção de argamassas para a avaliação das suas propriedades no estado fresco e endurecido. Analisaram o trabalho de Tristão (1995) e concluíram que, ao aumentar o valor da massa unitária da areia, as resistências à tração por compressão diametral, à compressão axial e o módulo de deformação da argamassa apresentam tendência a crescer, bem como apresentam tendência a decrescer o consumo de aglomerante, o índice de vazios e a relação água/cimento. Alertaram, no entanto, que o observado são tendências, devendo-se aprofundar o estudo para o estabelecimento de melhores correlações com as propriedades das argamassas.

Candia e Franco (1998), ao estudarem técnicas de preparo da base e sua relação com o desempenho dos revestimentos de argamassa, concluíram que o tipo de base e os tipos de

preparo da base influem nas diversas características superficiais do substrato, da argamassa de revestimento e, conseqüentemente, na resistência de aderência.

Scartezini (2002) estudou a influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa. Analisou aspectos como a evolução da resistência de aderência ao longo do tempo, a influência da cura e a perda de água na argamassa fresca. Dentre as muitas conclusões a que chegou, pode-se destacar a elevada variabilidade nos ensaios de determinação da resistência de aderência à tração, devido às próprias características do sistema e da aplicação. Quanto à influência do tipo e do preparo do substrato, apontou que o substrato é o maior responsável pela variação existente na resistência de aderência, sendo muito significativo. Verificou que tratamentos da base, como o uso do chapisco e a solução de cal podem melhorar a aderência do sistema, para certos tipos de substrato. Observou que o uso do chapisco aumenta a rugosidade e a porosidade, favorecendo a ancoragem da argamassa. Quanto à influência da granulometria da areia na perda de água, concluiu que argamassas de areias mais finas perdem menos água por sucção do que argamassas de areia com granulometria mais grossa. Então, à medida que se aumenta o tamanho dos grãos da areia, a perda de água na argamassa aumenta e, em alguns casos, a resistência de aderência aumenta.

Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) analisaram a influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. Observaram que o uso de chapisco alterou a distribuição de poros da argamassa aplicada sobre o substrato e também proporcionou aumento na resistência de aderência à tração nos substratos estudados.

Silva, Gomes e Santos (2009) estudaram a influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco produzidas com cimento Portland de alto forno (CPIII) e concluíram que a cura úmida do chapisco melhorou o desempenho quanto à resistência de aderência do sistema de revestimento.

Honório e Carasek (2009), ao avaliarem a absorção de água do substrato através de vários métodos, observaram que alguns parâmetros de absorção mostraram boa correlação com o ensaio de absorção de água inicial (AAI). Concluíram, também, que os substratos cerâmicos e de concreto apresentam comportamento diferenciado quanto à absorção de água.

Arnold (2011) analisou a influência da forma dos grãos dos agregados nas propriedades das argamassas. Utilizou três tipos de agregados miúdos com diferentes formas dos grãos: uma areia de leito de rio e dois agregados miúdos de britagem de rocha basáltica.

Observou grandes diferenças no desempenho das argamassas elaboradas com os distintos agregados, em função das diferenças morfológicas e das diferenças no teor de filer na mistura, a saber: perda de trabalhabilidade; perda de densidade de massa; redução da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão; diminuição do módulo de elasticidade dinâmico; aumento da absorção de água por imersão; aumento do índice de vazios e aumento da massa específica.

Stolz (2011) examinou a influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento. Concluiu que a reologia da argamassa possui grande influência sobre fatores como a rugosidade do substrato, sendo necessária uma compatibilidade entre a rugosidade do substrato e a reologia das argamassas para que haja um aumento na resistência de aderência dos revestimentos.

Pagnussat e Masuero (2011) avaliaram a resistência de aderência de revestimentos de argamassa aplicados em blocos cerâmicos com diferentes condições superficiais. Os resultados evidenciaram que a alteração da temperatura de queima dos blocos, assim como a introdução de restrições para o transporte de água e pasta, provocou variações consideráveis nos resultados de aderência à tração.

Mattana et al. (2012) apresentaram método de análise hierárquica para escolha entre agregado natural e agregado de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. A conclusão do trabalho é de que o uso de agregado de britagem de rocha, de modo geral, não comprometeu o desempenho das argamassas de revestimento. Segundo a análise hierárquica realizada, a substituição de areia natural por agregado de britagem de rocha, para os materiais envolvidos na pesquisa, pode ser vantajosa.

Pagnussat (2013) estudou o efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa. Os resultados evidenciaram que a alteração da temperatura de queima dos blocos, assim como a introdução de restrições para a absorção de água e/ou pasta dos blocos, alterou sensivelmente os resultados de aderência à tração dos revestimentos. Concluiu, ainda, que há uma relação expressiva entre a estrutura de poros do substrato e a resistência de aderência do sistema de revestimento, em função da temperatura de queima dos blocos.

Carasek et al. (2014), em estudo sobre aderência entre argamassas de cal do Século XIX e azulejos históricos, obtiveram, como principais resultados, que a resistência de

aderência tem relação direta com a extensão de aderência. Notaram, também, que as características dos agregados utilizados, como granulometria, tamanho e forma dos grãos, influíram na reologia das argamassas e foram determinantes no que diz respeito à trabalhabilidade, criando um impacto significativo em termos de aderência argamassa-azulejo.

Stolz (2015) analisou os principais parâmetros que influenciam na área de contato entre substrato e argamassa de revestimento. Através de análise estatística, essa autora pode concluir que, para os materiais e métodos empregados em sua pesquisa, a dosagem das argamassas foi a variável que mais influenciou na área de contato, seguida pela energia de aplicação, a composição granulométrica do agregado e a tensão superficial do substrato. Seu trabalho apontou que maiores energias de aplicação resultam em maiores áreas de contato, desde que a tensão superficial do substrato seja receptivo ao espalhamento (caso dos substratos hidrofílicos). Revelou, também, que as granulometrias mais uniformes dos agregados tendem a não ser tão favoráveis ao escoamento das argamassas de revestimento e que isso pode prejudicar ou interferir no desenvolvimento da área de contato, mas que é necessário um estudo mais aprofundado do pacote granulométrico. Concluiu, ainda, que há uma tendência de relação inversa entre a viscosidade e a porcentagem de área de contato, sendo que a viscosidade muito alta reduz a porcentagem de contato na interface substrato-argamassa. O trabalho aponta evidência de que viscosidades mais baixas tendem a aumentar a área de contato, até certo limite; porém, a autora alerta que esse aspecto merece estudo específico.

Apolônio et al. (2015) fez análise comparativa da resistência de aderência do chapisco com diferentes relações água/ligante e com adição de metacaulim. Os resultados comprovaram a eficiência do uso da pozolana metacaulim nas características mecânicas e de durabilidade das argamassas estudadas, inclusive quanto à forma de ruptura notada nos ensaios de aderência.

Stolz e Masuero (2015) avaliaram a influência da dosagem das argamassas e da tensão superficial dos substratos no desenvolvimento da área de contato na interface argamassa-substrato, com uso da digitalização tridimensional a laser. Concluíram que essa é uma ferramenta apropriada para a quantificação desta propriedade.

Pagnussat e Masuero (2015) estudaram a utilização do ensaio de *squeeze-flow*¹ para avaliação do desempenho plástico de uma argamassa aplicada sobre substratos cerâmicos com distintas temperaturas de queima. Concluíram, que as temperaturas diferenciadas de queima dos blocos cerâmicos geraram substratos com diferentes padrões de porosidade e absorção de água, e que isso foi perceptível nos resultados dos ensaios do *squeeze-flow*.

Sakano et al. (2015) estudaram a aplicação do método do *squeeze-flow* sobre bloco cerâmico para comparação com a aplicação de argamassas em paredes. Os resultados mostraram que existe uma correlação ótima entre o que foi analisado em laboratório, pelo *squeeze-flow*, e a descrição da qualidade das argamassas de acordo com o oficial pedreiro que aplicou as mesmas na parede.

Araújo et al. (2015) estudou a natureza e a forma das partículas de agregados miúdos de diferentes mineralogias e sua implicação na consistência de argamassas. Concluiu que a mineralogia dos agregados influencia a forma dos grãos, identificada na análise morfoscópica por meio do grau de esfericidade e grau de arredondamento, mas que esta não apresentou correlação direta com a consistência da argamassa. No entanto, a consistência sofreu influência do fator de empacotamento dos grãos do agregado.

Carasek et al. (2015) analisaram os parâmetros dos agregados miúdos que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. Os principais resultados obtidos mostram que a porosidade (vazios entre partículas e grãos do agregado miúdo) e a massa unitária do agregado miúdo são os parâmetros que melhor se correlacionam com a consistência e a densidade de massa das argamassas, o que pode ser esclarecido pela alteração imposta no volume de pasta das argamassas devido ao volume de vazios deixado pelos grãos dos agregados miúdos.

Como se constata, vários autores têm dedicado atenção aos aspectos da aderência dos revestimentos de argamassas aos substratos, nos últimos anos. Porém, muitos aspectos relativos ao tratamento da base ainda carecem de estudo.

¹ Ensaio de caracterização reológica de argamassas de assentamento e revestimento, conforme a NBR 15839 (ABNT, 2010b).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos. O Capítulo 1 envolve a introdução ao tema da pesquisa, os objetivos, a justificativa e a relevância do assunto. O Capítulo 2 exhibe a revisão da literatura que serve de suporte a todo o trabalho. O Capítulo 3 apresenta os materiais e métodos, mostrando as características dos materiais, a confecção dos protótipos e a execução dos ensaios. No Capítulo 4, é feita a apresentação dos resultados e discussão. No Capítulo 5, estão as considerações finais e sugestão para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo serve de suporte teórico ao presente trabalho, que tem como objetivo estudar a interface entre substratos cerâmicos possuidores de diferentes aspectos superficiais e argamassas de chapisco elaboradas com agregados miúdos de distintas características.

Inicialmente, na seção 2.1, são abordados os sistemas de revestimentos de argamassa, servindo como introdução ao tema da pesquisa. Na seção 2.2, é feita uma explanação sobre a função das argamassas. Na sequência, na seção 2.3, são abordados os componentes das argamassas. Na seção 2.4, estudam-se os substratos cerâmicos e na seção 2.5, as camadas de revestimentos. A seção 2.6 traz estudo sobre os mecanismos de adesão e aderência. Por fim, a seção 2.7 aborda o transporte e perda de água.

Segundo Houwink e Salomon² (1973), citados por Carasek (1996, p. 17), “mesmo quando a aderência é tratada de uma forma geral em Engenharia e Tecnologia de Adesivos afirma-se que a capacidade de aderir não é uma propriedade intrínseca da substância adesiva dependendo grandemente das características do substrato”. As propriedades que caracterizam os substratos, dentre outras, são a porosidade, a capacidade de sucção de água e a textura superficial. A autora citada comenta que, dessas propriedades, as que exercem maior influência na aderência são a capacidade de sucção de água e a porosidade, fatores estes que estão intimamente relacionados. Aspectos relativos à textura da superfície do substrato também são importantes no presente estudo, destacando-se a rugosidade dos blocos.

A respeito das argamassas de chapisco, estas são compostas, basicamente, por um aglomerante (cimento) e agregado miúdo (material obtido da fragmentação natural ou artificial de rocha). Além do tipo de cimento empregado, o conjunto de características do agregado miúdo vai exercer influência direta nas propriedades da argamassa. Segundo Massad (2016, p. 149), as propriedades de engenharia das areias são função de uma série de características interdependentes, a saber: a compactidade ou densidade relativa, a distribuição granulométrica, o tamanho, o formato e a rugosidade da superfície dos grãos, a resistência dos grãos, a presença de água, a composição mineralógica e a origem geológica.

A sedimentologia estuda os processos responsáveis pela formação de rochas sedimentares abrangendo os fenômenos de intemperismo, desintegração, erosão, transporte e

² HOUWINK, R.; SALOMON, G. Adherencia y adhesivos – Vol. 1. 2.ed. Bilbao, Ediciones Urno, 1973. (Enciclopédia de la Química Industrial, Tomo 3).

sedimentação. Os depósitos sedimentares possuem certas propriedades básicas, sendo que as intrínsecas aos grãos isolados podem ser chamadas de propriedades texturais. Estas são os tamanhos, expressos em termos de distribuição granulométrica, o arredondamento e esfericidade (forma), a textura superficial e composição mineralógica. Estas propriedades estão relacionadas a fatores físicos e químicos dos ambientes de deposição (TRISTÃO, 2005, p. 27).

2.1 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

O revestimento de argamassa, inserido no conceito da edificação, “pode ser entendido como o *subsistema que recobre uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas de argamassa*, com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber o acabamento final” (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2015). Aderência ao substrato, resistência mecânica, porosidade e estanqueidade são algumas das características e propriedades desejáveis nas argamassas.

Durante o XI SBTA (2015), foi debatido que o desempenho deve ser “do sistema”, não somente do “produto” argamassa. Defendeu-se a importância de se ter uma visão sistêmica, pois existe a necessidade de compatibilização entre os diversos elementos dos subsistemas da edificação. Nesse sentido, deve-se destacar:

- a) a estrutura de fundações, devido à possibilidade de recalques e acomodações que causam fissuras ou rachaduras nos revestimentos;
- b) a superestrutura de concreto (hoje, com altas resistências e superfícies cada vez mais lisas), perante a possibilidade de deformações, acomodações e descolamentos dos revestimentos;
- c) a alvenaria (geralmente a maior área a ser revestida, protegida), que deve ter compatibilidade química e mecânica com a argamassa;
- d) as instalações, devido à possibilidade de ocorrência de rasgos nos revestimentos, infiltrações e vazamentos que podem deteriorar os revestimentos;
- e) a cobertura, devido à possibilidade de variação da temperatura e infiltrações, desprotegendo, assim, o sistema sob sua guarda;
- f) e o próprio revestimento, que deve ter suas camadas compatibilizadas entre si.

Mereceram destaque no XI SBTA (2015), ainda, a pesquisa de novos materiais e o desenvolvimento de argamassas industrializadas, aliados a novos métodos e técnicas de aplicação, principalmente, mecanizadas. Essas ações têm permitido o avanço na produtividade, na qualidade dos serviços de revestimentos de argamassa e melhoria na logística de canteiros de obras, contribuindo para tornar mais eficiente e racional o setor.

A capacidade de manter-se aderida ao substrato, seja no assentamento, com a finalidade de unir elementos em uma alvenaria, ou em revestimentos, mesmo diante de movimentações diferenciadas, choques térmicos, impactos e outras solicitações, é uma das características mais importantes das argamassas (RECENA, 2014, p. 161).

Os substratos devem ser adequados e preparados para receber o revestimento. Em todas as situações, os sistemas serão aplicados sobre uma base ou substrato formando um conjunto bem aderido e contínuo, necessário ao atendimento do desempenho global, explica Bauer (2005, p. 8). Caso os mesmos não tenham a adequabilidade necessária (ao atendimento dos quesitos que permitam uma execução satisfatória e ao atendimento de um bom desempenho), deve-se optar pelo uso de elementos que venham a compor uma solução satisfatória em âmbito geral, defende esse autor. A utilização do chapisco como preparação de base para aplicação da argamassa é um exemplo desta situação. O seu uso tem a função de aumentar a aderência do revestimento ao substrato ou base, além de uniformizá-lo perante à absorção de água e vapores.

Para Recena (2014, p. 161), a “resistência de aderência deve ser entendida como o resultado do comportamento de um sistema, dependendo tanto das características da argamassa como das características do substrato de aplicação”. Esse autor comenta que a eficiência da aplicação, sempre relacionada com o fator humano, por vezes, torna-se a variável mais importante no processo.

A literatura sobre concreto é farta, ao passo que os estudos sobre argamassas de revestimento, até bem pouco, eram incipientes. Em vista disso é que são colhidas informações sobre argamassas em obras que tratam de concreto. Pozzobon (2003, p. 20), ao referir-se às argamassas de assentamento, alerta, porém, que as argamassas diferem do concreto estrutural nas consistências de trabalho, métodos de aplicação e desempenho estrutural. Para esse autor:

A argamassa é usada para agregar as unidades de alvenaria num elemento único, desenvolvendo uma completa, resistente e durável interface. As argamassas são colocadas entre unidades de

alvenaria que são absorventes, perdendo água pelo contato com essas unidades. O concreto é geralmente colocado em moldes metálicos ou de madeira não absorventes, ou que absorvem muito pouca ou nenhuma água. A importância do teor água/cimento no concreto é bastante significativa, enquanto que para a argamassa é menos importante. As argamassas têm um elevado teor água/cimento quando são misturadas, mas esse teor altera-se para um valor inferior quando a argamassa entra em contato com unidades absorventes (POZZOBON, 2003, p. 20-21).

As argamassas têm dois importantes e distintos conjuntos de propriedades: as do seu estado plástico e as do seu estado endurecido. Trabalhabilidade, retenção de água, fluidez (consistência) inicial e a fluidez após absorção são propriedades das argamassas plásticas. Aderência, durabilidade, deformabilidade (resiliência) e resistência à compressão devem ser consideradas no estado endurecido das argamassas. Estas propriedades ajudam a estabelecer o desempenho da alvenaria acabada, explica Pozzobon (2003, p. 21).

O chapisco não é considerado uma camada; porém, quando se necessita de melhor aderência do emboço e reboco, e também a uniformização do substrato, os construtores, em geral, são unânimes em usá-lo.

2.2 FUNÇÃO DAS ARGAMASSAS

Recena (2011, pg. 61) define argamassa como “o material de construção obtido a partir da mistura de uma pasta com um agregado miúdo, podendo ainda haver o emprego de aditivos e adições”. Para esse autor, pasta é o material obtido da mistura de um ou mais aglomerantes de origem mineral com água, e a argamassa será obtida, então, incorporando um agregado miúdo, normalmente areia natural, à pasta. Deve-se anotar que, durante a mistura, pode ocorrer o aprisionamento natural ou intencional do ar, sendo este último pela ação de aditivos específicos.

Para Carasek (2010, p. 893), argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais. Os materiais constituintes de uma argamassa de revestimento podem ser o cimento e/ou a cal, o agregado miúdo, a água, os aditivos e as adições.

O cimento tem a função de aglomerante hidráulico e de prover resistência. A cal tem as funções de aglomerante aéreo e de ajudar na trabalhabilidade e na consistência da mistura. O agregado miúdo tem a função de resistência, aumento ou diminuição da densidade da mistura e controle da contração e retração, bem como de redução de custo.

A água, nos instantes iniciais, de preparo da argamassa, tem a função de permitir o contato entre as partículas, participar nas reações de hidratação do cimento e de regular a consistência e fluidez da mistura. Segundo Pinto (1986, p. 11) a água, quando misturada ao cimento e/ou cal, formará um produto que recobrirá toda a superfície da areia, sem interposição de películas ou elementos estanhos os quais poderão dificultar a hidratação do cimento. Componente desejável ou indesejável pode ser o ar, que, na mistura, modifica a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco, e afeta a porosidade no estado endurecido.

Argamassas ainda podem receber o emprego de adições e aditivos. Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013h, p. 8), adições são materiais inorgânicos naturais ou industriais adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades, como pó calcário, saibro, materiais pozolânicos, por exemplo. A mesma norma define aditivo como o “produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido”.

Carasek (2010, p. 896) aponta que, visando satisfazer às suas funções, algumas propriedades tornam-se essenciais para as argamassas, a saber:

- a) trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidade e adesão inicial;
- b) retração;
- c) aderência;
- d) permeabilidade à água;
- e) resistência mecânica, principalmente a superficial;
- f) capacidade de absorver deformações.

As principais funções de um revestimento de argamassa de parede, segundo Carasek (2010, p. 901), são:

- a) proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso dos revestimentos externos;
- b) integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (aproximadamente 30%), isolamento acústico (aproximadamente 50%), estanqueidade à água (aproximadamente 70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;
- c) regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Relativo à aplicação, Carasek (2010, p. 901) acrescenta que “a consistência e a plasticidade da argamassa deverão ser diferentes se a argamassa for aplicada por meio de colher de pedreiro (aplicação manual), ou se for projetada mecanicamente”.

A facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea, é determinada pela trabalhabilidade. Propriedade complexa, a trabalhabilidade é resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: “consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial” (CARASEK, 2010, p. 905). Essas propriedades estão relacionadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas

Propriedades	Definição
<i>Consistência</i>	É a maior ou menor facilidade de a argamassa deformar-se sob ação de cargas.
<i>Plasticidade</i>	É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação.
<i>Retenção de água e de consistência</i>	É a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
<i>Coesão</i>	Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.
<i>Exsudação</i>	É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência à exsudação.
<i>Densidade de massa</i>	Relação entre a massa e o volume de material.
<i>Adesão inicial</i>	União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato

Fonte: Carasek, 2010, p. 905.

A análise dessas propriedades mostra o complexo papel das argamassas nos revestimentos, visto que algumas dessas funções são antagônicas. Por exemplo, a argamassa de revestimento no estado endurecido tem que ser suficientemente rígida, com boa resistência mecânica para resistir aos choques e abrasão e, ao mesmo tempo, ter adequada flexibilidade para absorver deformações devidas aos movimentos da estrutura, da variação de temperatura e da umidade. A Tabela 2.2 mostra os principais requisitos que devem ter as argamassas.

Tabela 2.2 - Principais requisitos e propriedades das argamassas para as diferentes funções

Tipo da argamassa	Função	Principais requisitos/propriedades
Chapisco	<ul style="list-style-type: none"> Garantir ou incrementar aderência entre a base e o revestimento de argamassa Contribuir com a estanqueidade da vedação 	<ul style="list-style-type: none"> Aderência
Emboço e camada única	<ul style="list-style-type: none"> Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções (estanqueidade etc.) Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir de base para acabamentos decorativos 	<ul style="list-style-type: none"> Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial) Baixa retração; Aderência Baixa permeabilidade à água Capacidade de absorver deformações Resistência mecânica
Argamassa colante (assentamento de revestimento cerâmico)	<ul style="list-style-type: none"> “Colar” a peça cerâmica ao substrato Absorver deformações naturais a que o sistema de revestimento cerâmico estiver sujeito 	<ul style="list-style-type: none"> Trabalhabilidade (retenção de água, tempo em aberto, deslizamento e adesão inicial) Aderência Capacidade de absorver deformações (flexibilidade) – principalmente para fachadas
Argamassa de rejuntamento (das juntas de assentamento das peças cerâmicas)	<ul style="list-style-type: none"> Vedar as juntas Permitir a substituição das peças cerâmicas Ajustar os defeitos de alinhamento; Absorver pequenas deformações do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial) Baixa retração; Aderência Capacidade de absorver deformações (flexibilidade) – principalmente para fachadas

Fonte: Carasek, 2010, p. 904, adaptado.

Para evidenciar a importância dos revestimentos aderidos aos substratos, a Figura 2.1 mostra uma parede de alvenaria que não recebeu revestimento, apresentando degradação dos blocos junto à base, comprometendo o desempenho da edificação.

Figura 2.1 - Alvenaria sem revestimento, apresentando degradação dos blocos



Fonte: Coletânea de imagens do autor.

2.3 COMPONENTES DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO

Na tecnologia dos materiais de construção, *pasta* é a mistura de aglomerante e água; *argamassa* é a mistura da pasta com agregado miúdo; e *concreto* é a mistura de argamassa com agregado graúdo. “Os principais aglomerantes utilizados na produção das argamassas de revestimento são o cimento e a cal, ambos com decisivas contribuições nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido” (BAUER; SOUSA, 2005, p. 15). Os agregados miúdos podem ser a *areia* (material proveniente da fragmentação natural de rocha) ou aqueles obtidos por fragmentação artificial de rocha (agregado miúdo de britagem). A NBR 7200 (ABNT, 1998, p. 2) define *traço* como a “expressão da proporção entre constituintes da argamassa, geralmente referida ao aglomerante principal”.

2.3.1 Cimento Portland

Remonta a épocas ancestrais o uso de ligantes nas técnicas construtivas. O material mais usado no Período Neolítico era a argila, continuando seu emprego nas Idades do Bronze e do Ferro. O gesso e a cal aérea foram os primeiros ligantes genuínos. A descoberta do desempenho hidráulico das argamassas feitas com cal apagada e tijolo cozido ou com cal apagada e areia vulcânica é atribuída aos fenícios. Os conhecimentos sobre argamassas hidráulicas são recebidos primeiramente pelos gregos e, a seguir, pelos romanos e toda a civilização mediterrânea ocidental. As técnicas de construção chegaram a níveis muito adiantados na Roma Antiga e se alastraram rapidamente por todo o império. Não ocorreram, nas épocas seguintes, desenvolvimentos substanciais nos materiais utilizados para fazer as argamassas ou os aglomerados. Só ocorreram mudanças significativas a partir do século XIX, quando foram desenvolvidos primeiro a cal hidráulica e, depois, o cimento Portland (BERTOLINI, 2010, p. 326-327).

O cimento Portland comum é um “aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições normalizadas, conforme Normas Brasileiras específicas” (NBR 13529, ABNT, 2013a, p. 7).

O cimento Portland é o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento. A resistência à compressão e a resistência à tração nas argamassas e concretos aumentam com o incremento de cimento; porém, caso o módulo

de deformação da argamassa aumente demasiadamente, tornando os sistemas de revestimento pouco deformáveis, isso contribui para o aumento do risco de fissuração e até o deslocamento de parte do revestimento (BAUER; SOUSA, 2005, p. 17).

Produzido a partir da moagem do clínquer e adição de sulfatos de cálcio, o aglomerante hidráulico cimento Portland é um componente cujas principais fases constituintes são do tipo silicato. O clínquer é obtido a partir da mistura e moagem do calcário e da argila, sendo esta última responsável pelas fases de silicatos. A composição típica de um clínquer em termos de óxidos é de 67% de CaO, 22% de SiO₂, 5% de Al₂O₃, 3% de Fe₂O₅ e 3% de outros componentes (TAYLOR³, 1997, apud CASCUDO; CARASEK; HASPARYK, 2010, p. 336).

Considerando os vários tipos de estruturas, de forma geral, todos os tipos de cimento Portland são adequados, em sua maior parte. Porém, alguns tipos de cimento são mais vantajosos ou recomendáveis para determinadas aplicações que outros. Pode-se então afirmar que os cimentos CP I e CP II se destinam a aplicações gerais, e que o CP III, CP IV e CP V têm melhor desempenho em algumas situações específicas. Os cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos têm como principais vantagens a maior estabilidade, durabilidade e impermeabilidade, pois conferem ao concreto menor calor de hidratação, maior resistência ao ataque por sulfatos e cloretos, maior resistência a compressão em idades mais avançadas e maior resistência a tração e a flexão. Buscando atender às necessidades dos consumidores e, simultaneamente, contribuir para desenvolvimento sustentável, os diversos tipos de cimento procuram utilizar de maneira segura e adequada subprodutos industriais, como escórias e pozolanas, que entram na composição dos cimentos compostos e dos cimentos pozolânicos e de alto-forno (BATTAGIN; RODRIGUES, 2014, p. 35-38).

2.3.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo, de acordo com suas propriedades texturais, definidas em função da composição granulométrica (tamanho), arredondamento e esfericidade (forma), textura superficial e composição mineralógica, é o componente que ajuda a conferir às argamassas características como, por exemplo, trabalhabilidade, consistência, volume e estabilidade. “O agregado é parte integrante das argamassas, sendo em alguns casos definido como o “esqueleto” dos sistemas de revestimentos de argamassa, com influência direta em

³ TAYLOR, H. F. W. Cement Chemistry. 2. ed. London: Thomas Telford, 1997.

propriedades como retração, resistência mecânica, módulo de deformação, dentre outras (BAUER; SOUSA, 2005, p. 20).

As propriedades do agregado (ou seu conjunto de características) vão afetar as propriedades de dosagem das argamassas e concretos, bem como o seu comportamento nos estados fresco e endurecido. De acordo com Mehta e Monteiro (2014, p. 291), é mais adequado dividir o estudo das propriedades do agregado em três categorias, que se baseiam nos fatores microestruturais e fatores relacionados ao seu processamento, a saber: a) características dependentes da porosidade: massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade; b) características dependentes das condições prévias de exposição e fatores relacionados ao processo de fabricação: tamanho, forma e textura das partículas; e c) características dependentes da composição química e mineralógica: resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presentes.

Sugiuo (2003) estudou as propriedades físicas, mineralógicas, químicas e isotópicas dos sedimentos. Quanto às propriedades físicas, para esse autor, algumas das características texturais mais importantes dos sedimentos, que definem a sua microgeometria, incluindo as areias, são constituídas pelo tamanho, a forma e o arranjo espacial dos componentes mineralógicos. O tamanho das partículas, expresso pelo seu diâmetro, através da granulometria, constitui uma propriedade textural fundamental. Já a morfometria compreende a medida da forma (ou esfericidade) e arredondamento das partículas. “No Brasil, os depósitos de areia e cascalho empregados como materiais de construção estão associados a *sedimentos fluviais recentes e sub-recentes de paleocanais e terraços fluviais*”, explica Sugiuo (2003, p. 331).

Segundo Neville e Brooks (2013, p. 42), o termo agregado é utilizado, algumas vezes, para designar os agregados graúdos, de forma a distingui-los da areia, mas essa não é a denominação correta.

Por isso, o *agregado miúdo* é definido como o material obtido da fragmentação natural ou artificial de rocha, com dimensão nominal máxima inferior a 4,8 mm e mínima igual ou superior a 0,075 mm. *Areia* é o material obtido da fragmentação natural de rocha, com dimensão nominal máxima inferior a 2,4 mm e mínima igual ou superior a 0,075 mm. (BONIN, 2009, p. 6).

A determinação da composição granulométrica de agregados é prescrita pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio utiliza duas séries de peneiras: a série normal e a série

intermediária. A série normal é constituída pelas peneiras 150 µm; 300 µm; 600 µm; 1,18 mm, 2,36 mm, 4,75 mm, 9,5 mm; 19 mm; 37,5 mm e 75 mm. A série intermediária é constituída pelas peneiras com dimensões em mm, 6,3; 12,5; 25; 31,5; 50 e 63.

O *módulo de finura* é um dos principais parâmetros utilizados na classificação de uma areia para uso em argamassas e concretos. Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009a, p. 4), é a “soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras da série normal, dividida por 100”.

“O módulo de finura pode ser visto como a dimensão média ponderada da peneira em que o material ficou retido, sendo as peneiras consideradas a partir da mais fina. Popovics⁴ mostrou que ele é a média logarítmica da distribuição das dimensões das partículas” (NEVILLE, 2016, p. 162).

A Tabela 2.3 traz a classificação das areias em função do módulo de finura (MF). Pode-se notar a diferença de valores entre os autores. Petrucci (1980) apresenta valores com graduação maior do que Bauer e Souza (2005).

Tabela 2.3 - Classificação dos agregados em função do módulo de finura (MF)

Tipo de agregado	Segundo Petrucci (1980, p. 58)	Segundo Bauer e Souza (2005, p. 21)
Areia fina	MF < 2,40	MF < 2,0
Areia média	2,40 < MF < 3,30	2,0 < MF < 3,0
Areia grossa	3,30 < MF < 3,90	MF > 3,0
Areia muito grossa (pedrisco)	MF > 3,90	

Para Carneiro⁵ (1999), citado por Bauer e Sousa (2005, p. 21), o módulo de finura da areia não é um indicador representativo, pois não considera a distribuição granulométrica da fração fina da areia. Por isso, a adoção de outros parâmetros de avaliação, descritos em trabalhos publicados sobre agregados para concreto, como a massa unitária e o índice de vazios, complementando, ainda, com conceitos oriundos da mecânica dos solos como o coeficiente de uniformidade (C_U).

Massad (2016, p. 157) observa “que 10% a 30% de grãos finos a médios afetam em muito o arranjo estrutural mais denso, mesmo com predominância de grossos”. Informa que

⁴ POPOVICS, S. The use of the fineness modulus for the grading evaluation of aggregates for concrete, Mag. Concr. Res., 18, No. 56, pp. 131-40 (1996)

⁵ CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades das argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

foi por essa razão que Hazen (1892), citado por Terzaghi, Peck e Mesri⁶ (1996), introduziu os conceitos de diâmetro efetivo (D_{10}) e de coeficiente de uniformidade ($C_U = D_{60}/D_{10}$). Onde D_{60} e D_{10} são os diâmetros abaixo dos quais ocorrem, respectivamente, 60% e 10% dos grãos em peso. O coeficiente de uniformidade (C_U) serve para caracterizar as areias em uniformes e não uniformes.

Segundo Caputo, Caputo e Rodrigues (2015), o coeficiente de uniformidade (C_U) pode informar as seguintes características dos solos granulares:

- Granulometria muito uniforme: $C_U < 5$;
- Uniformidade média: $5 < C_U < 15$;
- Granulometria desuniforme: $C_U > 15$.

Pode-se notar que, à medida que aumenta o coeficiente de uniformidade, diminui a uniformidade do agregado. Por isso, alguns autores, como Pinto (2006, p. 66), denominam-no de coeficiente de não uniformidade (CNU). Esse mesmo autor explica que outro coeficiente, não tão empregado quanto o CNU é o coeficiente de curvatura (C_C), definido como: $C_C = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60}$. Esse coeficiente informa o seguinte:

- Curva granulométrica descontínua, há falta de grãos em algum diâmetro: $C_C < 1$;
- Solo bem graduado, a curva granulométrica se desenvolve suavemente: $1 < C_C < 3$;
- Curva granulométrica muito uniforme na parte central: $C_C > 3$.

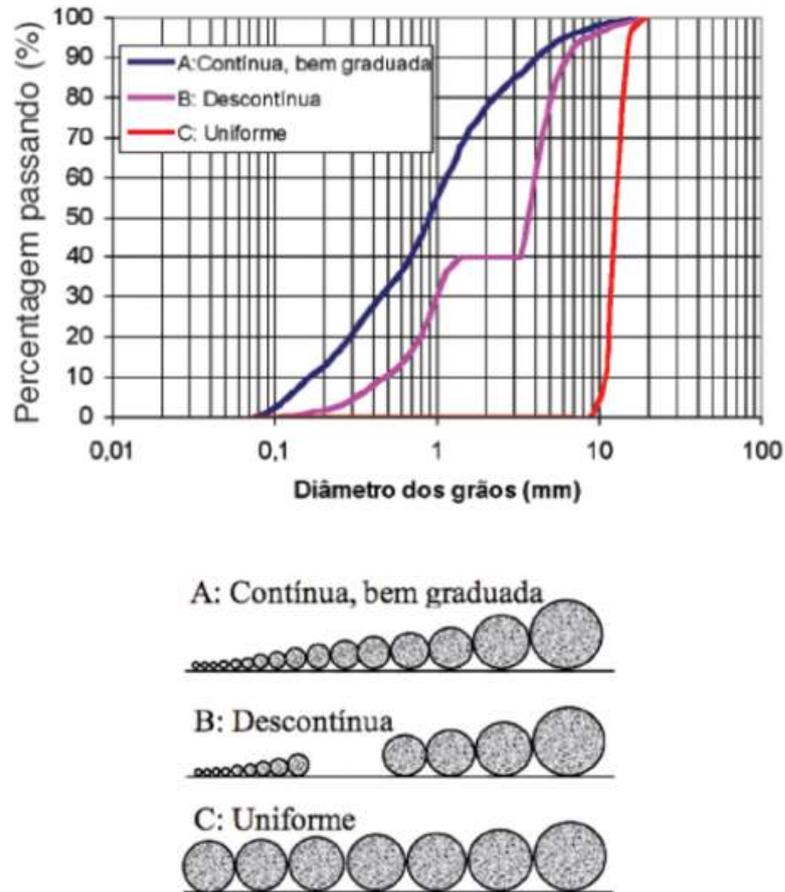
A importância do C_U e do C_C para a caracterização dos agregados utilizados nas argamassas de revestimento deve-se a que esses parâmetros permitem uma avaliação da continuidade da distribuição granulométrica de um agregado miúdo. “Essa continuidade pode influenciar no índice de vazios do agregado; no consumo de aglomerante e de água de amassamento para uma mesma trabalhabilidade” (BAUER; SOUSA, 2005, p. 22).

A Figura 2.2 traz exemplo de curvas granulométricas, evidenciando materiais com curvas **contínua** ou bem graduada (A); **descontínua** (B) e **uniforme** (C). Uma curva é contínua quando apresenta partículas de todos os diâmetros intermediários desde um valor mínimo (do) até um valor máximo (D); exibem a forma de um ‘S’ suave e alongado na

⁶ TERZAGHI, K.; PECK, R.; MESRI, G. Soil mechanics and engineering practice. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

horizontal. Se faltar alguma fração intermediária, em contraposição, diz-se que a curva é **descontínua** (*gap graded*); nesse caso, a curva tende a apresentar um patamar horizontal na fração ausente. A curva será **uniforme** quando a maior parte das partículas pertencer a apenas uma fração granulométrica, com $d_o \approx 0,5 D$ (FARIAS; PALMEIRA, 2010, p. 503).

Figura 2.2 - Exemplos de curvas granulométricas



Fonte: Farias e Palmeira (2010, p. 504).

Outra característica importante é a dimensão máxima característica (DMC), definida pela NBR 7211 (ABNT, 2009a, p. 3) como a “grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa”.

Na produção de argamassas podem ser utilizadas areias (agregado miúdo proveniente de leitos de rios e de cava) e agregados miúdos provenientes da britagem de rochas, sendo estes últimos mais utilizados na produção das argamassas industrializadas. “Sugere-se que a

escolha de uma areia deva ser baseada em uma granulometria contínua, com uma dimensão máxima característica adequada aos tipos de revestimento no qual será utilizado (TRISTÃO⁷, 1995, apud BAUER; SOUSA, 2005, p. 22).

“Em geral, quanto maior a dimensão máxima característica do agregado (DMC), menor será a área superficial por unidade de volume que deve ser coberta pela pasta do cimento para uma dada relação água/cimento” (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 295). Isso implica em vantagens econômicas, com menos uso de cimento. Segundo esses autores, a composição granulométrica, de forma semelhante à DMC, também tem efeito considerável sobre a necessidade de pasta de cimento em uma mistura. Curvas granulométricas contínuas oferecem redução no teor de vazios, necessitando de menos pasta para preenchimento desses vazios. A Tabela 2.4 apresenta indicações da DMC para cada camada que compõe o revestimento.

Tabela 2.4 – DMC do agregado recomendado para cada camada que compõe o revestimento

Camada de revestimento	Peneiras ABNT (mm)
Chapisco	4,80
Emboço	2,40
Camada única	1,20
Reboco	1,20

Fonte: Bauer e Sousa (2005, p. 22)

Bauer e Souza (2005, p. 22) recomendam, ainda, que os agregados sejam isentos de matéria orgânica, concreções ferruginosas, aglomerados argilosos e outras impurezas que possam causar manifestações patológicas nos sistemas de revestimento.

Estudos importantes sobre agregados empregados em argamassas e concretos consideram a influência da dimensão, da forma, da textura superficial, da granulometria e da mineralogia dos agregados. Tristão (2005) estudou a influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. O objetivo do seu trabalho foi estudar a variação das propriedades das argamassas mistas de cimento Portland e cal para revestimento de paredes e tetos, com relação aos diferentes aspectos texturais das areias. Ele

⁷ TRISTÃO, F. A. Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

estudou a distribuição granulométrica, a forma e a textura dos grãos das areias, e chegou a importantes conclusões. Segundo Tristão (2005, p. 157),

O empacotamento das partículas está associado tanto à fração quanto à forma do grão, e como a quantidade de grãos em cada fração depende da forma do grão, considerando a mesma massa específica, o conhecimento da distribuição granulométrica em termos de números de grãos é um dado importante no desenvolvimento de areias com menores vazios de volume, que irão produzir argamassas com menores consumos dos aglomerantes cimento e cal hidratada.

Para exemplificar a questão do número de grãos, Tristão (2005, p. 69), em sua pesquisa, estimou o número médio dos grãos por grama de fração de várias areias. Para uma areia de rio, obteve os seguintes resultados: 25,3 grãos para a fração 4,75-2,36 mm; 125,2 grãos para a fração 2,36-1,18 mm; 768,6 grãos para a fração 1,18-0,600 mm; 5.030,2 grãos para a fração 0,600-0,300 mm; 44.247,8 para a fração 0,300-0,150; e 530.222,6 para a fração 0,150-0,075 mm. Nota-se o expressivo aumento no número de grãos à medida que as frações têm menor malha.

Analisando de outro modo, quando se compara o volume de uma esfera com diâmetro de 2,4 mm com o volume de outra que tenha 0,6 mm de diâmetro, o volume decresce 64 vezes. Quando se faz a mesma comparação com uma esfera de 0,075 mm de diâmetro, o volume decresce 32.768 vezes.

Neville e Brooks (2013, p. 71), ao estudarem a compactação das misturas, citam que “as partículas de agregado de uma determinada dimensão se acomodam de tal maneira que formam vazios que somente serão preenchidos se as partículas da dimensão inferior seguinte forem suficientemente pequenas”. Isso evidencia a importância de uma curva granulométrica bem-graduada.

2.3.2.1 Análise petrográfica e características dos grãos

A análise petrográfica, realizada através de estudos macroscópicos e microscópicos executados em laboratório especializado, segundo a NBR 7389-1 (ABNT, 2009b, p. 1), presta-se à identificação detalhada dos constituintes de um agregado miúdo e à avaliação das implicações de suas propriedades ou características no comportamento do concreto. Essa norma determina que este tipo de análise deve ser executado por um geólogo ou outro profissional técnico e legalmente habilitado. De antemão, pode-se empregar esses estudos

também para argamassas, como foi o trabalho de Tristão (2005), Arnold (2011), Araújo (2015) e vários outros pesquisadores.

Segundo a NBR 7389-1 (ABNT, 2009b, p. 2), *grãos inócuos* são aqueles compostos por minerais que não reagem em contato com a pasta de cimento e apresentam resistência físico-mecânica adequada. Já os *grãos deletérios* possuem minerais que reagem em contato com a pasta de cimento, ainda que apresentem resistência físico-mecânica adequada. Os *grãos potencialmente deletérios* são aqueles que podem apresentar reação danosa com a pasta de cimento, devido a seus aspectos estruturais, texturais e/ou mineralógicos. E os *grãos friáveis* são aqueles que apresentam resistência mecânica imprópria, podendo ser desagregados sob pressão manual através de uma espátula.

A NBR 7389-1 (ABNT, 2009b, p. 3-4) aponta como propriedades e características importantes dos agregados miúdos:

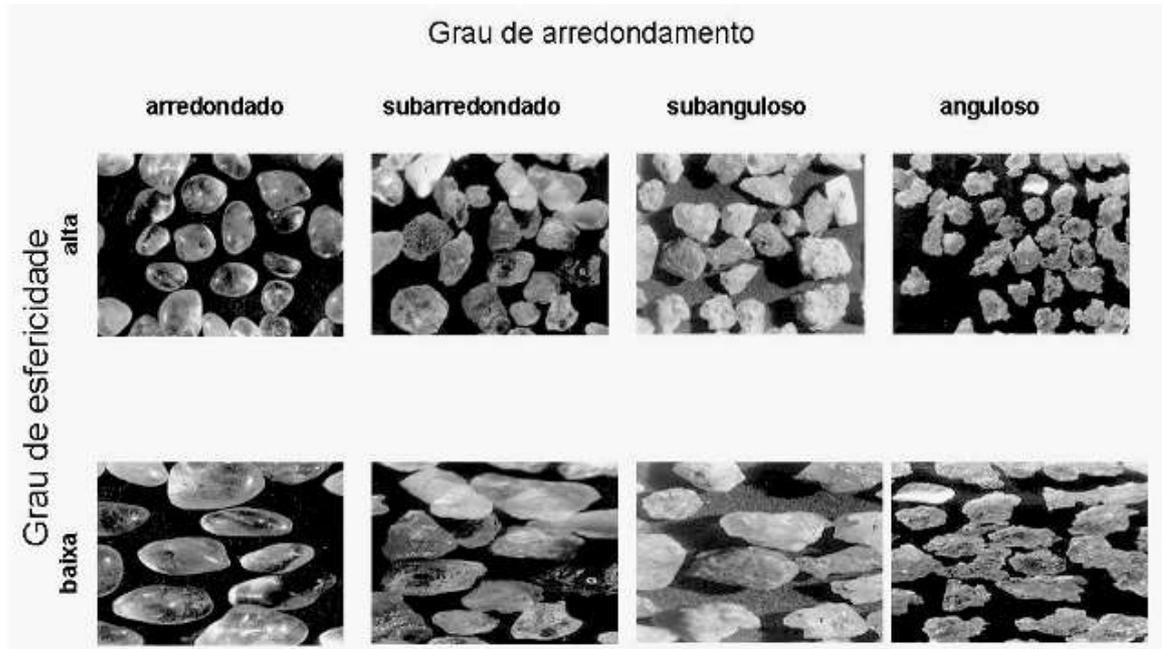
- a) cor: aquela predominante do conjunto de grãos no estado seco;
- b) distribuição granulométrica;
- c) forma dos grãos: avaliada visualmente, a olho nu ou com auxílio de instrumento óptico, devendo ser relatados o grau de esfericidade (alto ou baixo) e o grau de arredondamento (anguloso, subanguloso, subarredondado ou arredondado);
- d) superfície dos grãos: onde se descreve a textura da superfície dos grãos e sua classificação (em polidos, foscos ou rugosos), eventuais ocorrências de películas de recobrimento ou impregnações externas aos grãos, e identificando, na medida do possível, a substância que as forma;
- e) composição mineralógica e classificação tecnológica: devem ser analisadas e quantificadas porções representativas de cada fração resultante da análise granulométrica.

Quanto à forma dos grãos, Massad (2016, p. 159) lembra que foi Wadell (1952), citado por Pinto⁸ (1969), quem introduziu a diferença entre esfericidade e arredondamento: “a esfericidade refere-se ao formato dos grãos independentemente do aspecto dos cantos; o arredondamento diz respeito à maior ou menor angulosidade dos cantos dos grãos”. A Figura

⁸ PINTO, C. S. Influência da granulometria das areias na capacidade de carga investigada por meio de modelos. 1966. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1966. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1969. Publicação n. 823.

2.3 ilustra o grau de arredondamento e o grau de esfericidade, servindo para orientar a avaliação da forma dos grãos de agregado.

Figura 2.3 - Esquema ilustrativo para avaliação da forma dos grãos de agregado



Fonte: NBR 7389-1 (ABNT, 2009b, p. 3) apud Powers (1953).

Tristão (2005, p. 34) menciona que “a composição granulométrica, através de peneiramento, pode não representar exatamente as medidas dos grãos e que é necessária a incorporação de medidas da forma dos grãos para auxílio na interpretação da distribuição granulométrica das areias”. Esse autor enfatiza a influência da forma dos grãos no índice de vazios das areias e a necessidade de uma correlação com as propriedades das argamassas.

A Figura 2.4 mostra os efeitos físicos do transporte nos grãos de areia, de acordo com a distância. Segundo os conceitos da Geologia, sedimentos bem-classificados foram submetidos à ação prolongada da água ou do vento, podendo apresentar maior arredondamento e esfericidade; já os sedimentos mal classificados sofreram pouco transporte, estão próximos de suas áreas-fonte.

Figura 2.4 - Efeitos físicos do transporte nos grãos de areia, de acordo com a distância



Fonte: Matos (2016) adaptado.

Convém ressaltar que, para a Engenharia, sedimentos bem-classificados (na Geologia) podem ter granulometria uniforme e com alto índice de vazios. Sedimentos mal classificados (na Geologia) podem fornecer curvas granulométricas de material bem-graduado e com baixo índice de vazios, o que os torna interessantes. De todo modo, para materiais de natureza sedimentar como as areias, é a contribuição das várias fontes, ao longo do percurso, que vai fornecer o conjunto de características ao material. A Figura 2.5 apresenta uma classificação da Geologia para os sedimentos.

Figura 2.5 - Classificação da Geologia para os sedimentos



(a) Material bem-classificado, submetido à ação prolongada da água ou vento

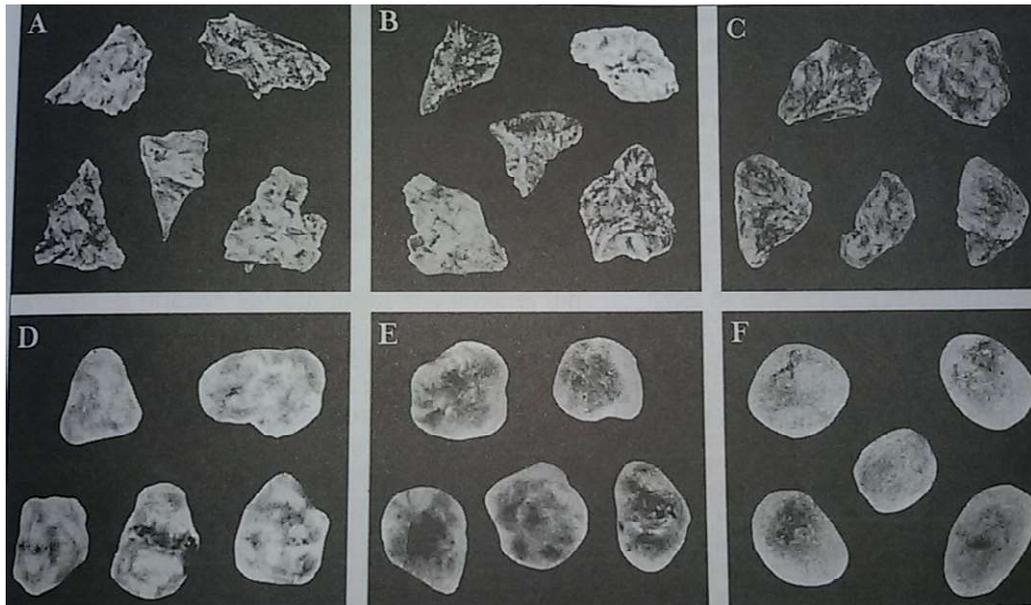


(b) Material mal classificado, sofreu pouco transporte, está próximo de suas áreas-fonte

Fonte: Matos (2016) adaptado.

A figura 2.6 apresenta exemplos de seis classes usadas nas determinações dos graus de arredondamento. A Figura 2.7 apresenta as mesmas categorias, porém, numa classificação mais detalhada.

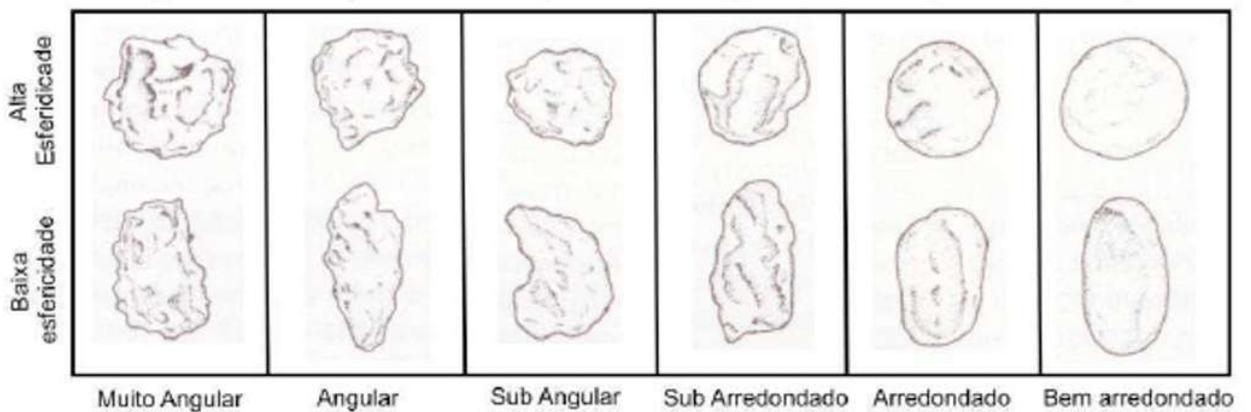
Figura 2.6 - Exemplos de seis classes usadas nas determinações dos graus de arredondamento



Fonte: Shepard⁹ (1967) apud Suguio (2003, p. 67).

Legenda: A = muito angulosa; B = angulosa; C = subangulosa; D = subarredondada; E = arredondada; F = bem arredondada.

Figura 2.7 - Categorias de arredondamento e esfericidade



Fonte: Powers (1953) apud Pettijohn, Potter e Siever (1987, p. 521), adaptado.

⁹ SHEPARD, F. P. 1967. Submarine geology. Nova York: Harper & Row (2.^a Ed)

2.3.2.2 Massa unitária e massa específica real

A *massa específica aparente* ou *massa unitária* pode ser definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. De acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006b, p. 1), *massa unitária* é a relação entre a massa do agregado lançado em um recipiente e o volume desse recipiente.

“O fenômeno da massa unitária surge porque não é possível empacotar as partículas do agregado juntas de forma a não deixar espaços vazios entre elas. Assim, o termo *massa unitária* é utilizado uma vez que o volume é ocupado tanto pelos *agregados* quanto pelos *vazios*”. (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 292). Uma vez que a maioria das areias está saturada quando é entregue no canteiro de obras, podem ocorrer grandes variações nas dosagens, se estas forem feitas em volume. Por esse motivo, a dosagem do concreto em massa tem se tornado procedimento padrão na maioria dos países, explicam esses autores.

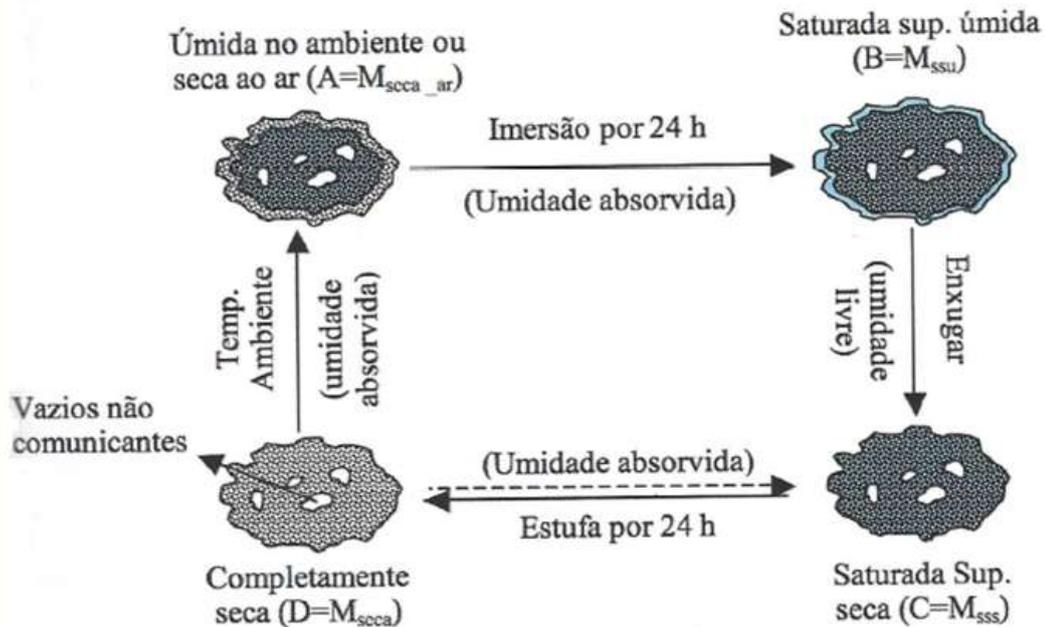
A *massa específica real* é a relação entre a massa e o volume cheios, isto é, o volume de grãos do agregado, excluindo-se os poros permeáveis e os vazios entre os grãos. É necessária para os cálculos de estimativas de materiais, de densidade de massa teórica e de vários outros parâmetros das areias.

Tristão (2005, p. 157) concluiu que areias com diferentes composições granulométricas podem conduzir a diferenças no índice de vazios, e, também, que os parâmetros texturais dos grãos que compõem estas areias exercem uma forte influência no índice de vazios, com mais intensidade do que a distribuição granulométrica.

2.3.2.3 Absorção e umidade

O conhecimento do teor de umidade do agregado é importante, pois a quantidade de água que o mesmo transporta para as argamassas vai influir na dosagem e alterar as condições de plasticidade e consistência. A umidade da areia provoca o fenômeno conhecido como *inchamento* e deve ser considerado quando da conversão dos traços de massa para volume. A Figura 2.8 exemplifica as várias condições de umidade a que pode estar sujeito o agregado. Segundo Farias e Palmeira (2010, p. 490), uma amostra pode encontrar-se em quatro situações diferentes, quanto à condição de umidade, mostradas na Figura 2.6: (A) condição ambiente ou seca ao ar; (B) condição saturada com superfície úmida; (C) condição saturada com superfície seca (SSS), e (D) condição completamente seca.

Figura 2.8 - Representação esquemática da umidade do agregado



Fonte: Farias e Palmeira (2010, p. 491)

Com relação à demanda de água, Recena (2011, p. 110) expõe que “argamassas de mesmo traço, mas produzidas com agregados de superfícies específicas diferentes, exigirão em sua produção, para a obtenção de uma mesma trabalhabilidade, quantidades substancialmente diferentes de água”. Esse autor assinala que o aumento na demanda de água pela substituição de uma areia média por uma areia fina pode chegar a 50%”.

2.3.2.4 Textura superficial dos agregados

Baseada no grau de polimento da superfície das partículas, a classificação segundo a textura superficial apresenta partículas polidas ou opacas, lisas ou ásperas. A textura superficial vai depender da dureza, das dimensões dos grãos e das características de porosidade da rocha-mãe (rochas duras, densas e grãos finos em geral proporcionam superfícies de fratura lisas), bem como o grau com que as forças atuantes sobre a superfície das partículas as tenham alisado ou tornado ásperas (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 46). Esses autores informam que a avaliação visual da aspereza é bastante aceitável, mas, para evitar erros, pode-se avaliar a textura superficial dos agregados de acordo com a classificação exposta na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Classificação dos agregados segundo a textura superficial

Grupo	Textura superficial	Características
1	Vítrea	Fratura conchoidal
2	Lisa	Desgastado por água ou alisado devido à fratura de rochas laminadas ou de granulação fina
3	Granular	Fratura mostrando grãos mais ou menos uniformes arredondados
4	Áspera	Fratura áspera de rochas de granulação fina ou média contendo constituintes cristalinos de difícil visualização
5	Cristalina	Presença de constituintes cristalinos de fácil visualização
6	Alveolar	Com poros e cavidades visíveis

Fonte: Neville e Brooks (2013, p. 46) adaptado.

É importante ressaltar que Neville e Brooks (2013, p. 47) analisaram a forma e a textura superficial dos agregados em estudos para concreto, concluindo, especialmente para agregados miúdos, que aqueles fatores exercem grande influência na demanda de água da mistura. “Em termos práticos, mais água será necessária quanto maior for o teor de vazios de agregados no estado solto”, concluem.

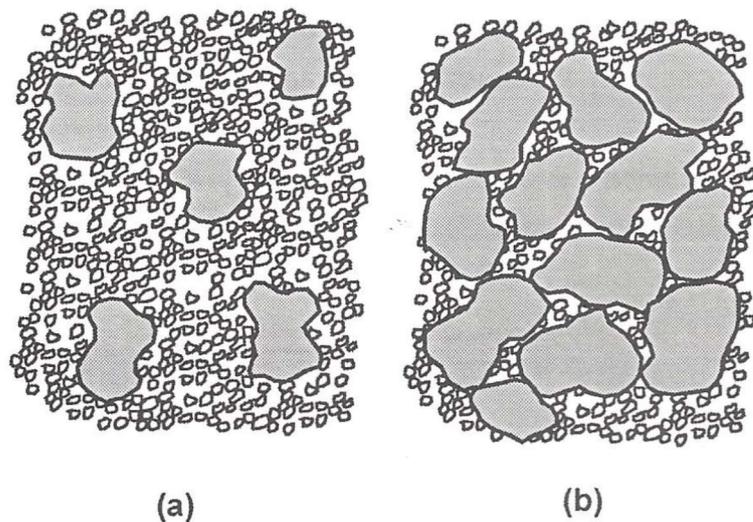
2.3.2.5 Entrosamento dos grãos

Outra análise colocada é sobre o entrosamento dos grãos. Pinto (2006, p. 67) aponta que o formato dos grãos de areia tem grande relevância no seu comportamento mecânico, determinando como eles se acomodam e se entrosam e, em contrapartida, como eles fluem entres si, quando solicitados por forças externas. Por outro lado, como as forças são transmitidas pelo contato entre as partículas, as que têm formato mais angular ficam mais propensas a se quebrarem (caso os grãos não tenham resistência adequada). O autor citado considera que, apesar da importância do formato dos grãos, pouca atenção é dada a este aspecto na identificação e na classificação das areias. “Tal fato deve estar associado à aparente dificuldade de se observar o aspecto superficial dos grãos, embora uma simples lupa permita que isso seja feito facilmente [...]”

No que se refere ao entrosamento, a função dos grãos grossos é diferente da desempenhada pelos finos. Na Figura 2.9, em (a) é ilustrada uma areia que contém 20% de

grãos grossos e 80% de grãos finos. Seu comportamento vai ser determinado sobretudo pelas partículas finas, havendo pouco entrosamento com as partículas grossas. De outra forma, para uma areia que contenha 80% de grãos grossos e 20% de grãos finos, os grãos finos tenderão a ocupar os vazios entre os grossos, majorando o entrosamento e, por conseguinte, o ângulo de atrito¹⁰ (PINTO, 2006, p. 282).

Figura 2.9 - Entrosamento das areias de acordo com a distribuição granulométrica



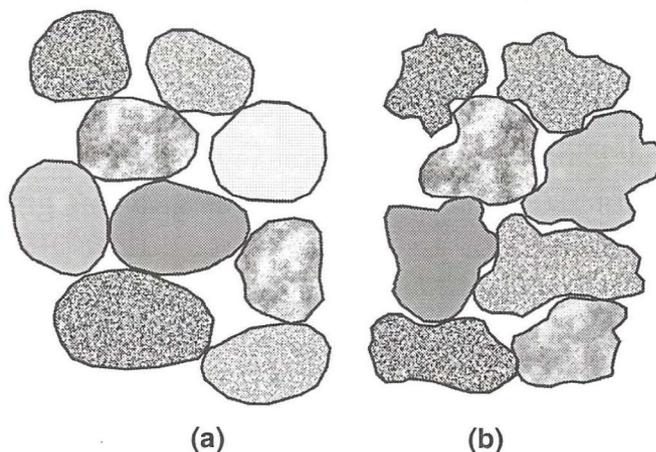
Fonte: Pinto (2006, p. 282)

Legenda: (a) areia predominantemente fina; (b) areia predominantemente grossa

Em relação ao formato dos grãos, Pinto (2006, p. 283) expõe que areias constituídas de partículas esféricas e arredondadas, situação (a) da Figura 2.10, têm ângulos de atrito sensivelmente menores do que as areias constituídas de grãos angulares, situação (b) da mesma figura. Tal fato é devido ao maior entrosamento entre as partículas quando elas são irregulares.

¹⁰ “O ângulo de atrito interno é função principalmente da rugosidade ou textura superficial das partículas e do grau de intertravamento ou imbricamento entre as partículas. A rugosidade depende da natureza das partículas e está ligada à mineralogia da rocha mãe. O imbricamento depende, basicamente, da forma dos grãos e da compacidade dos agregados”. (FARIAS e PALMEIRA, 2010, p. 510).

Figura 2.10 - Entrosamento de areias de grãos arredondados e de grãos angulares



Fonte: Pinto (2006, p. 283)

Legenda: (a) grãos arredondados; (b) grãos angulares

Para as chamadas areias finas, a pequena quantidade de grossos não aumenta o entrosamento; enquanto que, para as chamadas areias grossas, a pequena quantidade de finos aumenta o entrosamento. “Então, as areias predominantemente grossas tendem a ser bem graduadas, enquanto as areias predominantemente finas tendem a ser mal graduadas (PINTO, 2006, p. 283).

2.3.3 Água e molhamento das superfícies

No instante em que a água entra em contato com os demais constituintes de uma argamassa, tem início uma série de processos físicos e químicos na mistura. Em um primeiro momento, a água que entra em contato com o cimento e/ou a cal vai formar a pasta, permitindo o contato mais íntimo entre a massa de agregado miúdo e o(s) aglomerante(s), formando a argamassa.

A reologia e a trabalhabilidade são aspectos importantes na confecção de argamassas. Para Carasek (2010, p. 905), trabalhabilidade é a “propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea”. Essa autora enumera várias propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas, e que já foram relacionadas na seção 2.2: a) *consistência*; b) *plasticidade*; c) *retenção de água e de consistência*; d) *coesão*; e) *exsudação*; f) *densidade de massa*; g) *adesão inicial*.

Aspectos igualmente importantes envolvendo a água são os fenômenos de adesão e molhabilidade. Frequentemente, os materiais são estudados sem que se considerem suas fronteiras, habitualmente chamadas de interfaces ou superfícies. Ocorre que as superfícies têm sempre um comportamento diferente daquele que é apresentado pelo interior do volume considerado. Enquanto as unidades estruturais internas do sólido tendem a ter o maior número admissível de vizinhos e interatuam com seus vizinhos em todas as direções, o mesmo não ocorre com as unidades de superfície. Por exemplo, quando uma gota de líquido entra em contato com um material sólido, tenderá a tomar uma forma esférica de modo a minimizar sua área superficial e, em decorrência, sua energia de superfície. Então, a tensão superficial pode ser denominada como a tendência natural de tornar mínima a energia de superfície pela minimização da área superficial (AGUILAR, 2010, p. 183-187).

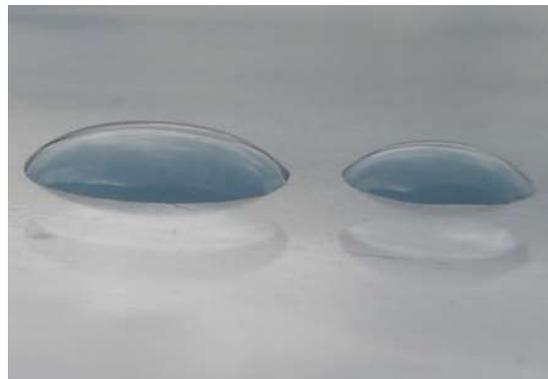
Quando um líquido entra em contato com um sólido, pode espalhar-se total ou parcialmente ao longo da superfície sólida, ou até pode não se espalhar. “De acordo com o princípio da minimização de energia em processos espontâneos, quanto menor a tensão superficial entre o líquido e o sólido, maior será a facilidade de espalhamento do líquido; em outras palavras, o sólido será molhado pelo líquido” (AGUILAR, 2010, p. 195).

A Figura 2.11 traz exemplos de tensão superficial entre algumas superfícies e a água, em que se pode observar o ângulo que as gotas de água formam.

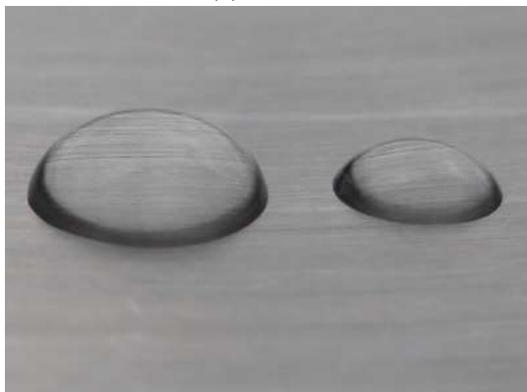
Figura 2.11 – A água e os diferentes ângulos de contato com as superfícies



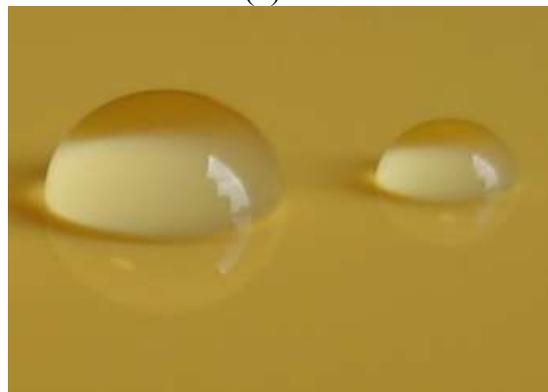
(a) Cerâmica



(b) Vidro



(c) Aço inox



(d) Plástico



(e) Teflon

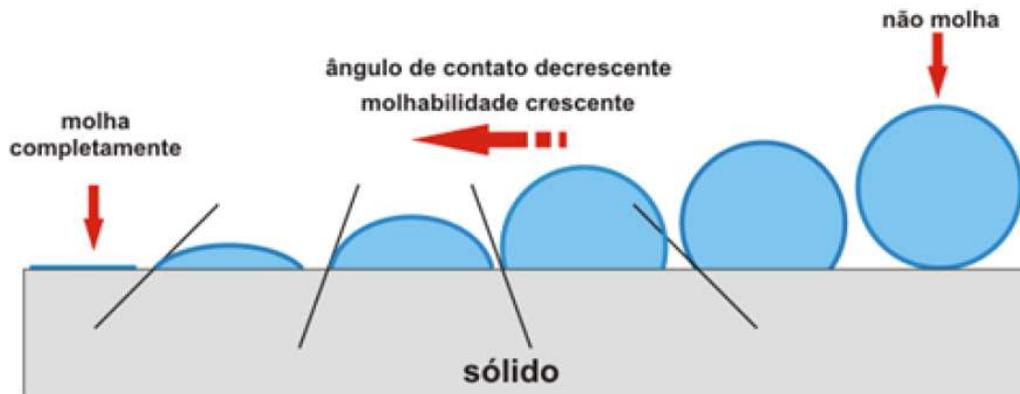


(f) Folha

Fonte: Coletânea de imagens do autor

A Figura 2.12 traz desenho esquemático das características de molhabilidade de superfícies sólidas por um líquido, evidenciando a importância do ângulo de contato entre as superfícies.

Figura 2.12 - Relação do ângulo de contato com a molhabilidade das superfícies



Fonte: Alhanati (2013) apud Stolz (2015, p. 31)

Dentro dessa perspectiva, é necessária a definição de dois conceitos fundamentais: a *adesão*, que vai envolver interações de curta distância de elétrons em escala atômica, e a *molhabilidade*, expressa em termos do trabalho de adesão termodinâmico, que representa a adesão física resultante de forças de dispersão intermoleculares, altamente localizadas entre as diferentes fases (LEVY NETO; PARDINI, 2006, p. 151).

Quando nos referimos ao deslocamento do ar em uma superfície sólida ou líquida pela água ou outra solução aquosa, pode-se aplicar o termo *molhamento*. Segundo Rosen¹¹ (1978), citado por Stolz (2015, p. 28), os tipos de molhamento podem ser divididos em três: por espalhamento, por adesão e por imersão. No molhamento por espalhamento, um líquido em contato com um substrato se espalha e expulsa outro fluido, como o ar, da superfície. No molhamento por adesão, um líquido que, inicialmente, não estava em contato com o substrato passa a fazer contato e adere a ele pela ação de uma *força propulsora* dependente das tensões sólido/ar, líquido/ar e sólido/líquido. No molhamento por imersão, um substrato que inicialmente não estava em contato com um líquido é imerso completamente pelo líquido.

Moreno Júnior e Selmo (2007), citados por Stolz (2015, p. 33), avaliam que maior será a capacidade de molhar o substrato se menor for o valor de tensão superficial e a viscosidade de uma pasta aglomerante. Esse fato reduz o ângulo de contato entre as superfícies e majora o contato físico. Essas forças estão relacionadas à reologia da argamassa e à porosidade do substrato. Porém, Stolz (2015, p. 33) alerta que uma argamassa com viscosidade muito baixa não é desejável, uma vez que pode escorrer, não gerando adesão e aderência no sistema.

As observações contidas nesta seção evidenciam a importância da água e dos

¹¹ ROSEN, M. J. Surfactants and interfacial phenomena. New York: John Wiley, 1978.

fenômenos de molhamento das superfícies. Relacionando com o tema da pesquisa, que trata do estudo da interface entre blocos cerâmicos e argamassas de chapisco, a água, aliada às características do agregado, do aglomerante e aditivos, ajuda a regular a fluidez e consistência da argamassa no estado fresco e, conseqüentemente, influi na aderência e desempenho do chapisco no estado endurecido.

2.3.4 Dosagem das argamassas

Para Bonin (2009, p. 22), dosagem de uma argamassa é a “seleção das proporções relativas entre os materiais constituintes da argamassa de modo a fazer o uso mais eficiente dos materiais disponíveis e produzir as propriedades requeridas”. Traço, explica esse autor, é a “expressão numérica da proporção em massa ou em volume entre os materiais constituintes da argamassa, geralmente referida ao aglomerante principal presente na mistura”. O autor citado alerta que o traço deve identificar expressamente se a relação apresentada se refere à massa ou ao volume dos materiais.

Argamassas podem ser classificadas, quanto ao volume de pasta, em *argamassa gorda* e *argamassa magra*. Segundo Recena (2011, p. 77), o “conhecimento desta classificação é importante por estar relacionado com uma linguagem comumente empregada em obra que usa as expressões bem conhecidas *argamassa gorda* e *argamassa magra*”. A existência desses dois tipos de argamassa pressupõe, então, a existência de um terceiro tipo intermediário entre eles, a *argamassa cheia*.

Recena (2011) assinala que as recomendações existentes na bibliografia indicam ser apropriado um traço em volume de argamassa de 1:3 (dm³), aglomerante e agregado. Para demonstrar essa premissa, o autor apresenta um exemplo de dosagem em que, após os cálculos e considerações técnicas, o volume de pasta necessário proporciona uma *argamassa cheia* (ou seja, a proporção fica próxima de 1:3). Explicando, então, o motivo de ser clássico, inclusive com orientação em normas, o uso de traços, em volume, de argamassas de uma parte de aglomerante para aproximadamente três partes de areia. A conclusão do autor citado é de que uma argamassa será cheia, com traço em volume de 1:3, aproximadamente, quando o volume de pasta for o suficiente para preencher os vazios existentes entre os grãos do agregado e, por conseguinte, uma argamassa será gorda quando oferecer um excesso de pasta frente aos vazios de agregado. Por conseguinte, uma argamassa magra será de difícil trabalhabilidade e consistência.

Por isso, o traço de chapisco 1:3 (cimento:areia), em volume, é dos mais utilizados, por a pasta envolver de maneira mais uniforme os agregados miúdos.

2.4 SUBSTRATOS

Quando colocados em contato, tanto a argamassa como o substrato têm suas características alteradas. Segundo Bauer (2005, p. 8) os substratos podem ser classificados de diferentes formas, sendo as mais comuns:

- a) pela natureza dos materiais constituintes: alvenaria de blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular, elementos estruturais em concreto (pilares, vigas e lajes);
- b) pela função: elementos de vedação, estruturais;
- c) por suas características físicas: textura, porosidade, capacidade de sucção de água (absorção capilar), propriedades mecânicas.

As propriedades mecânicas do substrato, especialmente dos elementos que compõem a alvenaria e a estrutura, são fundamentais, uma vez que interferem nas características de suporte e ancoragem para os sistemas de revestimento. É comum encontrar na literatura especializada menções à necessidade de a resistência do substrato ser superior à resistência do sistema de revestimento. No entanto, não se pode raciocinar somente do ponto de vista de resistências mecânicas, devendo-se otimizar também características de deformabilidade do sistema de revestimento, promovendo-se aderência adequada ao conjunto (BAUER, 2005, p. 9).

Quanto aos aspectos superficiais do substrato, principalmente nos momentos iniciais pós-aplicação, a porosidade é fundamental por influenciar no transporte de água (sucção da água da argamassa). A textura do substrato (rugosidade) é importante no desenvolvimento da aderência. As rugosidades são pontos de fixação e suporte da argamassa aplicada, podendo auxiliar na aderência. Substratos rugosos, por sua vez, possuem maior área de contato potencial com a argamassa aplicada, aprimorando potencialmente as condições de aderência. Em regra, substratos lisos levam a valores de aderência menores, devendo-se sempre preparar as superfícies com o intuito de torná-las adequadamente rugosas (BAUER, 2005, p. 9).

Para garantir melhor aderência, algumas medidas são necessárias: a remoção de resíduos, a correção de irregularidade, a remoção de incrustações metálicas e o preenchimento

de furos, rasgos e depressões localizadas, a lavagem e o pré-umedecimento. Além do mais, com a finalidade de melhorar e adaptar o substrato, emprega-se frequentemente o chapisco, que visa fornecer ao substrato uma textura apropriadamente rugosa e com porosidade adequada ao desenvolvimento da aderência. A textura rugosa vai atuar ainda nos momentos iniciais pós-aplicação beneficiando o mecanismo de adesão inicial (BAUER, 2005, p. 9).

2.4.1 Substratos cerâmicos

Os materiais cerâmicos abrangem grande número de substâncias naturais e de materiais e produtos industrializados empregados na construção civil. Dentre os materiais naturais, podem ser citadas as argilas e as rochas. Já os materiais e componentes industrializados incluem os tijolos, os blocos e as telhas cerâmicas, os aglomerantes minerais (cimento Portland, cal e gesso), bem como os compósitos com eles fabricados (argamassas e concretos); as peças cerâmicas de revestimento (azulejo, porcelanato, pastilhas e placas cerâmicas em geral para revestimento de parede e piso), as louças sanitárias, os vidros e os materiais refratários (CASCUDO; CARASEK; HASPARYK, 2010, p. 326).

“Tijolos cerâmicos são feitos há pelo menos 10 mil anos, talvez 12 mil. Tijolos secos ao sol eram utilizados na Babilônia, Egito, Espanha, América do Sul, sudoeste norte-americano e outros lugares” (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2012, p. 26).

Os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos e não metálicos. Em sua maioria, são compostos formados entre elementos metálicos e não metálicos, para os quais as ligações interatômicas ou são totalmente iônicas ou são predominantemente iônicas, mas com alguma natureza covalente. “O termo *cerâmica* vem da palavra grega *keramikos*, que significa ‘matéria queimada’, indicando que as propriedades desejáveis desses materiais são obtidas normalmente por meio de um processo de tratamento térmico a alta temperatura chamada cozimento” (CALLISTER; RETHWISCH, 2012, p. 386).

“Os materiais cerâmicos podem ser definidos como sendo materiais formados por compostos de elementos metálicos (Al, Na, K, Mg, Ca, Si, etc.) e um dos cinco seguintes elementos não-metálicos: O, S, N, C e P. Esses elementos são unidos por ligações fortes iônicas e/ou covalentes” (CASCUDO; CARASEK; HASPARYK, 2010, p. 325).

“Cerâmicas tradicionais são feitas a partir de três componentes básicos: argila, sílica (sílex) e feldspato. A argila consiste principalmente de silicatos hidratados de alumínio ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) com pequenas quantidades de outros óxidos como TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O e K_2O ”. Nas cerâmicas tradicionais, a argila confere propriedades que facilitam o trato

com o material antes do cozimento de endurecimento, e constitui a maior parte do material que compõe o corpo. A sílica (SiO_2), também chamada de sílex ou quartzo, possui uma alta temperatura de fusão e é o componente refratário das cerâmicas tradicionais. O feldspato de potassa (potássio) une os componentes refratários, pois possui a composição básica $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, apresentando uma baixa temperatura de fusão e criando o vidro quando a mistura cerâmica é cozida. Tijolos de construção, tubulações de esgoto, telhas de dreno, telhas para telhado e porcelana para piso são produtos de argila estrutural, feitos de argila natural, que contêm todos os três componentes básicos (SMITH; HASHEMI, 2012, p. 424).

“Os silicatos são materiais compostos principalmente por silício e oxigênio, os dois elementos mais abundantes na crosta terrestre; conseqüentemente, a maior parte dos solos, rochas, argilas e areia enquadram-se na classificação de silicatos” (CALLISTER; RETHWISCH, 2012, p. 396).

O estudo do silício e do oxigênio, que juntos somam cerca de 75% dos elementos químicos da crosta terrestre, se justifica pela abundância desses materiais na natureza e pelo largo emprego na construção civil. O cimento Portland é um exemplo clássico de material de construção no qual estão presentes os silicatos, principais responsáveis pela resistência mecânica de compósitos preparados com o cimento. Várias rochas naturais, utilizadas como agregados para concretos, são também compostas por silicatos, como, por exemplo, o basalto, o gnaisse e o quartzito. Exemplos de materiais industrializados (artificiais) à base de silicatos, assim como o cimento Portland, são os tijolos, as telhas e os vidros (CASCUDO; CARASEK; HASPARYK, 2010, p. 330).

As peças cerâmicas de revestimento, bem como os tijolos e blocos cerâmicos, possuem como principais constituintes SiO_2 e Al_2O_3 (cerca de 70 a 90%) e menores quantidades de outros compostos como CaO , Fe_2O_3 , K_2O e Na_2O . As propriedades dos materiais cerâmicos dependem de suas estruturas. Entre as principais características das cerâmicas, podem ser citadas: a alta estabilidade térmica, a boa resistência à compressão e ao cisalhamento, a fratura do tipo frágil, além da baixa condutividade elétrica (CASCUDO; CARASEK; HASPARYK, 2010, p. 345-347).

Van Vlack¹² (1973), citado por Cascudo, Carasek e Hasparyk (2010, p. 349), relata que a ausência praticamente total de escorregamento nos materiais cerâmicos leva às seguintes conseqüências:

¹² VAN VLACK, L. H. Propriedades dos materiais cerâmicos; tradução de Cid Silveira e Shiroyuki Oniki. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

- a) esses materiais não apresentam comportamento dúctil, ou seja, são frágeis;
- b) podem ser solicitados por tensões de compressão muito elevadas, desde que não se tenham poros presentes;
- c) existe a possibilidade teórica de se ter um limite de resistência à tração elevado.

2.5 CAMADAS DE REVESTIMENTO

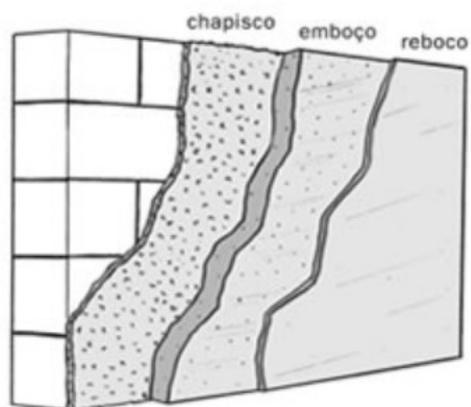
Os revestimentos de argamassa podem ser constituídos por uma ou mais camadas, ou seja: emboço e reboco, e camada única. A Tabela 2.6, extraída da NBR 13749 (ABNT, 2013b) informa as espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos. Deve-se notar que as espessuras dos revestimentos, tanto à menor como à maior do que as especificadas, podem causar patologias. Dessa maneira, a referida norma alerta que, “quando for necessário empregar revestimento com espessura superior, devem ser tomados cuidados especiais de forma a garantir a aderência do revestimento”. A Figura 2.13 indica o subsistema de revestimento de uma parede em alvenaria, com as camadas de argamassa.

Tabela 2.6 - Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura (e) mm
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013b, p. 2)

Figura 2.13 - Camadas de revestimento de uma parede em alvenaria.



Fonte: ABCP (2015, p. 4)

2.5.1 Chapisco

Pelo fato de não possuir realmente espessura definida e não ser homogêneo, o chapisco nem sempre é entendido como uma camada. É a etapa de preparo da base com o objetivo de torná-la mais rugosa e homogênea à absorção de água, uma vez que os elementos estruturais e a alvenaria possuem capacidade de absorção bastante diferenciadas (ABCP, 2015).

“A espessura média deste tratamento situa-se próxima a 5 mm, dependendo das características granulométricas da areia empregada. Não se recomenda usar espessuras muito maiores do que a mencionada, nem promover uma textura excessivamente rugosa” (BAUER, 2005, p. 10).

A fim de se evitar diferentes tempos de sarrafeamento para a argamassa, verifica-se a necessidade de realizar a uniformização da absorção da interface estrutura de concreto/alvenaria. Essa uniformização deve ser realizada aplicando-se um chapisco fechado sobre a estrutura e a alvenaria (BAUER; ALVES, 2015, p. 41).

A Figura 2.14 apresenta diferentes tipos de substratos, em uma mesma parede, como blocos cerâmicos, blocos sílico-calcário, concreto e juntas de argamassa, que, por serem de naturezas diferentes, possuem distintas capacidades de absorção. Deverão receber chapisco para evitar diferentes tempos de sarrafeamento e para uniformizar o acabamento do emboço e reboco.

Figura 2.14 - Substratos de diferentes naturezas que serão revestidos com argamassa.



Fonte: Coletânea de imagens do autor

O chapisco, componente do sistema de revestimento, pode ser entendido como uma “camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento” (CARASEK, 2010, p. 900). Deve-se destacar que, de acordo com o modo de aplicação, diferentes composições e consistências são necessárias. De acordo com o modo de aplicação, pode ser do tipo lançado, rolado, com espátula dentada ou projetado. Cada situação, então, vai exigir diferentes dosagens e consistências.

Substratos com sucção muito baixa, como é o caso dos elementos estruturais em concreto, necessitam do chapisco como elemento incrementador da sucção de água da argamassa, para desenvolver adequada aderência entre argamassa e substrato. O fato é exemplificado na rotina de obras pela obrigatoriedade do chapisco sobre elementos estruturais. Substratos de elevadíssima sucção, como por exemplo as alvenarias de concreto celular, têm no chapisco um elemento que diminui a intensidade do transporte de água das argamassas para o substrato (BAUER, 2005, p. 9).

Como um dos elementos de preparação de base, o chapisco deve ter, necessariamente, aderência ao substrato. Isso se consegue pela formulação da dosagem, onde se emprega uma argamassa de expressivo consumo de cimento (traço 1:3 em volume, usualmente). Habitualmente, essa dosagem costuma fornecer valores aceitáveis de aderência, embora o resultado não dependa só da argamassa de chapisco, mas também de outros fatores como a natureza do substrato (BAUER, 2005, p. 9).

Quanto à aplicação do chapisco ao substrato, há duas tipologias clássicas: *chapisco aberto* e *chapisco fechado*. A tipologia de *chapisco aberto* consiste em se incrementar, de uma forma geral, a textura do substrato mais rugoso. Para o caso do *chapisco fechado*, obtém-se um aspecto uniforme e rugoso, onde não se visualiza o substrato. Se a intenção é somente aumentar a rugosidade do substrato, sem se atuar sobre o controle do transporte de água da argamassa aplicada para o substrato, a opção é empregar o chapisco aberto. Caso se necessite do controle da absorção, o emprego lógico é o do chapisco fechado, por exemplo, sobre elementos estruturais em concreto (BAUER, 2005, p. 10).

Os tipos de chapisco mais comuns são: o tradicional, lançado com colher de pedreiro; o industrializado, aplicado com espátula dentada; o rolado, aplicado com rolo tipo para textura. Ainda, pode-se acrescentar o chapisco projetado, que é lançado com equipamento mecânico.

Chapisco tradicional ou convencional: aplicado com uma colher de pedreiro, consiste no lançamento vigoroso de uma argamassa fluida sobre a base. Deve proporcionar uma película rugosa, aderente e resistente. Esta argamassa fluida é produzida com cimento e areia grossa em proporções que variam de 1:3 a 1:5, em função das características do agregado utilizado e da superfície a ser chapiscada. O emprego de aditivos promotores de aderência é bastante comum, cujo uso deve ser muito bem especificado e controlado. O chapisco tradicional pode também ser aplicado por projeção sobre toda a fachada, inclusive sobre a estrutura. Nessa situação, o traço sofre algumas modificações, como por exemplo no teor de aditivo (ABCP, 2015, p. 65).

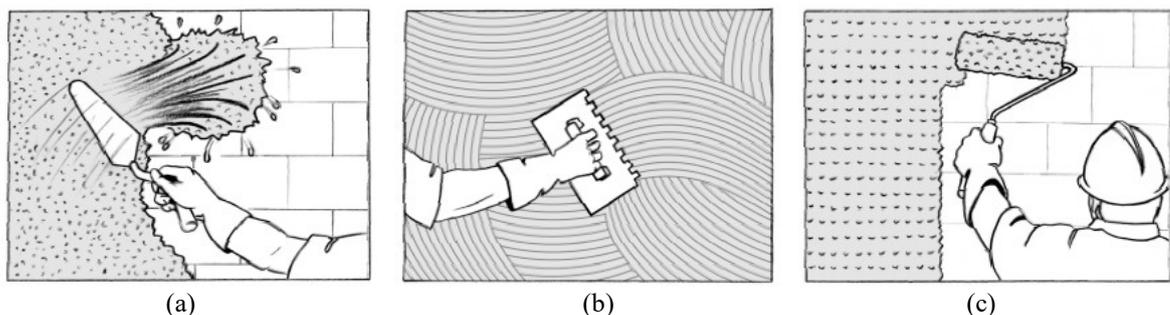
Chapisco do tipo industrializado (desempenado): preparado com uma argamassa industrializada específica para este fim, sendo necessário acrescentar somente água. É aplicado usualmente sobre a estrutura de concreto, com desempenadeira denteada (ABCP, 2015, p. 65).

Chapisco rolado: elaborado com argamassa fluida obtida através da mistura de cimento e areia, com adição de água e aditivo, habitualmente de base PVA. Pode ser aplicado tanto na alvenaria como na estrutura, usando-se rolo para textura acrílica. A parte líquida deve ser misturada aos sólidos até obter consistência de “caldo”. É mais usado em revestimentos internos, sendo seu uso em fachadas pouco comum (ABCP, 2015, p. 65).

Chapisco projetado: aplicado com equipamento mecânico, a pressão de aplicação mecanizada pode ser uniforme e fornecer resultados homogêneos e em grande escala de produção.

A Figura 2.15 ilustra os tipos de chapisco tradicional, desempenado e rolado.

Figura 2.15 - Tipos de chapisco: (a) Tradicional; (b) Desempenado; (c) Rolado



O uso do chapisco é obrigatório para revestimentos externos, no entanto, convém lembrar que a característica de resistência de aderência é condicionada a outros fatores, tais como características dos materiais, [clima], mão de obra e execução, não somente da natureza do bloco e do tipo de tratamento realizado sobre a base (PAES; GONÇALVES, 2005, p. 44).

2.5.2 Procedimentos de execução

Baía e Sabbatini (2008, p. 60) assinalam que “A execução dos revestimentos de argamassa envolve uma série de etapas, com atividades próprias e procedimentos específicos, que devem estar bem definidos para que seja alcançado um maior nível de racionalização das atividades de execução.” Segundo esses autores, as etapas gerais da execução do revestimento de argamassa são: preparação da base; definição do plano de revestimento; aplicação da argamassa; acabamento das camadas e a execução dos detalhes construtivos. Deve-se ainda ressaltar que o preparo da base inclui a limpeza, com a retirada de poeira, óleo e material solto, bem como molhar (ou não) o substrato, e a aplicação do chapisco, de forma a providenciar os efeitos já relacionados na seção anterior.

2.6 MECANISMOS DE ADESÃO E ADERÊNCIA

Entendida como a principal propriedade que deve ter um sistema de revestimento, a aderência de uma argamassa ao substrato depende de vários mecanismos, dentre eles, aqueles que se originam pela aplicação do chapisco.

Para Levy Neto e Pardini (2006, p. 147), “O termo adesão é geralmente utilizado para se referir à atração entre substâncias, sendo, portanto, uma manifestação de forças atrativas entre os átomos e/ou superfícies”. Esses autores comentam que, em contraste com as moléculas no interior de um líquido ou de um sólido, as moléculas na superfície são influenciadas por forças moleculares desbalanceadas, e, portanto, possuem energia adicional.

Os momentos após o lançamento da argamassa sobre o substrato são divididos conforme os mecanismos que ocorrem. “Ao ser lançada a argamassa sobre o substrato ela deve-se fixar imediatamente à superfície do mesmo. A propriedade que coordena esta situação é conhecida como adesão inicial e o fenômeno corresponde aos instantes iniciais pós-aplicação”, informa Bauer (2005, p. 13). À medida que o tempo passa, a argamassa aplicada

perde água em grande quantidade para o substrato (desde que ele tenha a sucção necessária e adequada), perdendo suas características de plasticidade. Neste momento, a argamassa continua fixa ao substrato e está apta a sofrer as manipulações pertinentes ao sarrafeamento. Nesta condição, a propriedade relacionada à fixação da argamassa é conhecida como adesão. À medida que o processo evolui, face à hidratação do cimento e contribuição dos aglomerantes em geral, desenvolve-se a aderência, conclui o autor citado.

Segundo Carasek (2010, p. 917), o “termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão de contato entre a argamassa e uma base”. Para essa autora, a base, ou substrato, geralmente é representada não só pela alvenaria, a qual pode ser de tijolos ou blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular autoclavado, blocos sílico-calcários etc., como também pela estrutura de concreto moldado *in loco*. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende dos dois materiais.

Didaticamente, pode-se dizer que a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida) (CARASEK, 2010, p. 917).

A Figura 2.16 traz esquema que aponta alguns dos principais fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas, a saber: o substrato, a argamassa, as técnicas de aplicação, as condições climáticas e a idade. No que se refere à argamassa, destacam-se os materiais empregados, a reologia e a retenção de água. Em relação ao substrato, destacam-se a sucção de água, a rugosidade, a porosidade e a umidade. As técnicas de aplicação são importantes no que diz respeito à mão de obra, à energia de aplicação, ao ferramental e aos equipamentos utilizados. Devido às condições climáticas, destacam-se as condições de aplicação, a cura, os cuidados na manutenção, a temperatura, a umidade relativa e o vento. Fatores devidos à idade dos revestimentos também são importantes, devendo ser citados o grau de hidratação do cimento e a carbonatação.

Figura 2.16 - Fatores que exercem influência na aderência



Fonte: Carasek et al. (2014, p. 86), tradução nossa

Segundo Bauer (2005, p. 13) a aderência se desenvolve através da ancoragem mecânica da argamassa com o substrato através das rugosidades e textura da interface, também pela condição de atrito oferecida pelos compostos hidratados dos aglomerantes que adentram na porosidade do substrato. O autor expõe ser fundamental que o substrato tenha alguma capacidade de sucção de água, principalmente para promover um caminho facilitado para a condução dos compostos em hidratação do cimento. Substratos com sucção muito baixa promovem aderência baixa, explica. A rugosidade da interface vai incrementar os valores de aderência alcançados pela hidratação no interior do substrato.

Embora importante, a aderência não é o único atributo a se considerar. Ela aumenta com o consumo de cimento da argamassa (dentre vários fatores), mas isso pode gerar uma situação de conflito, pois, quando se aumenta a aderência, o risco de aumentar a fissuração potencial também aumenta (BAUER, 2005, p.14). Esse autor sugere várias estratégias para resolver esses conflitos: trabalhar com o desenvolvimento de argamassas capazes de absorver deformações e que tenham boa capacidade de aderência; trabalhar com disposição de juntas; trabalhar com emprego de tela fina.

A NBR 13528 (ABNT, 2010a, p. 1) traz nota onde ressalta que um fator que interfere no comportamento do revestimento é a forma de lançamento da argamassa ao substrato,

principalmente no que se refere ao mecanismo de aderência. As argamassas projetadas mecanicamente podem apresentar valores de resistência de aderência superiores e coeficiente de variação inferior, quando comparadas às argamassas aplicadas manualmente; isto porque a projeção mecânica proporciona maior superfície de contato e compacidade à aplicação, reduzindo a porosidade e permeabilidade dos revestimentos, informa a norma.

Em função do exposto acima, quando nos valem os princípios da Física, é possível tirar algumas lições a respeito da aplicação manual e da aplicação mecânica de uma argamassa.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2013, p. 216), o *momento linear* de uma partícula é uma grandeza vetorial p definida através da equação $p = m v$, onde m é a massa e v a velocidade da partícula. Para mudar o momento linear do corpo, podemos, por exemplo, arremessá-lo de encontro a um obstáculo (o substrato), ocorrendo uma colisão. Uma medida tanto da intensidade quanto da duração da força da colisão é chamada de *impulso* da colisão e representado pelo símbolo J . Assim, a variação do momento de um objeto é igual ao impulso exercido sobre o objeto:

$$\Delta p = J \quad (\text{Equação 2.1})$$

Esses autores explicam que nas colisões entre corpos comuns, que acontecem no dia a dia, “como a colisão de dois carros ou de uma bola com um taco, parte da energia é transferida da energia cinética para outras formas de energia, como energia térmica e energia sonora. Isso significa que a energia cinética não é conservada”. Esse tipo de colisão é chamado de *colisão inelástica*, em contraponto a uma colisão elástica.

Relacionando ao nosso estudo, quando a argamassa é arremessada ao substrato, o momento p que possuem as partículas é igual a $m v$, como descrito. Esse momento, que irá variar, através do impulso, vai proporcionar a transformação da energia cinética em outros tipos de energia, como energia sonora, em calor e deformação. Não devendo ser desconsiderada a parcela que é refletida (ricocheteada). Além disso, as colisões da argamassa no substrato vão proporcionar que a pasta de cimento, em hidratação nesse momento, entre em contato mais íntimo com a superfície do substrato e, que vá um pouco além, penetrando nos poros do substrato, auxiliada pela capacidade de sucção do substrato, ou que se agarre ou se ampare nas saliências e reentrâncias deste.

Vale lembrar que o momento linear, em estudo, é uma grandeza vetorial. Isso quer dizer que, se o pedreiro variar a intensidade da força, mudar a direção e o sentido do

lançamento da argamassa, a qualidade do sistema muda. Fato corrente, pode-se admitir que o operador humano vai, ao longo da jornada, gastando, variando sua energia. Isso evidencia que um sistema mecanizado de projeção de argamassa, se mantido constante, pode ser mais eficiente e uniforme do que o trabalho braçal.

A NBR 13528 (ABNT, 2010a) prescreve o método de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa; e a NBR 13749 (ABNT, 2013) fixa as condições exigíveis para o seu recebimento, incluindo aí os limites mínimos de resultado desse ensaio. A Tabela 2.7 mostra os limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única de revestimentos de argamassa, de acordo com as características estipuladas na NBR 13749 (ABNT, 2013b). Notar que a norma não estabelece limites de resistência de aderência à tração para o chapisco.

Tabela 2.7 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única

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

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013b, p. 3)

Bauer e Alves (2005, p. 41) apontam que “a resistência de aderência à tração de um revestimento, geralmente, é majorada quando se tem um aumento do contato entre a argamassa aplicada e o substrato”.

A resistência de aderência depende ainda do nível de hidratação do cimento, da natureza da microestrutura da interface, e da continuidade da aderência para transferir as cargas. O tempo de hidratação, as condições de cura e a relação água/cimento (a/c) afetam o nível de hidratação do cimento. A composição da argamassa e as características do substrato afetarão a microestrutura da interface e a continuidade da aderência. Segundo Lawrence e Cao¹³ (1988) citados por Paes e Gonçalves (2005, p. 50) a resistência de aderência resultante será função de todas essas variáveis.

¹³ LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. An experimental study of the interface brick and mortar. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 4TH, Los Angeles, 1987. Proceedings. Los Angeles, G. C. Hartanol & J. Kaviotis, 1987, p. 48:1-14.

Cabe acrescentar que igualmente importante são as condições a que o sistema de revestimento estará submetido durante sua existência e utilização, devendo ser levada em conta, então, uma manutenção adequada do revestimento da edificação, de forma a permitir bom desempenho, durabilidade e vida útil conforme o propósito.

2.7 TRANSPORTE E PERDA DE ÁGUA

Através de sua capacidade de absorção de água, o substrato é o maior responsável pela perda de água da argamassa após aplicação. Características superficiais e de porosidade como: diâmetro, estrutura, volume e distribuição de poros, vão influir diretamente no transporte de água da argamassa. “Tem-se buscado identificar propriedades ou características dos substratos, tais como, absorção de água, rugosidade superficial e outros, que modelem seu comportamento com relação às características de desempenho dos revestimentos, em especial, na adesão e na resistência de aderência” (PAES; GONÇALVES, 2005, p. 42). Esses autores relatam que o ensaio mais difundido para a avaliação das características de absorção de *água livre* dos blocos de alvenaria é determinado pelo método de ensaio da ASTM C – 67 – Initial Rate Absorption¹⁴, conhecido pelas iniciais IRA. Esse método avalia a capacidade de absorção de água de uma face do bloco (seco em estufa a 100°C), imersa em uma profundidade de água padronizada (3 a 5mm), em intervalo de tempo pré-definido (1 minuto) e seu resultado determinado a partir da Equação 2.2:

$$IRA = \frac{m_u - m_s}{A} \times 200 \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde: IRA = Taxa inicial de absorção de água livre (g/200cm²/min);

m_u = massa úmida (g);

m_s = massa seca (g);

A = Área do bloco em contato com a lâmina de água (cm²)

Groot e Larbi¹⁵ (1999), citados por Paes e Gonçalves (2005, p. 43), explicam que a suposta relação entre IRA e a resistência de aderência decorre de que o valor do IRA

¹⁴ AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS. ASTM C-67-92a. Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, 1992.

¹⁵ GROOT, C. J. W. P.; LARBI, J. The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry. Heron, 1999. v.44, n.2. MCGINLEY, W.M. IRA and the flexural bond strength of clay brick masonry.

represente a água que o bloco absorve da argamassa, o que é um suposto indicador de aderência. No entanto, esses autores advertem que valores bastante variados podem ser obtidos para a taxa inicial de absorção de água (IRA), dependendo do tipo de substrato avaliado, além de uma grande variabilidade interna dentro de um único lote de mesmos blocos.

A execução realizada em tempo bastante limitado (1 minuto) não permite avaliar outros aspectos importantes no mecanismo de transporte de água, uma vez que as forças capilares continuam atuando durante um período mais prolongado; assim, a relação do IRA com a resistência de aderência não é consenso, criticam Paes e Gonçalves (2005, p. 43). Para estes autores, “o IRA é medido com relação à água ‘livre’ e não à água ‘restringida’ contida na argamassa fresca. Sobre isso, mostra-se útil considerar as diferenças entre o movimento (transporte) de água livre e restringida”. Na determinação do IRA, a absorção de água livre não é impedida por vários tipos de forças que atuam em uma argamassa: forças capilares, adsorção física pelos componentes da argamassa e, em fase posterior, a ligação química da água devido à evolução na hidratação do aglomerante cimento. Os autores citados concluem que substrato e argamassa devem ser considerados como dois sistemas de poros independentes e a interação entre estes sistemas determina o fluxo de água.

No Brasil, a NBR 15270-3 (ABNT, 2005j) define o método de ensaio para determinação do índice de absorção inicial de água em blocos cerâmicos (AAI).

Paes e Gonçalves (2005, p. 43) comentam que um outro parâmetro, proveniente da modelação do transporte difusional em meio não saturado, é também utilizado para descrever a capacidade de um material absorver e transmitir água por capilaridade. O parâmetro denominado *absortividade* “S” é uma grandeza que estima a velocidade do fluxo de água. A absortividade é calculada pela Equação 2.3:

$$i = S \cdot \sqrt{t} \quad (\text{Equação 2.3})$$

onde: i = volume de água absorvida por unidade de área (g/mm^2);
 S = coeficiente de absorção de água, “sorpitivity” ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$);
 t = tempo.

Segundo Paes e Gonçalves (2005, p. 43), a determinação da absortividade pode ser obtida experimentalmente a partir de várias pesagens em determinados tempos, “construindo-se uma curva a partir da massa de água absorvida $(i) \times \sqrt{t}$, que para intervalos de tempo curtos em relação ao período necessário para a saturação dos blocos, é uma reta”.

De acordo com a sua natureza, os blocos podem possuir poros com diâmetros maiores, em sua maioria, caso, por exemplo, dos blocos de concreto, o que facilita a saturação mais rápida desse componente. Blocos com estrutura porosa mais apurada, que possuem poros de diâmetros menores, caso, por exemplo, dos blocos cerâmicos, absorvem maior quantidade de água, todavia em tempos mais prolongados (PAES; GONÇALVES, 2005, p. 44). “Estas características influenciam diretamente o desempenho do revestimento, uma vez que melhores valores de resistência de aderência são, em geral, atribuídos à penetração de pasta aglomerante no substrato, devido ao caráter essencialmente mecânico destes fenômenos”, concluem os autores citados.

Logo que a argamassa é colocada em contato com um substrato poroso, cujos capilares estão inicialmente vazios, inicia-se a movimentação de água entre argamassa e substrato. Se os raios médios dos capilares da argamassa são superiores aos dos capilares do substrato, o movimento de água se efetua no sentido da argamassa para o substrato. Esta absorção é seguida de um aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa pela ação da depressão dos capilares, traduzindo-se em uma retração quase imediata da camada de argamassa e uma aceleração da precipitação dos hidratos do cimento sucessivos ao crescimento da concentração de íons dissolvidos. A argamassa perde intensamente a trabalhabilidade inicial devido à grande perda de água e ao endurecimento do aglomerante (cimento). Iniciam-se, então, as operações de corte e sarrafeamento (PAES; GONÇALVES, 2005, p. 45).

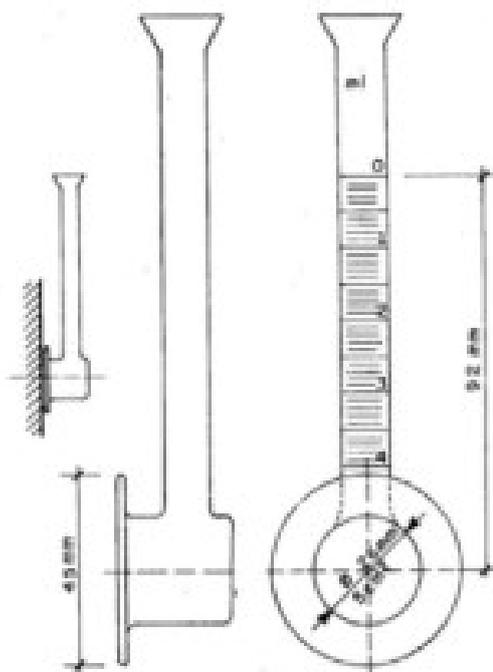
Além do movimento da água em direção ao substrato por absorção capilar, comentam os autores citados, ocorre a evaporação, movimento da água em direção ao meio ambiente que tende a esvaziar os capilares da argamassa progressivamente, até que grande parte da água intersticial seja evaporada. O fluxo de água entre os dois sistemas vai depender, então, do diâmetro dos poros do substrato, do conteúdo de água da argamassa, que é variável ao longo do tempo, das condições de evaporação e do grau de colmatação dos poros da argamassa.

2.7.1 Permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo

Mustelier (2002, p. 78) informa que o ensaio de permeabilidade e absorção de água pelo método do cachimbo foi proposto pelo CSTC/NIT-140 (1982) para avaliar a

permeabilidade nas paredes. Através de um dispositivo de vidro com formato de cachimbo (Figura 2.17) mede-se a absorção de água sob uma pressão inicial de 92 mm de coluna de água, que corresponde à ação estática do vento com velocidade aproximada de 140 km/h. O cachimbo fixado sobre o revestimento é preenchido com água até a referência de nível e registra-se, a cada minuto, a leitura do abaixamento do nível de água em ml, até completar 15 minutos ou até o nível de água atingir a marca de 4 ml. Devem ser realizados, no mínimo, três pontos de ensaio sobre o revestimento.

Figura 2.17 - Cachimbo de vidro conforme especificação do CSTC



Fonte: Poliseni¹⁶ (1986) apud Beato Sobrinho (2008, p. 50).

Aqui, convém distinguir os conceitos de permeabilidade e absorção. Segundo Ollivier e Torrenti (2014, p. 70), “a permeabilidade de um material é definida pela aptidão deste de permitir a passagem de um fluido, quando sujeito a um gradiente de pressão. Trata-se,

¹⁶ Poliseni, A. E. Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede: método do cachimbo. 1986. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

portanto, de uma propriedade macroscópica dos materiais porosos que contêm uma porosidade aberta interconectada”. Absorção, segundo Houaiss, Villar e Franco (2004, p. 6), é o “processo químico em que uma substância é retida no interior de outra”.

Beato Sobrinho (2008, p. 50) informa que deve ser seguido o seguinte procedimento para a realização do método do cachimbo: modelar com as mãos uma porção do mastique e cercar a borda do cachimbo; fixar o cachimbo na parede comprimindo contra a mesma; encher o cachimbo com água potável até a referência nível zero com a ajuda de uma pisseta; com o cronômetro, executar e marcar as leituras quando houver redução do nível de água após os tempos de 5, 10 e 15 minutos.

Segundo Poliseni (1986), citado por Beato Sobrinho (2008, p. 50), as principais aplicações do método são: avaliar a capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, comparando resultados de ensaios adquiridos no laboratório e nas obras; avaliar a durabilidade dos revestimentos de parede relacionado com a sua capacidade impermeabilizante; comparar a eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante entre produtos de revestimentos de paredes que existem no mercado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, é exibido o procedimento geral para a execução dos ensaios, bem como são apresentadas as caracterizações dos materiais empregados e a metodologia utilizada.

Relembrando que o objetivo deste trabalho é estudar a interface entre blocos cerâmicos e argamassas de chapisco, analisar a influência dos aspectos superficiais dos blocos cerâmicos no seu desempenho, bem como investigar de que modo a atuação do conjunto de características das areias empregadas no chapisco interferem no desempenho do sistema substrato/chapisco.

Os materiais necessários para a pesquisa foram todos adquiridos no comércio local de Santa Maria: cimento, areia média, areia grossa, blocos cerâmicos de vedação com faces lisas, blocos cerâmicos de vedação com faces ranhuradas horizontais e blocos cerâmicos de vedação com faces ranhuradas verticais.

3.1 PROCEDIMENTO GERAL

No ambiente do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa de $60\pm 5\%$, foram utilizados três tipos de blocos cerâmicos: bloco de vedação com faces lisas (BL), bloco de vedação com faces ranhuradas horizontais (BH) e bloco de vedação com faces ranhuradas verticais (BV). Estes receberam dois tipos de argamassas de chapisco elaboradas a partir do traço 1:3 (cimento:areia úmida) em volume: argamassa de areia média (AM) e argamassa de areia grossa (AG).

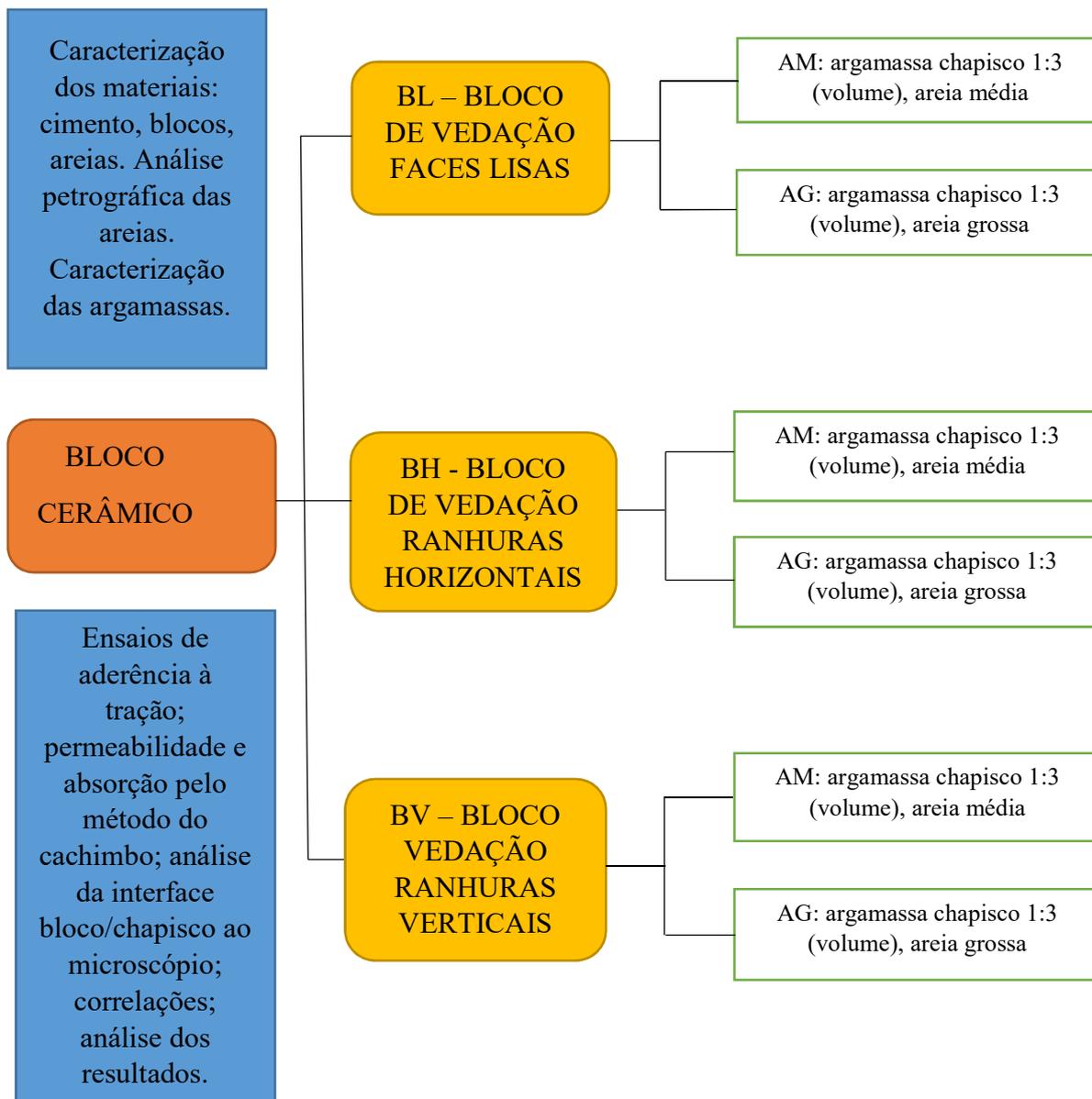
Com os dados de caracterização dos materiais componentes, foram calculados os traços, em massa, dos dois tipos de chapisco, adotando-se a relação água/cimento (a/c) que privilegiou a mesma trabalhabilidade e o mesmo índice de consistência para os dois tipos, devido a ser essa a característica que o pedreiro leva em conta.

Para a aplicação do chapisco, os blocos foram apenas sobrepostos na vertical. As argamassas foram lançadas pelo método tradicional, do tipo lançado com colher de pedreiro e pelo mesmo operador, para evitar variações na mão de obra. Dessa maneira, surgiram seis interfaces substrato/chapisco.

Aplicado o chapisco nos blocos, adotou-se o método de cura por aspersão de água, durante os primeiros sete dias, permanecendo os blocos chapiscados no ambiente do LMCC para os ensaios.

A Figura 3.1 traz o fluxograma do programa experimental, onde se vê a combinação dos blocos e das argamassas de chapisco, bem como os ensaios que foram desenvolvidos.

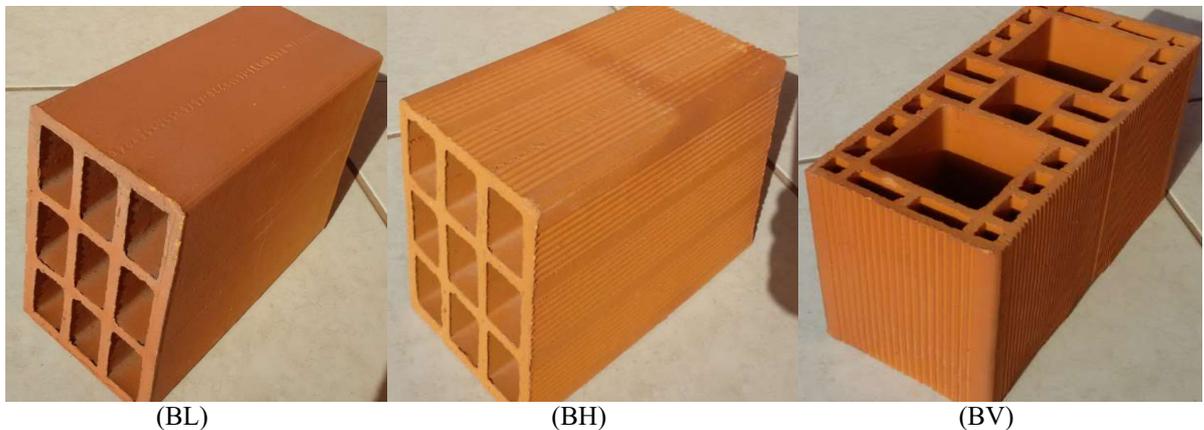
Figura 3.1 - Fluxograma do programa experimental



3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS

Foram utilizados três tipos de blocos cerâmicos como substratos, adquiridos em uma mesma olaria de Santa Maria, tendo em vista que fossem produzidos todos com o mesmo tipo de argila e apresentassem porosidade e absorção semelhantes, de forma a eliminar essas variáveis no presente estudo. O fabricante informou a temperatura de queima dos blocos como sendo de 940-950 °C. As figuras 3.2 e 3.3 mostram os blocos utilizados nos experimentos.

Figura 3.2 - Blocos cerâmicos utilizados



Fonte: Coletânea de imagens do autor

Legenda: BL - bloco cerâmico de vedação com faces lisas, dimensões 11,5 cm x 19 cm x 24 cm;
 BH - bloco cerâmico de vedação com ranhuras horizontais; dimensões 14 cm x 19 cm x 24 cm;
 BV - bloco de vedação com ranhuras verticais, dimensões 14 cm x 19 cm x 29 cm.

Os blocos escolhidos foram limpos, escovados e suas rebarbas retiradas. Foram mantidos na sala de ensaios do LMCC da UFSM para utilização. A Tabela 3.1 indica uma compilação das características geométricas, físicas e mecânicas dos blocos utilizados, obtidas de acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2005i) e NBR 15270-3 (ABNT, 2005j). Os Apêndices A, B e C apresentam os dados obtidos durante os ensaios para os blocos BL, BH e BV, respectivamente.

Figura 3.3 - Aspectos da seção dos blocos cerâmicos utilizados



BL (11,5 cm x 19 cm x 24 cm)



BH (14 cm x 19 cm x 24 cm)



BV (14 cm x 19 cm x 29 cm)

Fonte: Coletânea de imagens do autor

Tabela 3.1 - Características geométricas, físicas e mecânicas dos blocos utilizados

Características	BL – bloco de vedação com faces lisas	BH – bloco de vedação com faces ranhuradas horizontais	BV – bloco de vedação com faces ranhuradas verticais	Tolerância ou exigência
Medidas de fabricação - LxHxC (cm)	11,5x19x24	14x19x24	14x19x29	
Dimensões LxHxC efetivas, média de 13 determinações (cm)	11,5x18,8x23,5 (média de 13 exemplares) *	13,9x18,8x23,7 (média de 13 exemplares)	13,8x18,7x28,4 (média de 13 exemplares) *	± 5 mm para medidas individuais e ± 3 mm para a média
Espessura das paredes externas (mm)	Ok!	Ok!	Ok!	No mínimo 7mm
Espessura dos septos (mm)	Ok!	Ok!	Ok!	No mínimo 6mm
Desvio em relação ao esquadro – D (mm)	Ok!	Ok!	Ok!	No máximo 3mm
Planeza das faces – F (mm)	Ok!	Ok!	Ok!	No máximo 3mm
Índice de absorção d'água – AA (%)	10,1	10,2	9,3	Não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%
	DP = 0,04; CV = 0,43%	DP = 0,18; CV = 1,81%	DP = 0,1; CV = 1%	
Absorção de água inicial – AAI (g/193,55cm ² /min)	12,6	15,4	12,7	Caso for maior do que 30, deve-se molhar os blocos
	DP = 1,7; CV = 13%	DP = 1,0; CV = 7%	DP = 0,6; CV = 5%	
Tensão de compressão – fb (MPa)	4,5 (tem furos na horizontal) – ok!	3,2 (tem furos na horizontal) – ok!	8,4 (tem furos na vertical) – ok!	≥ 1,5MPa para blocos com furos na horizontal; ≥ 3MPa para blocos com furos na vertical
	DP = 0,6; CV = 13%	DP = 0,4; CV = 13%	DP = 2,2; CV = 27%	

Nota: Ensaios segundo a NBR 15270-3 (ABNT, 2005j);
O índice de absorção inicial AAI foi ensaiado na face a ser revestida.

A média do índice de absorção d'água - AA (%) - dos três tipos de blocos ficou em torno de 9,9%, tendo o BL=10,1%, o BH = 10,2%, e o BV = 9,3%. Nota-se que o desvio padrão para esses três valores é de 0,49% e o coeficiente de variação CV = 5%, uma vez que

a intenção inicial era utilizar blocos de mesma procedência e mesmo tipo de queima, para eliminar a variável absorção de água.

O BV apresentou o maior resultado médio de tensão de compressão, com 8,4 MPa, seguido do BL, com 4,5 MPa. O BH teve o menor valor, com 3,2 MPa. Observa-se indícios de uma correspondência inversa entre os valores do índice de absorção d'água (AAI) e a tensão de compressão dos blocos.

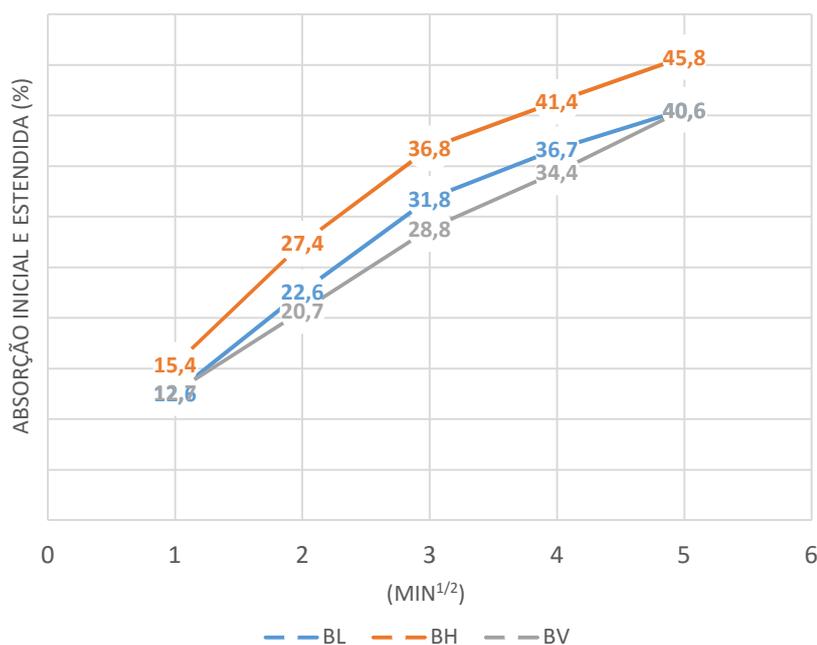
Com o propósito de comparar a evolução da absorção de água inicial dos blocos, o ensaio do índice de absorção de água inicial (AAI) foi estendido aos tempos de 4, 9, 16 e 25 minutos. A tabela 3.2 apresenta os valores obtidos. A Figura 3.4 apresenta graficamente esses resultados.

Tabela 3.2 - Valores do índice de absorção inicial – AAI ($\text{g}/193,55\text{cm}^2/\text{min}$) e estendido

BLOCO	AAI - 1 min	AAI - 4 min	AAI - 9 min	AAI - 16 min	AAI - 25 min
BL	12,6	22,6	31,8	36,7	40,6
BH	15,4	27,4	36,8	41,4	45,8
BV	12,7	20,7	28,8	34,4	40,6

Nota: AAI ($\text{g}/193,55\text{cm}^2/\text{min}$) e estendido para os tempos de 4, 9, 16 e 25 minutos.

Figura 3.4 - Comparação do índice de absorção inicial e estendido dos blocos BL, BH e BV em função da raiz do tempo em minutos



3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

Na confecção das argamassas de chapisco foi empregado o cimento CP-IV32. Sua caracterização foi conforme a NBR 5736 (ABNT, 1991) e está na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Caracterização química, física e mecânica do cimento CP IV-32 utilizado

ENSAIOS QUÍMICOS							
Ensaio	NBR	Unidade	Média	Mínimo	Máximo	Especificação NBR 5736:1991	Fonte dos dados
Perda ao fogo - PF	NM 18:2004	%	2,7	2,6	3,0	≤ 4,5	Fabricante
Óxido de magnésio - MgO	NM 14:2004	%	4,7	4,3	5,0	≤ 6,5	Fabricante
Anidrido sulfúrico - SO ₃	NM 16:2004	%	1,8	1,8	1,9	≤ 4,0	Fabricante
Resíduo insolúvel - RI	NM 15:2004	%	36,6	34,2	37,7	não aplicável	Fabricante
Equivalente alcalino em Na ₂ O - (0,658 x K ₂ O% + Na ₂ O%)	-	%				não aplicável	Não fornecido
Óxido de cálcio livre - CaO (livre)	NM 13:2004					não aplicável	Não fornecido
ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS							
Ensaio	NBR	Unidade	Média	Mínimo	Máximo	Especificação NBR 5736:1991	Fonte dos dados
Área específica (Blaine)	NM 76:1998	cm ² /g	4.798	4.660	5.070	não aplicável	Fabricante
Massa específica	NM 23:2001a	g/cm ³	2,73			não aplicável	Ensaio do autor
Massa unitária	NM 45:2006b	g/cm ³	1,00			não aplicável	Ensaio do autor
Finura - resíduo na peneira 0,075 mm (# 200)	11579:1991	%	0,1	0,1	0,2	≤ 8,0	Fabricante
Finura - resíduo na peneira 0,044 mm (# 325)	12826:1993	%				não aplicável	Não fornecido
Água da pasta de consistência normal	NM 43:2003	%				não aplicável	Não fornecido
Início de pega	NM 65:2003	h:min	6h19	4h55	8h30	≥ 1	Fabricante
Fim de pega	NM 65:2003	h:min	7h45	6h30	9h15	≤ 12	Fabricante
Expansibilidade de Le Chatelier - a quente	11582:1991	mm				≤ 5	Não fornecido
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) - NBR 7215:1991							
Idade (dias)	Mín.	Máx.	Média	Desvio		Especificação NBR 5736:1991	
3	19,6	22,1	20,7	0,75		≥ 10,0	Fabricante
7	23	26,7	24,6	1,04		≥ 20,0	Fabricante
28			39,9			≥ 32,0	Fabricante

A massa específica do cimento foi determinada através do ensaio definido pela NBR NM 23 (ABNT, 2001a), por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier; e a sua massa unitária através do método indicado na NBR NM 45 (ABNT, 2006b). Os demais índices foram fornecidos pelo fabricante do cimento.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

Na confecção das argamassas de chapisco foram utilizados dois tipos de agregados miúdos: areia média e areia grossa, originárias do leito de rios e obtidas no mercado de Santa Maria/RS. O fornecedor informou que a areia média é proveniente do Passo do Arenal, próximo à BR-392, km 343, Santa Maria/RS; e que a areia grossa vem do Passo da Tunas, Restinga Seca/RS. Inicialmente, as areias foram passadas por uma peneira grossa para a retirada de detritos; após, foram lavadas e secadas, em estufa, por 24 horas, a 100 °C. A caracterização física dos agregados miúdos foi feita de acordo com o seguinte:

- a) composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica: NBR NM 248 (ABNT, 2003);
- b) coeficiente de inchamento médio e umidade crítica: NBR 6467 (ABNT, 2006a);
- c) pesquisa sobre limites da distribuição granulométrica: NBR 7211 (ABNT, 2009a) – especificação de agregados para concreto e BS 1199;
- d) absorção de água: NBR NM 30 (ABNT, 2001c);
- e) massa unitária e índice de volume de vazios: NBR NM 45 (ABNT, 2006b);
- f) massa específica e massa específica aparente: NBR NM 52 (ABNT, 2009c);
- g) análise petrográfica de agregado miúdo para concreto: NBR 7389-1 (ABNT, 2009b).

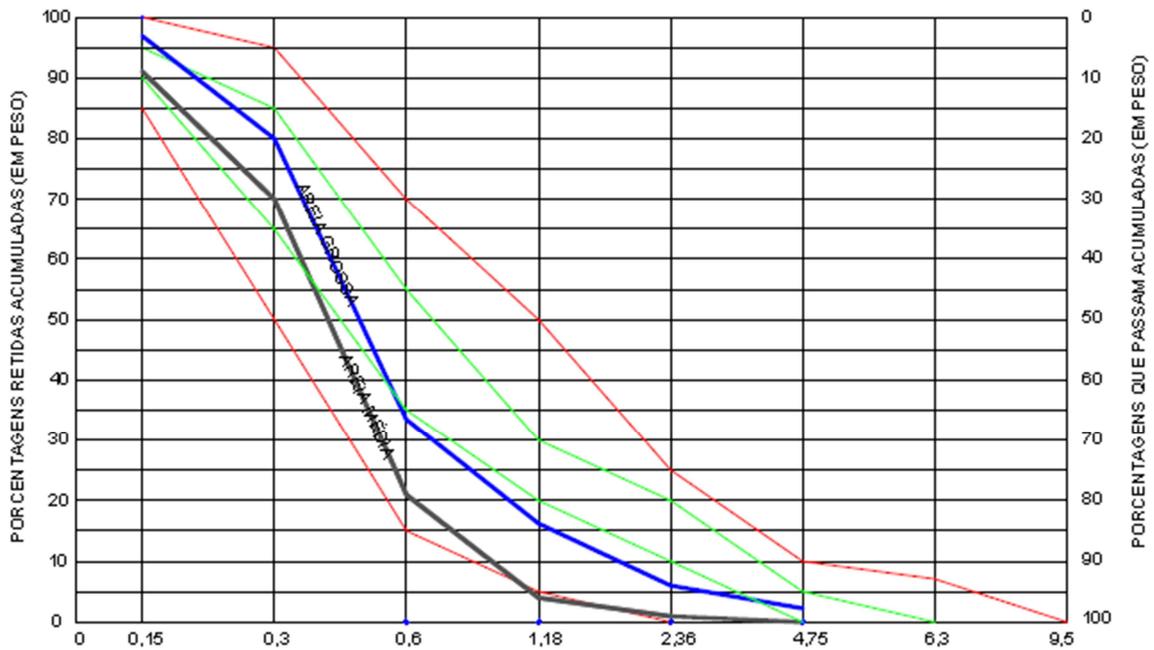
A seguir, são apresentados os resultados da análise granulométrica e do coeficiente de inchamento para as duas areias. A Tabela 3.4 traz as porcentagens retidas acumuladas, bem como os limites da distribuição granulométrica para os agregados miúdos estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009a). A Figura 3.5 traduz esses resultados nos gráficos das curvas granulométricas.

Tabela 3.4 - Porcentagens retidas acumuladas das areias média e grossa e as zonas de utilização

Peneira	Porcentagens retidas acumuladas						Peneira
	Areia média	Areia grossa	*Zona utilizável inferior	*Zona ótima inferior	*Zona ótima superior	*Zona utilizável superior	
6,3	0	0	0	0	0	7	6,3
4,8	0	2	0	0	5	10	4,8
2,4	1	6	0	10	20	25	2,4
1,2	4	16	5	20	30	50	1,2
0,6	21	33	15	35	55	70	0,6
0,3	70	80	50	65	85	95	0,3
0,15	91	97	85	90	95	100	0,15
<0,15							<0,15
MF	1,87	2,34					
DMC	1,2	4,8					

* Limites da distribuição granulométrica para os agregados miúdos segundo a NBR 7211 (ABNT, 2009a, p. 5);
Nota: Determinação da composição granulométrica pela NBR NM 248 (ABNT, 2003).

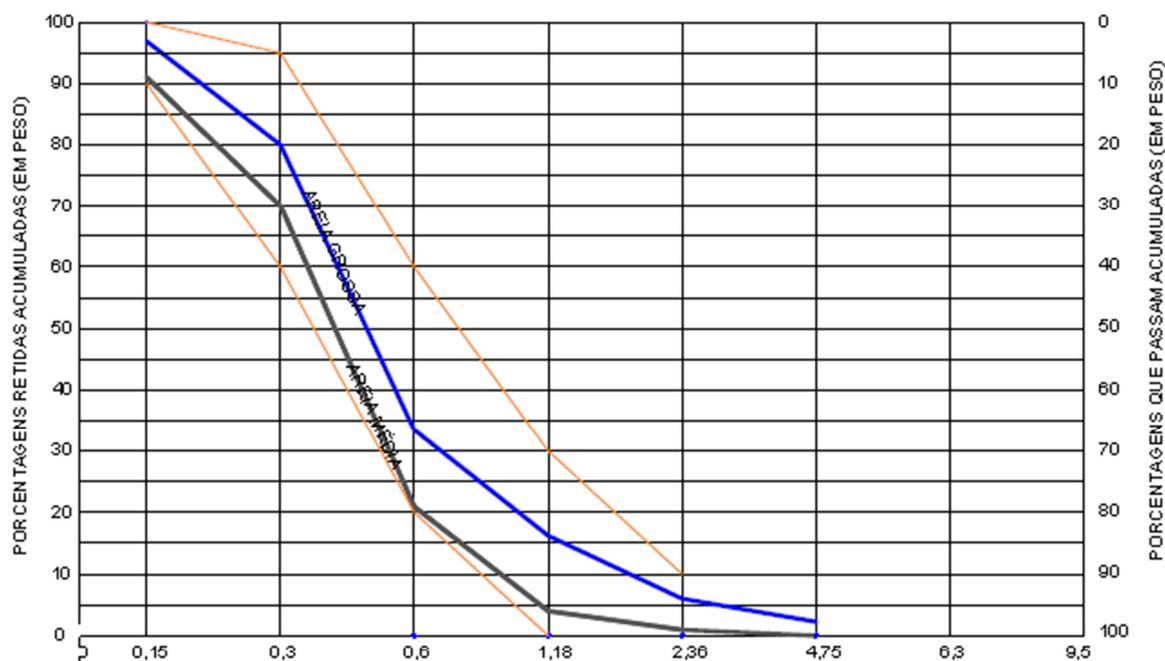
Figura 3.5 - Curvas granulométricas das areias média e grossa e intervalos recomendados da NBR 7211 (2009a)



Legenda: Linhas vermelhas – zonas utilizáveis inferior e superior -NBR 7211 (ABNT, 2009a);
Linhas verdes – zonas ótimas inferior e superior - NBR 7211 (ABNT, 2009a);
Linha azul – areia grossa estudada;
Linha preta – areia média estudada.

A título de comparação, a Figura 3.6 traz as curvas granulométricas das duas areias estudadas e o intervalo recomendado pela norma britânica BS 1199 para areias naturais usadas em argamassas de revestimentos externos.

Figura 3.6 - Curvas granulométricas das areias média e grossa e os intervalos recomendados da BS 1199 para areias naturais empregadas em argamassas de revestimentos externos



Legenda: Linhas laranjas – intervalo recomendado pela norma BS 1199 para areias naturais usadas em argamassas de revestimentos externos; linha azul – areia grossa estudada; linha preta – areia média estudada.

A Tabela 3.5 traz o coeficiente de uniformidade (C_U) e o coeficiente de curvatura (C_C), obtidos das curvas granulométricas das areias estudadas, para fins de comparação. A Tabela 3.6 apresenta um resumo dos índices obtidos nos ensaios. Nos Apêndices D e E estão contidas as informações relacionadas aos ensaios de obtenção desses dados.

Tabela 3.5 - Coeficiente de uniformidade (C_U) e coeficiente de curvatura (C_C)

Areia	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_U	C_C
Média	0,16	0,30	0,48	3,00	1,17
Grossa	0,21	0,36	0,55	2,62	1,12

Nota: Os valores D_{10} , D_{30} e D_{60} foram plotados do gráfico da Figura 3.5

Tabela 3.6 - Resumo das características das areias média e grossa

Característica	Unidade	Areia média	Areia grossa	Norma
DMC - Dimensão máxima característica	mm	1,2	4,8	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
MF - Módulo de finura		1,87	2,34	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
*Zona do módulo de finura		Zona utilizável inferior (1,55 a 2,20)	Zona ótima (2,20 a 2,90)	NBR 7211 (ABNT, 2009a)
pap – massa unitária no estado solto – método C	kg/m ³	1640	1640	NBR NM 45 (ABNT, 2006b)
A – absorção de água	%	0,8	0,8	NBR NM 30 (ABNT, 2001c)
pas – massa unitária na condição SSS	kg/m ³	1650	1650	NBR NM 45 (ABNT, 2006b)
Ev – índice de volume de vazios	%	37	36	NBR NM 45 (ABNT, 2006b)
d1 – massa específica aparente do agregado seco	g/cm ³	2,62	2,59	NBR NM 52 (ABNT, 2009c)
d2 – massa específica do agregado saturado superfície seca	g/cm ³	2,64	2,61	NBR NM 52 (ABNT, 2009c)
d3 – massa específica do agregado	g/cm ³	2,67	2,65	NBR NM 52 (ABNT, 2009c)
Umidade crítica	%	2,10	3,15	NBR 6467 (ABNT, 2006a)
Coefficiente médio de inchamento		1,36	1,34	NBR 6467 (ABNT, 2006a)
Fator de empacotamento: (100% - Ev)	%	63	64	

A análise dos dados de caracterização das duas areias, constantes nas Tabelas 3.5 e 3.6, permite extrair o seguinte:

- a) ambas as areias apresentam os seguintes índices com valores semelhantes: pap (massa unitária no estado solto), A (absorção de água), pas (massa unitária na condição SSS);
- b) as duas areias têm valores muito próximos (provavelmente com estatística não significativa) nos seguintes índices: Ev (índice de volume de vazios), d1 (massa específica aparente do agregado seco), d2 (massa específica do agregado saturado superfície seca), d3 (massa específica do agregado), fator de empacotamento (100% - Ev);
- c) índices que apresentam valores diferentes entre as duas areias: a umidade crítica da areia média é de 2,10% (e o seu coeficiente médio de inchamento é 1,36). Para a areia grossa, a umidade crítica é de 3,15% (e o coeficiente médio de inchamento é 1,34);

- d) apresentando, ainda, índices com valores diferentes tem-se: a DMC (dimensão máxima característica) da areia média é de 1,2 mm e da areia grossa é de 4,8 mm. O MF módulo de finura da areia média é 1,87 e da areia grossa é de 2,34;
- e) quando são analisadas as curvas granulométricas das duas areias, apresentadas na Figura 3.5, e a posição relativa segundo as zonas estabelecidas na NBR 7211 (ABNT, 2009a), nota-se que as duas areias contêm os grãos de diâmetros menores na zona ótima; porém, os grãos maiores estão localizados na zona utilizável inferior. A areia grossa posiciona-se mais próxima da zona ótima que a areia média. Importante destacar que os critérios da NBR 7211 (ABNT, 2009a) são para agregados para concreto. Relacionando com o abordado na seção 2.3.2 deste trabalho, a areia grossa apresenta uma curva granulométrica pouco mais contínua do que a areia média (a areia média tem curva granulométrica mais vertical);
- f) quando são analisadas as curvas granulométricas pela norma internacional BS 1199, percebe-se que as duas areias estão dentro do intervalo recomendado para areias naturais usadas em revestimentos externos (Figura 3.6);
- g) observa-se que tanto a areia média quanto a grossa têm coeficientes de curvatura (C_C) que indicam areias bem graduadas (entre 1 e 3), embora próximos ao limite inferior 1;
- h) o coeficiente de uniformidade (C_U) da areia grossa é menor que o da areia média, indicando alguma vantagem da areia grossa nesse aspecto.

Observando os valores obtidos do módulo de finura para as duas areias estudadas, estes parecem não condizer com a Tabela 2.3, onde foi apresentada uma classificação dos agregados em função do módulo de finura (MF), para areia fina, média e grossa.

As Figuras 3.7 e 3.8 trazem imagens dos grãos das areias estudadas, onde se pode perceber aspectos das várias peneiras.

Figura 3.7 - Aspectos da areia média estudada



Fonte: Coletânea de imagens do auto

Figura 3.8 - Aspectos da areia grossa estudada



Fonte: Coletânea de imagens do autor

A análise petrográfica das areias teve a supervisão de geólogo especializado e foi realizada de acordo com o a NBR 7389-1 (ABNT, 2009b). Os trabalhos consistiram, inicialmente, em dispor os grãos em uma Placa de Petri e analisá-los visualmente classificando-os quanto à sua forma (graus de esfericidade e arredondamento), através da lupa estereoscópica. Foram analisados ainda aspectos como cor, superfície dos grãos, onde foi descrita a textura da superfície dos grãos (polidos, foscos ou rugosos), a composição mineralógica, a presença de grãos inócuos, a presença de grãos deletérios ou grãos potencialmente deletérios e de grãos friáveis.

A Figura 3.9 traz as categorias de arredondamento e esfericidade a partir dos grãos das areias em estudo. Estes foram observados pela lupa estereoscópica e classificados de maneira a reproduzir a classificação de Powers (1953) citado por Pettijohn, Potter e Siever (1987, p. 521).

Figura 3.9 - Categorias de arredondamento e esfericidade dos grãos das areias estudadas



Fonte: Coletânea de imagens do autor

Nota: Os grãos foram tomados das areias em estudo, de forma a reproduzir a classificação de Powers (1953) citado por Pettijohn, Potter e Siever (1987, p. 521).

Apesar de a observação e classificação dos grãos terem sido feitas de acordo com as categorias apresentadas na Figura 3.9, ocasião em que foram observados em torno de 4000 grãos, foi necessária uma simplificação das categorias para melhor apresentação e análise dos resultados. A Figura 3.10 exhibe grãos das areias em estudo, dispostos na classificação simplificada: alta esfericidade x baixa esfericidade x angular x arredondado. Essa

classificação simplificada foi utilizada para a análise dos graus de esfericidade e arredondamento deste trabalho.

Figura 3.10 - Classes de grãos tomados das areias em estudo



Fonte: Coletânea de imagens do autor

As areias, na fase inicial de preparo dos ensaios, antes de irem para a secagem na estufa, foram peneiradas e lavadas abundantemente em betoneira para retirada de impurezas.

A seguir, são apresentadas as análises petrográficas para as duas areias. Os Apêndices F e G apresentam os resultados que complementam esses estudos, como as planilhas de contagem e classificação dos grãos. Convém esclarecer que os grãos analisados foram tomados a partir dos ensaios de granulometria, tendo-se o cuidado de preservar uma boa representatividade dos grãos. A NBR 7389-1 (ABNT, 2009b) determina que, para efeitos de identificação mineralógica e classificação tecnológica, deve ser contado o mínimo de 500 grãos das frações que representam mais de 15% da amostra total. Para as frações que

representam entre 5% e 15% da amostra total, deve ser contado o mínimo de 100 grãos. As frações com menos de 5% da amostra total não devem ser contadas.

3.4.1 Análise petrográfica da areia média

Os grãos retidos na peneira 0,6 mm apresentam diferentes gerações de grãos, indicados pelos formatos diferentes. Existem grãos de quartzo incolor, branco e rosa, em sua maioria; e alguns desses grãos apresentam película de óxido de ferro ao redor, embora muito pouco. Ver imagens (a) e (b) da Figura 3.11.

Os grãos retidos na peneira 0,3 mm apresentam grande maioria de grãos de quartzo incolor e branco, e uma quantidade bastante baixa de grãos de quartzo leitoso. Raros agregados com película de óxido de ferro ao redor (0,5% ou menos). Os grãos maiores estão mais arredondados que os menores. Ver imagem (c) da Figura 3.11.

Os grãos retidos na peneira 0,15 mm apresentam grande maioria dos grãos de quartzo incolor e branco, e alguns com capa de óxido de ferro. Ver imagem (d) da Figura 3.11.

Nos grãos retidos na peneira $<0,15$ mm, existe divisão bem clara de tamanhos. Grãos com óxido de ferro são maiores e apresentam bom arredondamento e esfericidade. Grãos de quartzo são menores e predominantemente incolores. Cada geração (tamanhos diferentes) tem grau de arredondamento diferente. Ver imagem (e) da Figura 3.11.

A superfície predominante dos grãos é do tipo polida. A análise sobre os graus de esfericidade e arredondamento está logo a seguir.

Não foram identificados aspectos que possam ser prejudiciais ao concreto ou argamassa, como a presença de grãos deletérios ou que se desagregam facilmente, ou a presença de material orgânico.

Figura 3.11 - Grãos da areia média



(a) Grãos de areia média, retidos na peneira 0,6 mm, de quartzo em sua maioria, e apresentando, ao centro, grão sub-arredondado de feldspato.



(b) Grãos de areia média, retidos na peneira 0,6mm, de quartzo em sua maioria, e apresentando, ao centro, grão de quartzo do tamanho de areia fina cimentado por óxido de ferro (FeO_2).



(c) Vista panorâmica dos grãos de areia média retidos na peneira 0,3mm, em Placa de Petri.



(d) Vista panorâmica dos grãos de areia média retidos na peneira 0,15mm, em Placa de Petri.



(e) Vista panorâmica dos grãos de areia média retidos na peneira <0,15mm, em Placa de Petri.



(f) Grão da areia média, retido na peneira 0,6 com alta esfericidade e arredondamento.

Fonte: Coletânea de imagens do autor

Como já comentado, a contagem e classificação dos grãos, definidas a partir das porcentagens das malhas das peneiras, foram baseadas nas categorias de arredondamento e esfericidade informadas por Powers (1953) apud Pettijohn, Potter e Siever (1987, p. 521), que é mais ampla daquela que consta na NBR 7389-1 (ABNT, 2009b, p. 3). Através da observação pela lupa estereoscópica, os grãos eram comparados e classificados de acordo com a semelhança das classes da Figura 3.9. Posteriormente, para a análise gráfica dos parâmetros de esfericidade e arredondamento, as classes foram tomadas dentro da classificação simplificada: alta esfericidade x baixa esfericidade x arredondado x angular (conforme retrata a Figura 3.10).

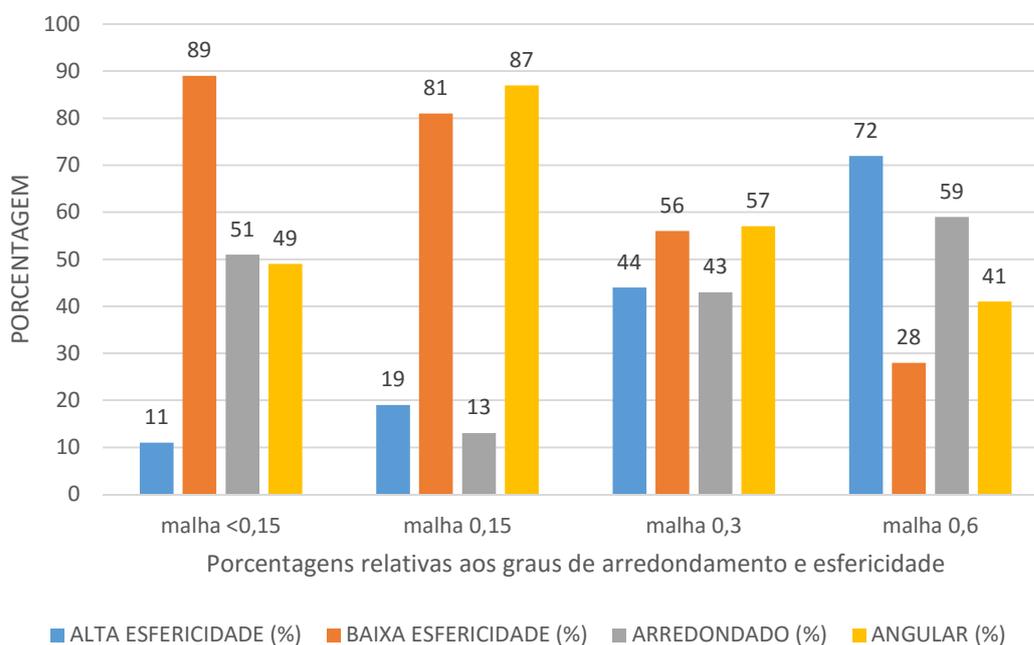
A Tabela 3.7 traz os graus de arredondamento e esfericidade da areia média, resultantes da análise petrográfica. As porcentagens obtidas estão relacionadas à contagem e classificação dos grãos das peneiras analisadas. A Figura 3.12 traz os resultados em forma gráfica, que permite uma melhor visualização e comparação.

Tabela 3.7 - Graus de arredondamento e esfericidade da areia média, distribuídos nas peneiras analisadas, em porcentagens

Composição granulométrica (% em massa)		AREIA MÉDIA					
Sim ples	Acumulada	Nº de grãos analisados	Peneira (abertura em mm)	ALTA ESFERICIDADE (%)	BAIXA ESFERICIDADE (%)	ARREDONDADO (%)	ANGULAR (%)
8,7	100	100	malha < 0,15	11	89	51	49
21,1	91	500	malha 0,15	19	81	13	87
49,5	70	500	malha 0,3	44	56	43	57
17,1	21	500	malha 0,6	72	28	59	41
2,7	4	não analisada	malha 1,2				
0,7	1	não analisada	malha 2,4				
0,3	0,3	não analisada	malha 4,8				

Nota: As porcentagens dos graus de arredondamento e esfericidade foram obtidas nas planilhas de contagem dos grãos (Apêndice F).

Figura 3.12 - Graus de arredondamento e esfericidade da areia média, distribuídos nas peneiras analisadas, via gráfica



3.4.1.1 Análise da esfericidade da areia média

Observa-se que a alta esfericidade cresce à medida que os diâmetros crescem da malha < 0,15 mm para a malha 0,6 mm. A baixa esfericidade predomina nas malhas < 0,15 mm (89%) e 0,15 mm (81%). Para os grãos da malha 0,3 mm, que representam 49,5 % da massa

de grãos, há equilíbrio entre alta esfericidade (44%) e baixa esfericidade (56%). Já para os grãos retidos na malha 0,6 mm, que representam 17,1% da massa de grãos, a alta esfericidade predomina (72%) em detrimento da baixa esfericidade (28%). Deve-se destacar que os grãos analisados constituem 96,4% em massa na composição granulométrica (ver Tabela 3.7 acima).

3.4.1.2 Análise do grau de arredondamento e angulosidade da areia média

Na malha < 0,15 mm há equilíbrio entre grãos arredondados (51%) e angulosos (49%). A malha 0,15 mm destoa desse equilíbrio, apresentando grãos arredondados (13%) e predominância de grãos angulosos (87%). A malha 0,3 mm (que representa 49,5% da massa de grãos) apresenta grãos arredondados (43%) e grãos angulosos (57%). A malha 0,6 mm apresenta 59% de grãos arredondados e 41% de grãos angulosos.

3.4.2 Análise petrográfica da areia grossa

Na massa de grãos retidos na peneira 1,2 mm existem fragmentos de rocha (arenito) em que a argila cimenta os grãos, também há a presença de grãos de feldspato com quartzo, e calcedônia (cor cinza). Presença de grãos de quartzo incolor e branco, na grande maioria. Existem grãos com óxido de ferro. Ver imagens (a) e (b) da Figura 3.13.

No material retido da peneira 0,6 mm existem grãos de quartzo na maioria; porém também ocorre a presença de grãos de feldspato (3,5%) e calcedônia (1%). Ver imagem (c) da Figura 3.13.

No material retido na peneira 0,3 mm existem grãos de quartzo incolor, em grande maioria. Presença, também, de grãos de feldspato (1%). Existem grãos com capa de óxido de ferro, embora poucos. Ver imagem (d) da Figura 3.13.

Nos grãos retidos na peneira 0,15mm predominam os grãos de quartzo incolor. Presença de grãos com capa de óxido de ferro. Ver imagem (e) da Figura 3.13.

O grau de esfericidade predominante é o da baixa esfericidade; e o grau de arredondamento predominante é o anguloso. A superfície predominante é a polida.

Da mesma forma que ocorreu com a areia média, não foram identificados aspectos que possam ser prejudiciais ao concreto ou argamassa, como a presença de grãos deletérios ou que se desagregam facilmente, ou a presença de material orgânico. Quanto à reação álcali-

agregado (RAA), a literatura aponta que a presença de calcedônia em mais de 3% deve objeto de análise; porém, o teor encontrado na análise é bem menor. Ver Apêndice G, onde consta a composição mineralógica dos grãos da areia grossa.

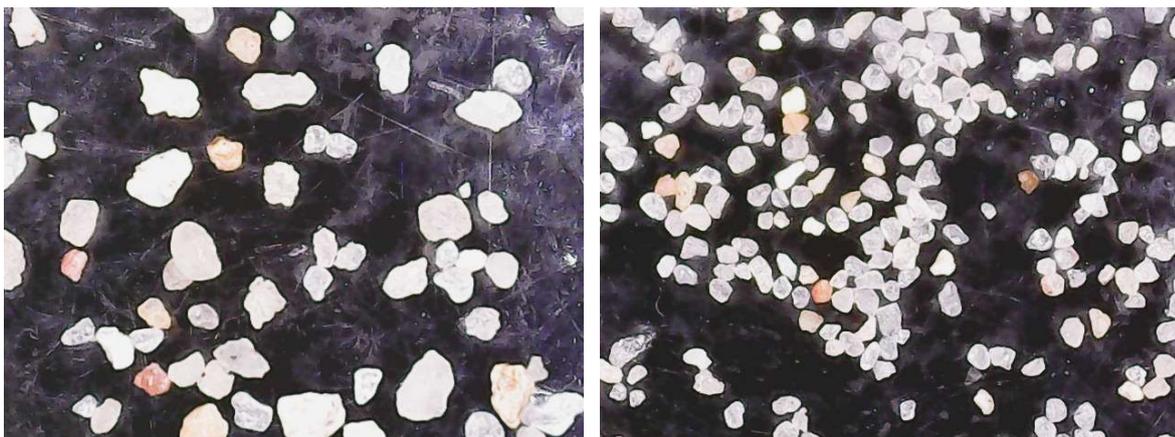
Figura 3.13 - Imagens dos grãos da areia grossa



(a) Grãos de areia grossa, retidos na peneira 1,2 mm, calcedônia em destaque.

(b) Grão de areia grossa, retido na peneira 1,2 mm, grão de feldspato com quartzo.

(c) Vista panorâmica dos grãos de areia grossa retidos na peneira 0,6 mm, em Placa de Petri.



(d) Apanhado de grãos de areia média retidos na peneira 0,3 mm.

(e) Vista panorâmica dos grãos de areia média retidos na peneira 0,15 mm, em Placa de Petri

Fonte: Coletânea de imagens do autor

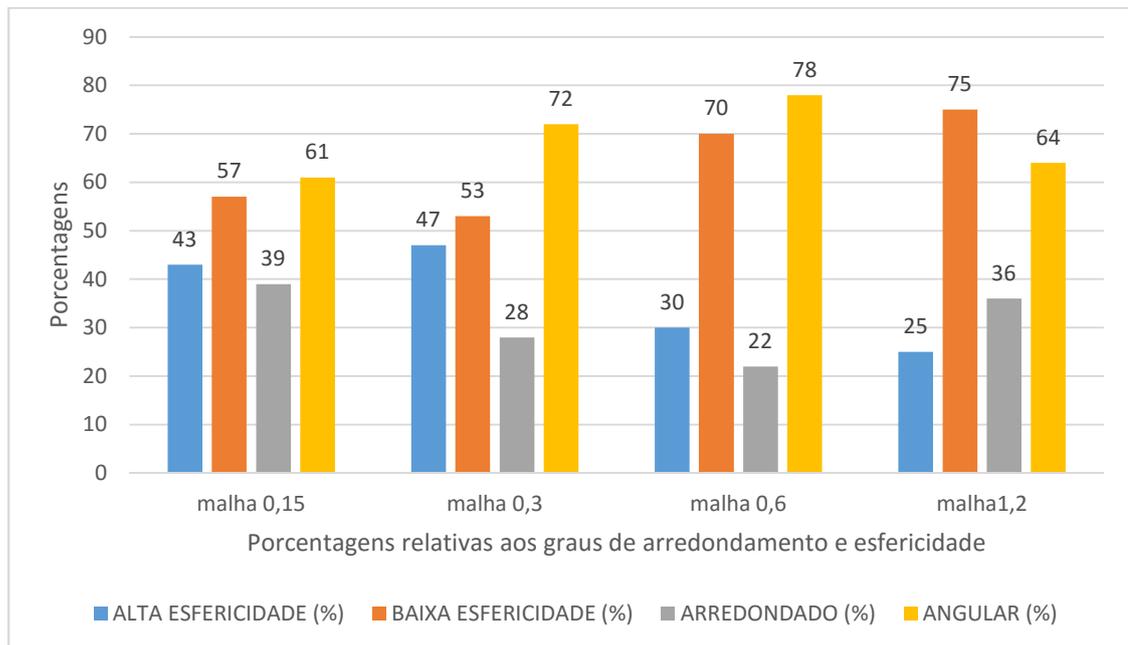
A Tabela 3.8 traz os graus de arredondamento e esfericidade da areia grossa, resultantes da análise petrográfica. As porcentagens obtidas são relacionadas à contagem e classificação dos grãos das peneiras analisadas. A Figura 3.14 traz os resultados em forma de barra, que permite uma melhor visualização e comparação. Deve-se destacar que os grãos analisados representam 91,5% em massa da composição granulométrica.

Tabela 3.8 - Graus de arredondamento e esfericidade da areia grossa, distribuídos nas peneiras analisadas, em porcentagens

Composição granulométrica (% em massa)		AREIA GROSSA					
Simpl es	Acumula da	Nº de grãos analisados	Peneira (abertura em mm)	ALTA ESFERICIDADE (%)	BAIXA ESFERICIDADE (%)	ARREDONDADO (%)	ANGULAR (%)
2,8	100	não analisada	malha < 0,15				
17,2	97	500	malha 0,15	43	57	39	61
46,5	80	500	malha 0,3	47	53	28	72
17,2	33	500	malha 0,6	30	70	22	78
10,6	16	100	malha 1,2	25	75	36	64
4,1	6	não analisada	malha 2,4				
1,5	1,5	não analisada	malha 4,8				

Nota: As porcentagens dos graus de arredondamento e esfericidade foram obtidas nas planilhas de contagem dos grãos (Apêndice G).

Figura 3.14 - Gráfico com os graus de arredondamento e esfericidade da areia grossa, distribuídos nas peneiras analisadas



3.4.2.1 Análise da esfericidade da areia grossa

Observando a Figura 3.14, a alta esfericidade acontece de maneira inversa ao que ocorre com a areia média, com supremacia da baixa esfericidade em todas as malhas, de maneira mais acentuada nas malhas 0,6 e 1,2 mm.

3.4.2.2 Análise do grau de arredondamento e angulosidade da areia grossa

Em todas as malhas os grãos são mais angulosos do que arredondados.

3.4.3 Média ponderada dos graus de arredondamento e esfericidade das areias média e grossa

A média ponderada dos graus de arredondamento e esfericidade das areias foi obtida multiplicando-se a porcentagem em massa da composição granulométrica de cada peneira analisada pelos valores correspondentes dos graus de arredondamento e esfericidade.

Os resultados estão na Tabela 3.9 e mostram que as duas areias têm mesma média ponderada para a alta esfericidade (40,5%) e para a baixa esfericidade (59,5%). A diferença só ocorre para o arredondamento e angulosidade. A areia média tem grãos com índice de arredondamento médio ponderado igual a 40% e a areia grossa 30%. A areia grossa tem grãos com índice de angulosidade médio ponderado igual a 60% e a areia média 70%. Fundamentado nos estudos de Pinto (2006), esse último resultado pode indicar uma vantagem para a areia grossa no que diz respeito ao entrosamento e imbricamento dos grãos (esse fato será analisado em relação ao desempenho das argamassas, na Seção 4).

Tabela 3.9 - Média ponderada dos graus de arredondamento e esfericidade das areias

	Areia média	Areia grossa
Alta esfericidade	40,5%	40,5%
Baixa esfericidade	59,5%	59,5%
Arredondado	40,0%	30,0%
Angular	60,0%	70,0%

3.5 PREPARO E ENSAIOS DAS ARGAMASSAS DE CHAPISCO

Nos estudos prévios do programa experimental, foi definido que seriam elaborados dois tipos de chapisco, dosados em massa, para uso no laboratório. Os traços partiram do traço 1:3 (cimento: areia úmida) em volume, sendo um com areia média e outro com areia grossa. O cimento empregado foi o CP-IV 32. Foram utilizados chapiscos do tipo tradicional, de lançamento manual com colher de pedreiro, aplicados pelo mesmo operador, conforme indicado a seguir:

- AM, argamassa de chapisco 1:3 com areia média úmida, em volume;
- AG, argamassa de chapisco 1:3 com areia grossa úmida, em volume.

3.5.1 Proporcionalamento das argamassas

De posse dos dados da massa unitária do cimento, das massas unitárias e dos coeficientes médios de inchamento das areias, foram calculados os traços em massa, para sua utilização em laboratório. A primeira tarefa consistiu em definir a quantidade de água das argamassas de chapisco, que deveria permitir a melhor trabalhabilidade no estado fresco, de forma a facilitar sua aplicação pelo método tradicional. Para isso, foram testadas diversas relações água/cimento e escolhidas aquelas que proporcionaram o mesmo índice de consistência para as duas argamassas, sendo os ensaios pela mesa de consistência, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005a).

Ao mesmo tempo em que se procurava a mesma consistência, as argamassas de chapisco eram lançadas em uma parede teste, por um pedreiro experiente. Resultou, então, uma relação água/cimento de 0,97 como adequada para a AG, e de 1,00 para a AM. A Tabela 3.10 mostra os resultados de definição desses traços.

Tabela 3.10 - Definição dos traços para as argamassas de chapisco AM e AG

Argamassa	Massa específica do cimento	Massa específica da areia	Massa unitária do cimento	Massa unitária da areia	Coefic. médio de incham. da areia	Traço em volume (areia úmida)	Traço em massa (areia seca)	Relação água materiais secos	Relação água/cimento
AM – argamassa de chapisco com areia média	2,73 kg/dm ³	2,67 kg/dm ³	1,0 Kg/dm ³	1,64 kg/dm ³	1,36	1:3	1:3,618	0,22	1,00
AG – argamassa de chapisco com areia grossa	2,73 kg/dm ³	2,65 kg/dm ³	1,0 Kg/dm ³	1,64 kg/dm ³	1,34	1:3	1:3,672	0,21	0,97

Uma vez que os traços já estavam previamente definidos em volume, para achar o traço equivalente em massa, no caso da areia, bastou dividir o seu volume pelo seu coeficiente médio de inchamento e multiplicar o resultado pela sua massa unitária. No caso do cimento, simplesmente multiplicou-se seu volume pela sua massa unitária. Observa-se que a AG possui maior massa seca em relação à AM.

De acordo com o roteiro para caracterização das argamassas de chapisco da Tabela 3.11, são apresentados, a seguir, os resultados, primeiro para as argamassas no estado fresco, e, após, para o estado endurecido. As determinações para cada ensaio constam do Apêndice H (caracterização no estado fresco) e Apêndice I (caracterização no estado endurecido).

No estado fresco, as argamassas foram caracterizadas logo após a mistura, e, no estado endurecido, foram ensaiadas aos 28 dias.

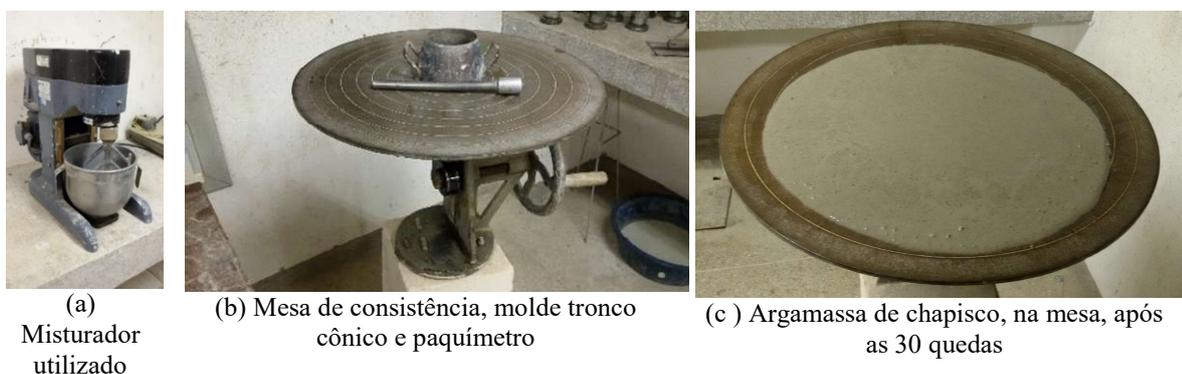
Tabela 3.11 - Roteiro para caracterização das argamassas de chapisco empregadas

Característica	Método de ensaio
Preparo da mistura e determinação do índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2005a)
Retenção de água	NBR 13277 (ABNT, 2005b)
Densidade de massa e teor de ar incorporado, no estado fresco	NBR 13278 (ABNT, 2005c)
Resistência à tração na flexão e à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005d)
Densidade de massa aparente no estado endurecido	NBR 13280 (ABNT, 2005e)
Resistência potencial de aderência à tração	NBR 15258 (ABNT, 2005g)
Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005h)

3.5.2 Preparo da mistura e determinação do índice de consistência

As argamassas foram todas preparadas nas condições do LMCC, temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa $60\pm 5\%$, com traço em massa e areia seca, com argamassadeira de movimento planetário, marca Emic, cuba de 5 litros, na velocidade baixa, conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996a). Para determinação do índice de consistência, foi utilizada uma mesa de consistência manual (Figura 3.15).

Figura 3.15 - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência das argamassas



A Tabela 3.12 apresenta os resultados obtidos. Devido à consistência da argamassa de chapisco ser fluida, não foram aplicados os golpes com o soquete, no tronco de cone, conforme determina a norma NBR 13276 (ABNT, 2005a, p. 3); sendo aplicadas, no entanto, as 30 quedas, em 30 segundos, na mesa. Os diâmetros foram medidos antes e após as quedas, com paquímetro, tomando-se como referência o último.

Tabela 3.12 - Determinação do índice de consistência para a AM e a AG

	Argamassa de chapisco areia média (AM)		Argamassa de chapisco areia grossa (AG)	
	Traço em massa - 1:3,618 (1,00)*		Traço em massa - 1:3,672 (0,97)*	
	Traço em volume - 1:3 (cimento:areia úmida)		Traço em volume - 1:3 (cimento:areia úmida)	
	Determinação antes das quedas	Determinação após as 30 quedas	Determinação antes das quedas	Determinação após as 30 quedas
	293	402	290	395
	298	400	296	401
	294	397	293	405
Média	295	400	293	400

Legenda: * relação água/cimento

Nota: Ensaio segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005a)

Ressalta-se, aqui, que o critério para definição da relação água/cimento das argamassas de chapisco utilizadas foi aquele que proporcionou o mesmo índice de consistência, que ficou em torno de 400 mm.

3.5.3 Retenção de água

Na determinação da retenção de água, foi utilizado o funil de Buchner modificado, com Ø20 cm e bomba de vácuo. Devido ao estado fluido das argamassas de chapisco, não foram aplicados os 37 golpes de soquete, no prato, conforme determina a norma NBR 13277 (ABNT, 2005b, p. 2). O Apêndice H traz as determinações do ensaio, a Figura 3.16 traz feições do ensaio e a Tabela 3.13 apresenta os valores obtidos.

Figura 3.16 - Aspectos do ensaio de retenção de água



(a) Funil de Buchner modificado Ø20 cm, frasco e bomba de vácuo



(b) Funil de Buchner modificado, com argamassa de ensaio

Fonte: Coletânea de imagens do autor

A argamassa AM apresentou 81,3% de retenção de água e a argamassa AG, 79,9%. Embora numa margem muito pequena, pode-se especular que a AG, que tem menor retenção de água, vai perder mais água para o substrato, quando da sua passagem do estado fresco ao endurecido, diminuindo, assim, a relação a/c nessa transição.

3.5.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado, no estado fresco

Esse ensaio foi realizado conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005c). Para a determinação da densidade de massa no estado fresco utilizou-se um recipiente cilíndrico metálico (Figura 3.17). Devido ao estado fluido, as argamassas de chapisco eram colocadas diretamente no recipiente, sem a aplicação dos golpes de que trata a norma referida (Tabela 3.13).

Tabela 3.13 - Ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco

Ensaio NBR 13278 (ABNT, 2005c)	Argamassa de chapisco AM			Argamassa de chapisco AG		
	Densidade de massa teórica	2063 kg/m ³	-	-	2071 kg/m ³	-
Densidade de massa no estado fresco	2016 kg/m ³	DP = 2,1 kg/m ³	CV = 0,1%	2057 kg/m ³	DP = 4,5 kg/m ³	CV = 0,2%
Teor de ar incorporado	2,34%	DP = 0,1 kg/m ³	CV = 4,7%	0,78%	DP = 0,2 kg/m ³	CV = 31%

Figura 3.17 - Detalhe do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco



Recipiente metálico e placa de vidro utilizados no ensaio

Fonte: Coletânea de imagens do autor

Para o cálculo do teor de ar incorporado, foram utilizados os índices obtidos na caracterização do cimento e das areias (massas específicas) e aplicadas as fórmulas detalhadas na norma já citada, de acordo com os traços das argamassas. O Apêndice H traz a íntegra das determinações.

3.5.5 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os dados foram obtidos conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005d) e estão contidos no Apêndice I. Inicialmente, as argamassas foram confeccionadas na argamassadeira do LMCC, da marca EMIC, e lançadas nos moldes prismáticos, resultando nos corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm. Deve-se informar que, devido à consistência fluida dos chapiscos, não foi utilizada a mesa de adensamento por queda. A Figura 3.18 traz detalhes dos ensaios. Os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias de idade.

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, utilizou-se equipamento marca Solotest. Para o ensaio de compressão, empregou-se equipamento marca Amsler, onde foram utilizadas as metades dos blocos resultantes do ensaio à tração na flexão.

Figura 3.18 - Detalhes dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão



Fonte: Coletânea de imagens do autor

A Tabela 3.14 apresenta os resultados médios do ensaio, onde se observa que a AG apresenta resultados superiores à AM.

Tabela 3.14 - Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão: resultados médios

Tipo de argamassa de chapisco	Resistência à tração na flexão aos 28 dias	DP	CV	Resistência à compressão aos 28 dias	DP	CV
AM	1,82 MPa	0,24 MPa	13%	10,00 MPa	0,51 MPa	5%
AG	1,84 MPa	0,23 MPa	12%	11,83 MPa	0,64 MPa	5,5%

3.5.6 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Esse ensaio foi realizado conforme a NBR 13280 (ABNT, 2005e). A Tabela 3.15 traz os resultados médios e a íntegra das determinações está no Apêndice I.

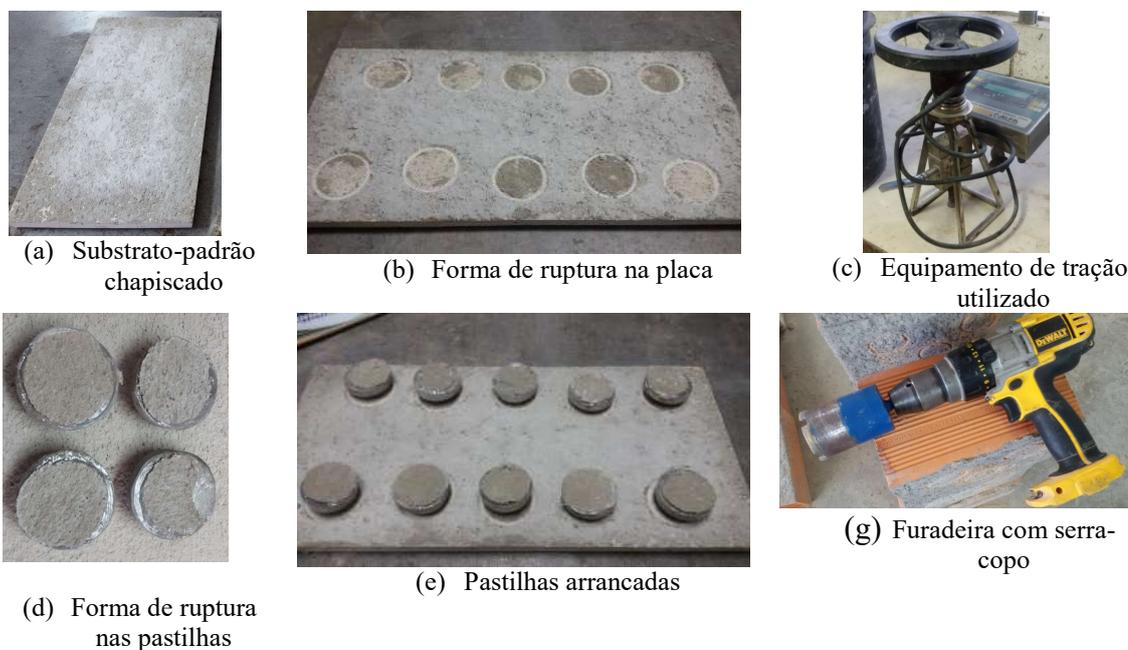
Tabela 3.15 - Ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido

Argamassa	Densidade de massa aparente no estado endurecido	DP	CV
AM	2005 kg/m ³	35,8 kg/m ³	1,8%
AG	2009 kg/m ³	52,1 kg/m ³	2,6%

3.5.7 Resistência potencial de aderência à tração

Neste ensaio, baseado na NBR 15258 (ABNT, 2005g), foram utilizados substratos-padrão (SP), de tamanho 20 mm x 250 mm x 500 mm, fabricados conforme a NBR14082 (ABNT, 2004). As argamassas de chapisco foram aplicadas com os SPs na posição vertical, apoiados em uma parede. Após a pega do cimento, foram acondicionados nas condições do LMCC, onde permaneceram até a data de ensaio, aos 28 dias. A Figura 3.19 mostra alguns detalhes do ensaio. Os furos foram feitos com serra-copo, via seca, e as pastilhas coladas com solda plástica transparente, de colagem em 10 minutos. As Tabelas 3.16 e 3.17 apresentam os resultados dos ensaios para a AM e a AG, respectivamente.

Figura 3.19 - Detalhes do ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração



Fonte: Coletânea de imagens do autor

Tabela 3.16 - Determinação da resistência potencial de aderência à tração da AM, aos 28 dias

CP n°	P - carga (N)	D - diâmetro (mm)	A - seção (mm ²)	R - resistência potencial de aderência à tração (MPa)	Desvio em relação à média (%)	Valores descartados ($\pm 30\%$ da média)	Forma de ruptura - %			
							Substrato	Substrato/chapisco	Argamassa de chapisco	Falha colagem peça
11	791	50	1963,5	0,40	-25,77				100	
12	725	50	1963,5	0,37	-31,96	*			100	
13	747	50	1963,5	0,38	-29,90				100	
14	843	50	1963,5	0,43	-20,89				100	
15	888	50	1963,5	0,45	-16,67				100	
16	1064	50	1963,5	0,54	-0,15				100	
17	1058	50	1963,5	0,54	-0,71				100	
18	919	50	1963,5	0,47	-13,76				100	
19	1440	50	1963,5	0,73	35,14	*			100	
20	2181	50	1963,5	1,11	104,67	*			100	
MÉDIA				0,54						
DP (DESVIO PADRÃO)				0,23						
CV (COEFICIENTE DE VARIAÇÃO)				42%						
RESIST. POT. MÉDIA (SEM VLRS. *)				0,46						

Nota: Ensaio conforme a NBR 15258 (ABNT, 2005g), com a argamassa de chapisco AM, no traço em massa 1:3,618 (1,00) - apresentação dos resultados do ensaio da argamassa aplicada diretamente no substrato-padrão, aos 28 dias.

Tabela 3.17 - Determinação da resistência potencial de aderência à tração da AG, aos 28 dias

CP n°	P - Carga (N)	D - diâmetro (mm)	A - seção (mm ²)	R - resistência potencial de aderência à tração (MPa)	Desvio em relação à média (%)	Valores descartados ($\pm 30\%$ da média)	Forma de ruptura - %			
							Substrato	Substrato/chapisco	Argamassa de chapisco	Falha colagem peça metálica
1	1541	50	1963,5	0,78	21,53				100	
2	1519	50	1963,5	0,77	19,79				100	
3	1227	50	1963,5	0,62	-3,23				100	
4	1127	50	1963,5	0,57	-11,12				100	
5	1019	50	1963,5	0,52	-19,64				100	
6	1096	50	1963,5	0,56	-13,56				100	
7	1312	50	1963,5	0,67	3,47				100	
8	1343	50	1963,5	0,68	5,91				100	
9	1443	50	1963,5	0,73	13,80				100	
10	1053	50	1963,5	0,54	-16,96				100	
MÉDIA				0,65						
DP (DESVIO PADRÃO)				0,10						
CV (COEFICIENTE DE VARIAÇÃO)				15%						
RESIST. POT. MÉDIA (SEM VLRS. *)				0,65						

Nota: Ensaio conforme a NBR 15258 (ABNT, 2005g), com a argamassa de chapisco AG, no traço em massa 1:3,672 (0,97) - apresentação dos resultados do ensaio da argamassa aplicada diretamente no substrato-padrão, aos 28 dias.

Pelos dados das Tabelas 3.16 e 3.17, a média da resistência potencial de aderência à tração, para a AM, ficou em 0,46 MPa, e para a AG, ficou em 0,65 Mpa. Ambos os valores são adequados para parede externa ($\geq 0,30$ MPa), segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013b, p. 3).

Os resultados deste ensaio foram submetidos à análise de variância, a fim de verificar o desempenho das argamassas em relação ao substrato padrão, que é uma placa de concreto já descrita acima. Ver Seção 4.1.1.

3.5.8 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

O ensaio foi realizado aos 28 dias, conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005h). A confecção da argamassa para o ensaio seguiu as mesmas etapas e condições em que foi necessária a moldagem de corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm. A argamassa AM apresentou coeficiente de capilaridade de $9,28 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, e a argamassa AG apresentou coeficiente de capilaridade de $8,88 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. A Figura 3.20 apresenta detalhes do ensaio e a Tabela 3.18 os valores.

Figura 3.20 - Ensaio de absorção por capilaridade



(a) Blocos durante o ensaio



(b) Blocos após ensaio

Fonte: Coletânea de imagens do autor

Tabela 3.18 - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

Argamassa	A10 min	A90 min	Coeficiente de capilaridade (A10-A90)		
AM	0,34	0,93	9,28 $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$	DP = 1,1 $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$	CV = 12%
AG	0,29	0,85	8,88 $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$	DP = 1,9 $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$	CV = 21%

Convém ressaltar que todos os ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco e no estado endurecido contaram com o mínimo de três determinações. Os Apêndices H e I trazem a íntegra dos resultados de caracterização das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, respectivamente.

3.5.9 Aplicação das argamassas de chapisco nos blocos cerâmicos

Confeccionadas na argamassadeira de eixo vertical e capacidade para 5 litros, as argamassas de chapisco foram aplicadas nos blocos cerâmicos dispostos em forma de parede. Após a pega do cimento, os blocos foram cuidadosamente levados para uma prateleira do LMCC, onde foram curados durante 7 dias, com molhagens regulares, permanecendo até a data de ensaios, aos 28 dias. A Figura 3.21 apresenta uma sequência dessas atividades.

Figura 3.21 - Aplicação do chapisco nos blocos



(a) Argamassadeira utilizada



(b) Aplicação do chapisco nos blocos



(c) Cura do chapisco por 7 dias



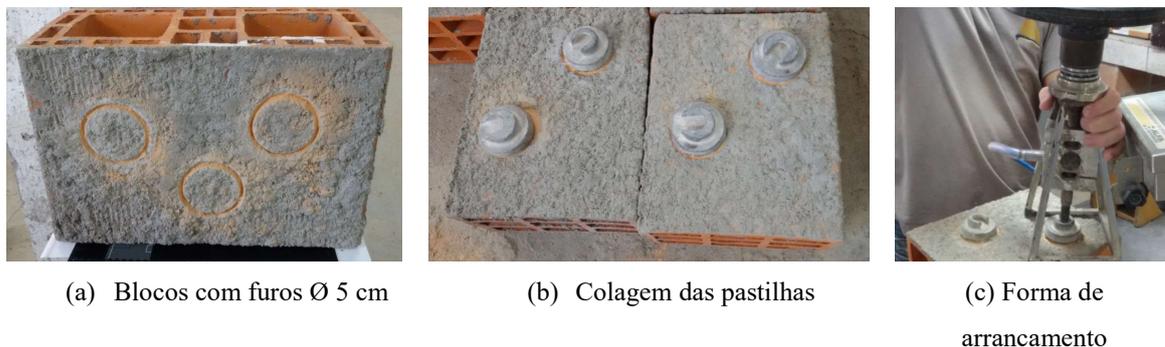
(d) Blocos prontos para os ensaios

Fonte: Coletânea de imagens do autor

3.5.10 Ensaio de resistência de aderência à tração

Os ensaios de resistência de aderência à tração (Figura 3.22) foram realizados conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010a), aos 28 dias de idade, nas seis combinações resultantes dos três tipos de blocos (BL, BH e BV) e das duas argamassas (AM e AG). Para verificar a influência dos componentes envolvidos nas diversas interfaces foi feita a análise de variância (ver Seção 4.2.8).

Figura 3.22 - Atividades do ensaio de aderência à tração



Fonte: Coletânea de imagens do autor

Apesar de haver a expectativa de que a superfície rugosa dos chapiscos fosse dificultar a colagem das pastilhas, tal fato não ocorreu, a cola entrou em contato de forma adequada na superfície a ser ensaiada. Outro questionamento, antes dos ensaios, era de que a cola pudesse ultrapassar o chapisco e aderir diretamente nos blocos, mas tal fato também não aconteceu devido ao chapisco ser do tipo fechado.

3.5.11 Consumo de materiais das argamassas e a relação com os dados dos ensaios

Para as duas argamassas, informações úteis são fornecidas ao se comparar a densidade de massa no estado fresco e o consumo de materiais, quando já se dispõe dos dados obtidos nos ensaios. A tabela 3.19, através do cálculo do consumo de materiais, confirma os dados da densidade de massa no estado fresco obtidos nos ensaios, que é a soma de todos os materiais empregados na confecção da argamassa, em kg/m^3 .

Tabela 3.19 - Cálculo do consumo de materiais das argamassas AM e AG

Arg.	Traço massa 1:3,618 (1:q)	Rel. a/c	Cc (kg/m ³)	Cq (kg/m ³)	Ca (kg/m ³)	Ar incorporado (%)	Densidade de massa no estado fresco
AM	1:3,618	1,00	358,9	1298,4	358,9	2,34	2016 kg/m ³
AG	1:3672	0,97	364,5	1338,5	353,6	0,78	2057 kg/m ³

Legenda: Cc - consumo de cimento; Cq - consumo de areia; Ca – consumo de água.

$$C_c = \frac{1000 - ar}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{q}{\gamma_q} + a/c} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

γ_c = massa específica do cimento = 2,73 kg/dm³;

γ_q areia média = 2,67 kg/m³;

γ_q areia grossa = 2,65 kg/m³;

$C_q = C_c \times q$;

$C_a = C_c \times a/c$.

3.6 ENSAIOS DE ABSORÇÃO E PERMEABILIDADE PELO MÉTODO DO CACHIMBO

Os testes de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo foram realizados sobre os substratos sem chapisco e com os mesmos chapiscados aos 28 dias, na intenção de comparar os resultados. A íntegra dos resultados está no Apêndice J, onde cada situação de ensaio contou com o mínimo de três determinações.

Figura 3.23 - Atividades do teste de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo



(a) Equipamentos utilizados



(b) BH em ensaio



(c) BV em ensaio



(d) Substrato-padrão em ensaio

Fonte: Coletânea de imagens do autor

3.7 IMAGENS DA INTERFACE PELA LUPA ESTEREOSCÓPICA E MICROSCÓPIO

Na intenção de observar a disposição dos grãos de areia e da distribuição da pasta nas argamassas AM e AG, na interface com os substratos, bem como a qualidade da extensão de aderência, foram cortadas e preparadas pequenas fatias dos blocos junto à interface, as quais foram observadas pela lupa estereoscópica e microscópio petrográfico. O preparo contou com algumas das técnicas de laminação de rocha. A Figura 3.24 traz uma sequência do preparo e observação ao microscópio petrográfico.

Figura 3.24 - Etapas de preparo das amostras para observação ao microscópio petrográfico



(a) Corte do bloco com disco diamantado, diâmetro de 40 cm, refrigerado com óleo lubrificante e velocidade de corte de 2 cm/minuto



(b) Barra fixada em placa de vidro, para ser lixada e polida



(c) Lâmina contendo a interface bloco cerâmico/chapisco, espessura aproximada de 0,03 mm



(d) Observação ao microscópio petrográfico e coleta das imagens

Fonte: Coletânea de imagens do autor

A apreciação da extensão de aderência foi feita com auxílio de uma lupa estereoscópica, com campo de visão de 20 mm e contou inclusive com técnicas de estatística pela análise da variância (ANOVA). O objetivo dessa análise foi verificar a uniformidade da extensão de contato nas várias interfaces e, assim, visualizar se a técnica de aplicação das argamassas, pelo pedreiro, foi constante para todas as interfaces (Seção 4.4.1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas e sua relação com as características das areias. É feita a análise da variância para os resultados da resistência potencial de aderência à tração das argamassas. São apresentados e discutidos os resultados da resistência de aderência à tração e dos testes de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo. Destacam-se, ainda, os estudos sobre o efeito das ranhuras dos blocos na resistência de aderência à tração. Na sequência, apresenta-se análise da extensão de aderência com auxílio de lupa estereoscópica e tratamento estatístico. Por fim, é feito um exame das interfaces bloco-chapisco através de imagens obtidas ao microscópio petrográfico.

4.1 CARACTERÍSTICAS DAS AREIAS VERSUS CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS

A Tabela 4.1 apresenta resumo da caracterização das argamassas de chapisco estudadas e, a seguir, são tecidos comentários sobre os dados obtidos.

Tabela 4.1 - Resumo da caracterização das argamassas de chapisco AM e AG

Ensaio	Traço AM 1:3,618 (1,00)*	Traço AG 1:3,618 (0,97)*	Norma	Classificação AM (NBR 13281)	Classificação AG (NBR 13281)
Índice de consistência	400 mm	400 mm	NBR 13276		
Resistência à compressão 28 dias	10,00 MPa	11,83 MPa	NBR 13279	9,37 a 10,63 P6	10,74 a 12,49 P6
Densidade de massa teórica	2063 kg/m ³	2071 kg/m ³	NBR 13278		
Densid. massa apar. estado endurecido	2005 kg/m ³	2009 kg/m ³	NBR 13280	1945 a 2048 M6	1936 a 2063 M6
Resistência à tração na flexão 28 dias	1,82 MPa	1,84 MPa	NBR 13279	1,62 a 2,12 R3	1,64 a 2,08 R3
Coefficiente de capilaridade	9,28 g/dm ² .min ^{1/2}	8,88 g/dm ² .min ^{1/2}	NBR 15259	7,9 a 10,6 C5	6,61 a 11,25 C5
Densidade de massa estado fresco	2016 kg/m ³	2057 kg/m ³	NBR 13278	2014 a 2018 D6	2052 a 2063 D6
Retenção de água	81,3%	79,9%	NBR 13277	79,9 a 83,0 U2	77,4 a 84,0 U2
Teor de ar incorporado	2,34%	0,78%	NBR 13278		
Resistência pot. aderência à tração	0,46 MPa	0,65 MPa	NBR 15258	A3	A3

Nota: *Traços em massa. O valor entre parênteses é a relação água/cimento.

Conforme indicado, as duas argamassas têm a mesma classificação, segundo os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005f): P6; M6; R3; C5; D6; U2; e A3. Os dados de caracterização mostram muitas semelhanças, e diferenças muito pequenas, entre as mesmas. Procurou-se, então, destacar as diferenças que pudessem explicar o desempenho das argamassas de chapisco:

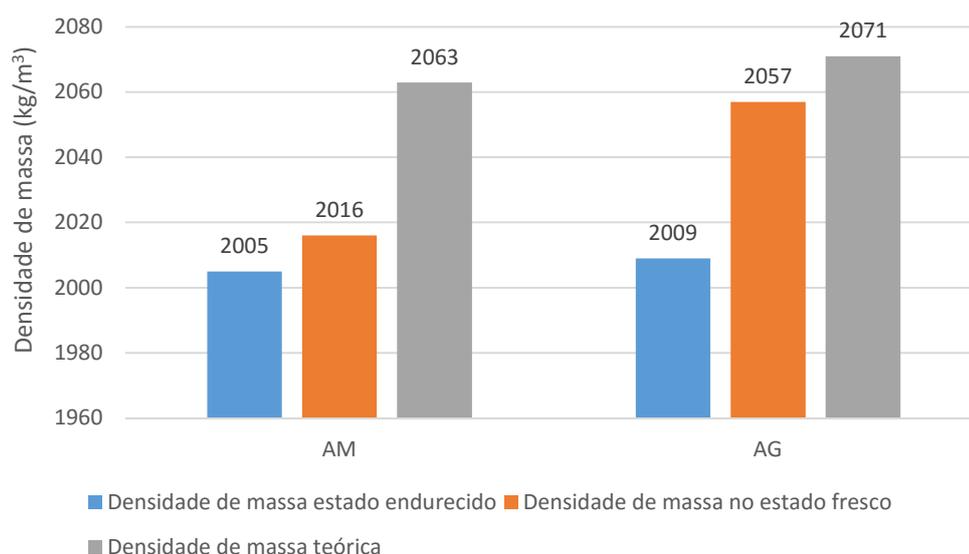
- a) embora numa margem muito estreita, a areia grossa tem menor índice de volume de vazios ($E_v = 36\%$) que a areia média ($E_v = 37\%$) e, conseqüentemente, maior fator de empacotamento (64% para a areia grossa e 63% para a areia média);
- b) o menor E_v da areia grossa vai exigir menos pasta para preencher os vazios, com a AG obtendo maior densidade de massa nos estados fresco e endurecido que a AM. Notar que, para a mesma consistência, o traço em massa da AG é 1:3,672:($a/c=0,97$), e o traço da AM é 1:3,618:($a/c=1,00$);
- c) a AM exigiu mais água que AG, para um mesmo índice de consistência, o que pode ser explicado pelo fato de a areia média estudada possuir mais massa de grãos com menor diâmetro (79,3% até a peneira 0,3 mm da areia média contra 66,5% da areia grossa até a mesma peneira 0,3 mm), o que ocasiona maior área superficial dos grãos e conseqüente maior demanda de água na mistura da AM. Lembrar que Tristão (2005, p. 69) calculou e demonstrou que a quantidade de grãos cresce enormemente à medida que os grãos ficam menores, por unidade de peso;
- d) embora com diferenças pequenas, a AG apresentou maior densidade de massa que a AM nas três situações: teórica, estado fresco e endurecido (ver Figura 4.1), e também, maior resistência, tanto à tração na flexão como à compressão (estado endurecido, 28 dias);
- e) o fato acima pode ser explicado pela menor relação a/c no estado fresco da AG, resultante de um provável melhor arranjo dos grãos da areia grossa, através de maior entrosamento e imbricamento;
- f) esse provável melhor entrosamento dos grãos da areia grossa pode explicar o seu menor índice de volume de vazios, que se traduz em menos água necessária para a mistura;
- g) os resultados do coeficiente de capilaridade mostram que a AM tem o valor de 9,28 $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$, maior, portanto, que o da AG, que é de 8,88 $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. Esses valores podem ter uma relação direta com os resultados obtidos no teste do cachimbo (que

serão apresentados na seção 4.3), em que a AM apresentou sempre absorção mais rápida que a AG, quando aplicada aos blocos cerâmicos;

- h) a AG tem menor retenção de água e, ao perder mais água na passagem do estado fresco para o endurecido, diminui a relação a/c. Isso pode contribuir para maior resistência à compressão e à tração na flexão;
- i) o fato de a AM ter maior retenção de água pode ser explicado pela maior porcentagem em peso de grãos de menor diâmetro (e maior área superficial dos grãos), conforme a análise granulométrica indicou;
- j) a resistência potencial de aderência à tração da AG é maior que a da AM e será analisada na seção 4.1.1, a seguir, através da análise da variância (ANOVA).

Deve-se destacar, novamente, algumas semelhanças de valores obtidos, ou valores não significativamente diferentes, entre as duas argamassas estudadas, devidas, certamente, pela semelhança nas características das areias empregadas. Porém, essas pequenas diferenças foram exploradas de modo a compreender o comportamento das duas argamassas.

Figura 4.1 - Densidade de massa no estado endurecido x densidade de massa no estado fresco x densidade de massa teórica



4.1.1 Análise da variância para os resultados da resistência potencial de aderência à tração

Com a finalidade de comparar os resultados dos ensaios da resistência potencial de aderência à tração da AM e da AG, foi feita a análise da variância (ANOVA). Lembrar que as argamassas foram aplicadas no substrato-padrão (SP). A Tabela 4.2 apresenta os dados de saída para a ANOVA e a Figura 4.2 apresenta o teste de Tukey, a partir do programa de estatística MINITAB (2016). As hipóteses testadas foram:

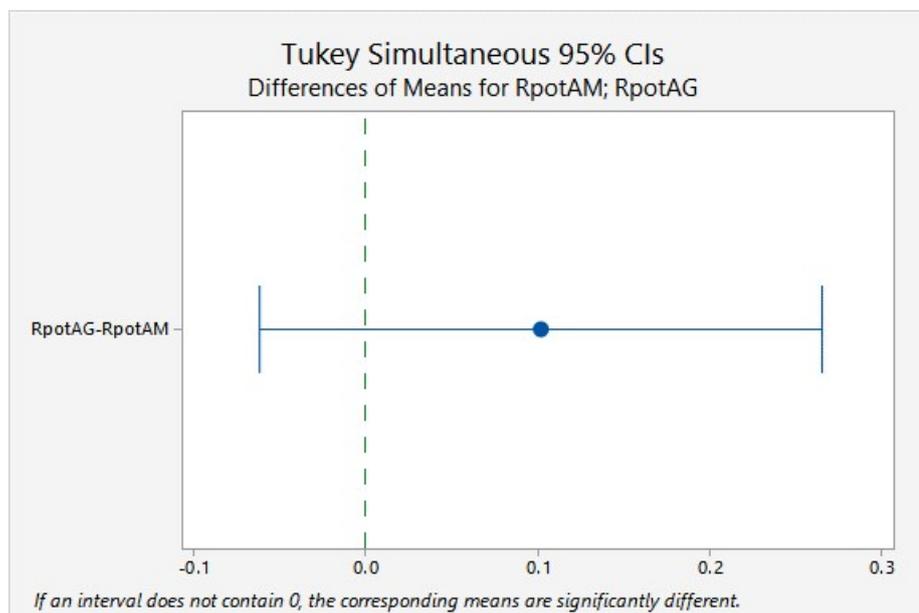
- H_0 : não existe diferença significativa entre as médias;
- H_1 : as médias são significativamente diferentes.

Tabela 4.2 - Dados de saída da ANOVA a partir do MINITAB (2016) para a resistência potencial de aderência à tração da AM x AG

Causas da variação	GL	SQ	QM	Fcalc	Valor de P
Tratamento	1	0,05202	0,0520200	1,72	0,2057
Resíduo	18	0,54320	0,0301778		
Total	19	0,59522			

Legenda: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrados médios; Fcalc = valor F calculado.

Figura 4.2 - Teste de Tukey, com $\alpha = 5\%$, a partir dos de saída do MINITAB (2016)



Como $F_{tab} (4,41) > F_{calc} (1,72)$, aceita-se H_0 . O resultado da análise da variância indica que não há diferença significativa, ao nível de 95%, para a resistência potencial de aderência à tração da AM versus AG, quando aplicadas ao substrato-padrão (SP). Em outras palavras, embora haja diferença de resultados na resistência potencial de aderência das duas argamassas, estas não são estatisticamente significativas.

4.2 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração para cada uma das seis combinações bloco/argamassa de chapisco e feitas as análises dos resultados.

4.2.1 Resistência de aderência à tração na interface BL x AM

Conforme os resultados indicados na Tabela 4.3, a forma de ruptura para a interface BL x AM ocorreu, na sua maior parte, na argamassa do chapisco, com média de 0,41 MPa e coeficiente de variação igual a 28%. A umidade média da interface era de 0,40%. A Figura 4.3 apresenta imagens com a forma de ruptura.

Tabela 4.3 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BL x AM

ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA MÉDIA (AM) E BLOCOS DE VEDAÇÃO COM FACES LISAS (BL) - 28 dias												
CP	Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						Profundidade de ruptura (mm)	Observação
	Bloco	Junta			Substrato	Sub/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
15	x		528	0,27			100					Umidade média: 0,40%
15	x		1202	0,61	8		92					
16	x		1027	0,52	2		98					
16	x		576	0,29	2		98					
19	x		572	0,29			60		40			
19	x		496	0,25	2		98					
20	x		1014	0,52	5		95					
20	x		798	0,41	5		95					
21	x		960	0,49			100					
21	x		769	0,39	10		90					
22	x		943	0,48			100					
22	x		881	0,45			100					
			MÉDIA	0,41								
			DESV. PDR.	0,12								
			CV (%)	28%								

Figura 4.3 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BL x AM



Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.2.2 Resistência de aderência à tração na interface BH x AM

Os resultados da Tabela 4.4 indicam que a forma de ruptura para a interface BH x AM ocorreu tanto na argamassa do chapisco como no substrato, evidenciando a boa aderência da interface, com média de 0,66 MPa e coeficiente de variação igual a 31%. A umidade média das amostras era de 0,42%. A Figura 4.4 apresenta imagens com a forma de ruptura.

Tabela 4.4 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BH x AM

ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA MÉDIA (AM) E BLOCOS DE VEDAÇÃO COM FACES RANHURADAS HORIZONTAIS (BH) - 28 dias												
CP	Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						Profundidade de ruptura (mm)	Observação
	Bloco	Junta			Substrato	Sub/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
1	x		1344	0,68	30		70					Umidade média: 0,42%
2	x		1033	0,53	5		95					
3	x		771	0,39	5		95					
4	x		1084	0,55	10		90					
5	x		618	0,31	10		90					
6	x		1322	0,67			100					
7	x		1367	0,70	60		40					
8	x		1575	0,80	50		50					
9	x		1848	0,94	90		10					
10	x		1972	1,00	90		10					
11	x		1239	0,63	10		90					
12	x		1275	0,65	15		85					
			MÉDIA	0,66								
			DESV. PDR.	0,20								
			CV (%)	31%								

Figura 4.4 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BH x AM



Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.2.3 Resistência de aderência à tração na interface BV x AM

Conforme os resultados indicados na Tabela 4.5, a forma de ruptura para a interface BV x AM ocorreu principalmente no substrato, evidenciando a forte resistência do chapisco, com média de 0,75 MPa e coeficiente de variação igual a 28%. A umidade média das amostras era de 0,48%. A Figura 4.5 apresenta imagens com a forma de ruptura

Tabela 4 5 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BV x AM

ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA MÉDIA (AM) E BLOCOS DE VEDAÇÃO COM FACES RANHURADAS VERTICAIS (BV) - 28 dias												
CP	Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						Profundidade de ruptura (mm)	Observação
	Bloco	Junta			Substrato	Sub/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
1	X		1011	0,51	95		5					Umidade média: 0,48%
2	X		1668	0,85	99		1					
3	X		2041	1,04	95		5					
4	X		1761	0,90			90		10			
5	X		2144	1,09	100							
6	X		1546	0,79	100							
7	X		1174	0,60			100					
8	X		1491	0,76	5		95					
9	X		1424	0,73	75		25					
10	X		842	0,43	15		85					
11	X		1526	0,78	15		85					
12	X		990	0,50	15		85					
			MÉDIA	0,75								
			DESV. PDR.	0,21								
			CV (%)	28%								

Figura 4.5 - Forma de ruptura do ensaio de aderência à tração para a interface BV x AM



Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.2.4 Resistência de aderência à tração na interface BL x AG

Na interface BL x AG, a forma de ruptura ocorreu de forma variada, mas evidenciando a boa resistência do chapisco, com média de 0,61 MPa e coeficiente de variação igual a 34,6%. A Tabela 4.6 traz os resultados expressos em números e a Figura 4.6 apresenta a forma de ruptura nos corpos-de-prova. A umidade média das amostras era de 0,89%.

Tabela 4.6 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BL x AG

ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA GROSSA (AG) E BLOCOS DE VEDAÇÃO COM FACES LISAS (BL) - 28 dias												
CP	Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						Profundidade de ruptura (mm)	Observação
	Bloco	Junta			Substrato	Sub/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
1	x		728	0,37			100					Umidade média: 0,89%
2	x		877	0,45		95						
3	x		1513	0,77	50	50						
4	x		1970	1,00	100					4		
5	x		1211	0,62	20	80				1		
6	x		1314	0,67	15	85				1,5		
7	x		1671	0,85	60	40				4,5		
8	x		953	0,49			100					
9	x		1097	0,56			100					
10	x		1480	0,75	50		50					
11	x		848	0,43	2	93	5					
12	x		618	0,31			100					
			MÉDIA	0,61								
			DESV. PDR.	0,21								
			CV (%)	34,6%								

Figura 4.6 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BL x AG



Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.2.5 Resistência de aderência à tração na interface BH x AG

Na interface BH x AG, a forma de ruptura ocorreu predominantemente no substrato, evidenciando a forte resistência do chapisco, com média de 0,73 MPa e coeficiente de variação igual a 12,7%. A Tabela 4.7 traz os valores obtidos e a Figura 4.7 mostra as imagens dos ensaios. A umidade média das amostras, que foram secas em estufa por 24 horas, era de 0,97%.

Tabela 4.7 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BH x AG

ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA GROSSA (AG) E BLOCOS DE VEDAÇÃO COM FACES RANHURADAS HORIZONTAIS (BH) - 28 dias												
CP	Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						Profundidade de ruptura (mm)	Observação
	Bloco	Junta			Substrato	Sub/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
1	X		1675	0,85	100						5	Umidade média: 0,97%
2	X		1359	0,69	95		5				2	
3	X		1166	0,59	10		80	10				
4	X		1445	0,74	90		10					
5	X		1612	0,82	95		5				5	
6	X		1136	0,58	35		65					
7	X		1598	0,81	100						5	
8	X		1566	0,80	40		60				1	
9	X		1304	0,66	100						20	
10	X		1266	0,64	100						6	
11	X		1465	0,75	100						4	
12	X		1558	0,79	100						7	
			MÉDIA	0,73								
			DESV. PDR.	0,09								
			CV (%)	12,7%								

Figura 4.7 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BH x AG



Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.2.6 Resistência de aderência à tração na interface BV x AG

Na interface BH x AG, a forma de ruptura ocorreu quase que totalmente no substrato, evidenciando a grande resistência do chapisco, com média de 0,83 MPa e coeficiente de variação igual a 14,7%. A Tabela 4.8 apresenta os valores obtidos nos ensaios e a Figura 4.8 apresenta as imagens dos corpos-de-prova. A umidade média das amostras era de 0,75%.

Tabela 4.8 - Ensaio de determinação da resistência de aderência à tração BV x AG

ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA GROSSA (AG) E BLOCOS DE VEDAÇÃO COM FACES RANHURADAS VERTICAIS (BV) - 28 dias												
CP	Local do ensaio		Carga de ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)						Profundidade de ruptura (mm)	Observação
	Bloco	Junta			Substrato	Sub/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
1	x		1849	0,94	100						2	Umidade média: 0,75%
2	x		1837	0,94	70			30			1	
3	x		1250	0,64	100						3	
4	x		1410	0,72	100						3	
5	x		1467	0,75	100						6	
6	x		2098	1,07	100						5	
7	x		1834	0,93	100						6	
8	x		1674	0,85	100						6	
9	x		1570	0,80	100						6	
10	x		1426	0,73	98		2				2	
11	x		1525	0,78	99		1				3	
12	x		1716	0,87	99		1				3	
			MÉDIA	0,83								
			DES. PDR.	0,12								
			CV (%)	14,7%								

Figura 4.8 - Forma de ruptura nos ensaios de aderência à tração para a interface BV x AG



Fonte: Coletânea de imagens do autor

A observação da série de imagens, da Figura 4.3 até a Figura 4.8, mostra que há um aumento na área de rompimento dos corpos de prova nos substratos, na direção BL→BH→BV e também na direção AM→AG, evidenciando o aumento da resistência de aderência à tração nessas direções. O que está de acordo com os valores obtidos em MPa. Porém, deve-se levar em conta que a ANOVA para a resistência potencial de aderência à tração indicou não haver diferença significativa entre a AM e AG para esse quesito.

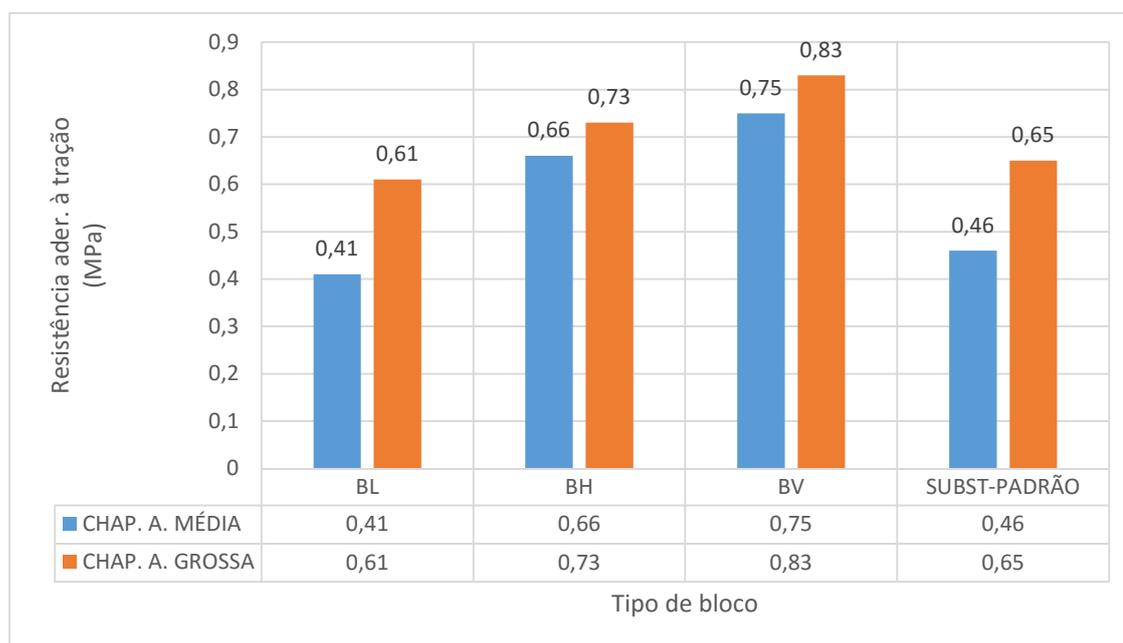
4.2.7 Resumo dos valores de resistência de aderência à tração aos 28 dias

A Tabela 4.9 traz resumo das resistências de aderência à tração para as seis combinações de blocos x chapisco. A Figura 4.9 apresenta graficamente os resultados médios e inclui os valores obtidos para o substrato-padrão.

Tabela 4.9 - Resumo dos valores de resistência de aderência à tração

Combinação	BL x AM	BH x AM	BV x AM	BL x AG	BH x AG	BV x AG
Valores em MPa	0,27	0,68	0,51	0,37	0,85	0,94
	0,61	0,53	0,85	0,45	0,69	0,94
	0,52	0,39	1,04	0,77	0,59	0,64
	0,29	0,55	0,90	1,00	0,74	0,72
	0,29	0,31	1,09	0,62	0,82	0,75
	0,25	0,67	0,79	0,67	0,58	1,07
	0,52	0,70	0,60	0,85	0,81	0,93
	0,41	0,80	0,76	0,49	0,80	0,85
	0,49	0,94	0,73	0,56	0,66	0,80
	0,39	1,00	0,43	0,75	0,64	0,73
	0,48	0,63	0,78	0,43	0,75	0,78
0,45	0,65	0,50	0,31	0,79	0,87	
Média (MPa)	0,41	0,66	0,75	0,61	0,73	0,83
DP (MPa)	0,12	0,20	0,21	0,21	0,09	0,12
CV	28%	31%	28%	35%	13%	15%

Figura 4.9 - Resumo da resistência de aderência à tração, aos 28 dias



Nota-se que a resistência de aderência à tração cresce na direção em que as ranhuras aumentam a área disponível para contato, ou seja, majoram no sentido BL→BH→BV. Quando se analisa a resistência devida ao tipo de argamassa, parece haver uma influência do tipo de bloco para que a argamassa apresente maior resistência.

Se levadas em consideração as assertivas de Pinto (2006), expostas na seção 2.3.2.5, de que areias constituídas de partículas mais esféricas e arredondadas, situação (a) da Figura 2.10, têm ângulos de atrito sensivelmente menores do que as areias constituídas de grãos angulares e menos esféricos, situação (b) da Figura 2.10, e que tal fato pode levar a um maior entrosamento e imbricamento entre as partículas quando elas são irregulares (desde que a curva granulométrica seja bem-graduada e os espaços deixados pelas partículas maiores sejam preenchidos pelas menores), pode-se explicar por que as maiores resistências de compressão e à tração na flexão, e também da resistência de aderência à tração dos blocos chapiscados foram obtidas com emprego da AG. A areia grossa da AG apresentou, na análise petrográfica, média ponderada do grau de arredondamento de 30%, enquanto para a areia média, o valor foi de 40%.

Deve-se notar, aqui, que essa consideração só vale quando se compara um mesmo tipo de bloco. Pois a Figura 4.9 mostra que o tipo de bloco influi na resistência das argamassas, visto que a interface BH x AM apresenta maior resistência do que a interface BL x AG, e que a interface BV x AM apresenta maior resistência que a interface BH x AG.

Ademais, os resultados da análise de variância para a resistência potencial de aderência das duas argamassas, expostos na Seção 4.1.1, indicaram não haver diferença estatisticamente significativa entre a AM e a AG, quando aplicadas no substrato padrão.

No sentido de compreender melhor os resultados obtidos nos ensaios de aderência à tração, a seguir, é feita a análise da variância.

4.2.8 Análise da variância para os ensaios de resistência de aderência à tração

A análise da variância (ANOVA) para os resultados dos ensaios da resistência de aderência à tração, nas diversas combinações bloco x chapisco, foi feita com auxílio do MINITAB (2016). A Tabela 4.10 traz os dados calculados. As hipóteses testadas foram:

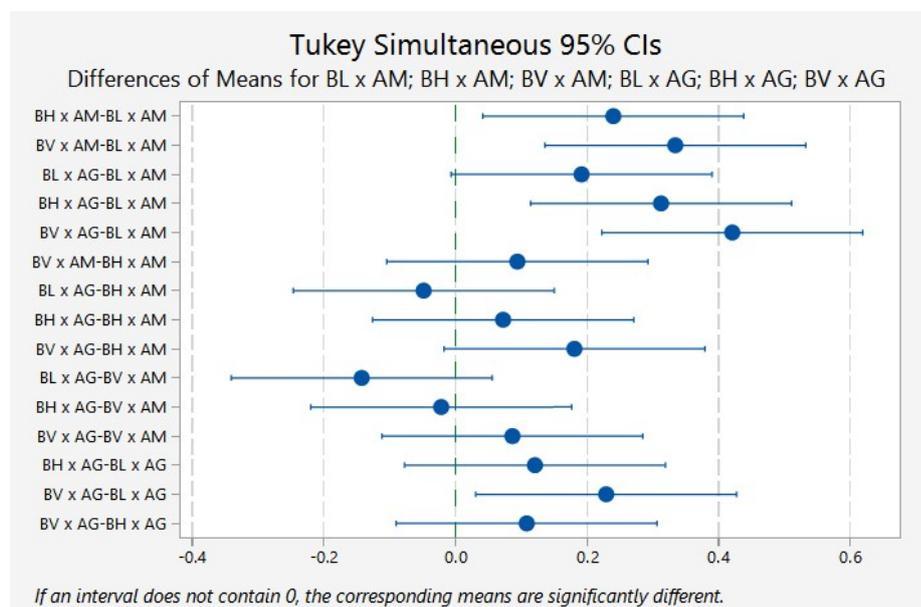
- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k =$ não existe diferença entre as médias;
- $H_1:$ existe pelo menos uma média diferente da outra.

Tabela 4.10 - Dados calculados para a ANOVA dos dados de resistência de aderência à tração

Causas da variação	GL	SQ	QM	Fcalc	Valor de P
Tratamento	5	1,27412	0,254825	9,30	< 0,0001
Resíduo	66	1,80901	0,027409		
Total	71	3,08313			

Legenda: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrados médios; Fcalc = valor F calculado; P

Como $F_{tab}(2,36) < F_{calc}(9,3)$, rejeita-se H_0 e faz-se o teste de Tukey. Os dados de saída do Teste de TUKEY, a partir do MINITAB (2016), estão na Figura 4.10.

Figura 4.10 - Teste de Tukey com $\alpha = 5\%$, a partir dos dados de saída do MINITAB (2016)

A partir da saída de dados do MINITAB (2016), os resultados foram agrupados de acordo com a semelhança de comportamento (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 - Definição de grupos de comportamento a partir do Teste de Tukey

Grupo	Combinação	Tipo de análise	Resultado
Grupo I	BLxAG - BLxAM	Mesmo tipo de bloco versus argamassas diferentes	Não significativo
	BHxAG - BHxAM		
	BVxAG - BVxAM		
Grupo II	BHxAG - BLxAM	Bloco liso versus bloco com ranhuras (argamassas iguais e/ou diferentes)	Significativamente diferente
	BHxAM - BLxAM		
	BVxAM - BLxAM		
	BVxAG - BLxAM		
	BVxAG - BLxAG		
Grupo III	BVxAM - BHxAM	Bloco com ranhuras versus bloco com ranhuras (argamassas iguais e/ou diferentes)	Não significativo
	BVxAG - BHxAG		
	BVxAG - BHxAM		
	BHxAG - BVxAM		
Grupo IV	BLxAG - BHxAG	Bloco liso versus bloco ranhurado (porém, com contrabalanceamento de fatores ou fatores próximos)	Não significativo
	BLxAG - BHxAM		
	BLxAG - BVxAM		

A análise em função do agrupamento de dados com características semelhantes permite extrair o seguinte:

- Grupo I - quando se compara o mesmo tipo de bloco com argamassas diferentes, os resultados não são significativos, indicando que não há influência da argamassa;
- Grupo II - ao se comparar blocos lisos com blocos ranhurados, os resultados indicam que as ranhuras dos blocos são significantes para o aumento da resistência de aderência à tração, independentemente se as argamassas são iguais ou diferentes;
- Grupo III – quando se comparam blocos com ranhuras versus blocos que também têm ranhuras, tanto para argamassas iguais e/ou diferentes, os resultados indicam que não há decorrência significativa;
- Grupo IV – este grupo, que possui blocos lisos versus blocos ranhurados, parece fugir ao indicado no Grupo II, que apontou resultado significativo para esse tipo de combinação. No entanto, deve-se notar que há um contrabalanceamento devido à ação positiva das ranhuras em contrapartida da argamassa. Cabe a consideração de que apenas a comparação BLxAG - BHxAG não acompanha exatamente essa constatação, podendo haver “ruídos” ou deficiência de resultado dos ensaios.

A conclusão que pode ser feita a partir dos resultados da análise da variância para os dados obtidos nos ensaios de resistência de aderência à tração é que há influência significativa do tipo de bloco, devida às ranhuras dos blocos, na medida em que estas aumentam a área disponível ou potencial para contato com a argamassa fluida de chapisco, em relação aos blocos com faces lisas.

Apesar de os resultados dos ensaios de aderência à tração mostrarem que as argamassas de chapisco feitas com areia grossa apresentam maiores resultados que aquelas com areia média, a ANOVA apontou resultados não significativos entre as duas argamassas estudadas. Isso ratifica o resultado obtido da ANOVA para a resistência potencial de aderência à tração, explanado na seção 4.1.1. Pode-se especular o fato de que as duas areias escolhidas têm muitas características semelhantes, conforme já comentado.

4.2.9 Efeito devido ao tipo de ranhura dos blocos na resistência de aderência à tração

Visto que os resultados da análise de variância indicaram efeito significativo quando há presença de ranhuras nos blocos estudados, a seguir, são investigados esses efeitos.

O BH tem faces ranhuradas horizontais na face de contato com as argamassas de chapisco. Devido às ranhuras, tem uma área superficial superior em 6,65% em relação ao BL, se comparada a área total da face que recebe a argamassa de chapisco. O BH apresenta uma distância entre as cristas das ranhuras de 5,6 mm e sulcos com profundidade de 1,00 mm, aproximadamente. Os valores foram obtidos através da medição direta nos blocos e da plotagem das suas seções com auxílio de software de desenho. Lembrando que o BH tem as dimensões de 14 cm x 19 cm x 24 cm.

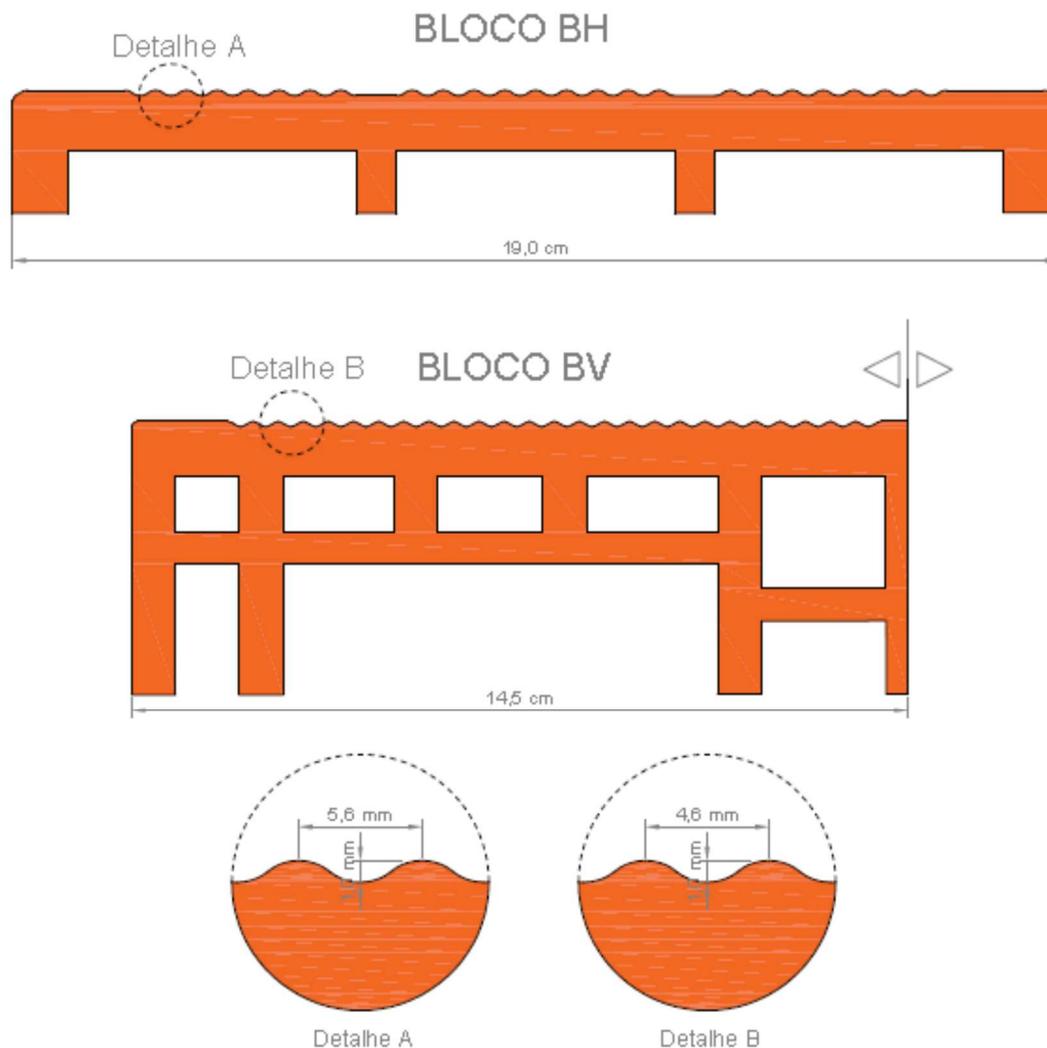
O BV tem ranhuras verticais na área de contato com as argamassas de chapisco. Devido a isso tem uma área superficial superior em 9,11% em relação ao BL, se comparada a área total da face que recebe a argamassa de chapisco. O BV apresenta uma distância entre as cristas das ranhuras de 4,6 mm e sulcos de 1,00 mm, em média. A influência dessas extensões de contato disponíveis em função das ranhuras será analisada da mesma forma que o BH. Lembrando que o BV tem as dimensões de 14 cm x 19 cm x 29 cm.

A Tabela 4.12 apresenta uma compilação dos dados informados, quando se compara com a superfície lisa do BL. A Figura 4.11 apresenta a seção transversal do BH e do BV.

Tabela 4.12 - Acréscimos potenciais na área de contato com as argamassas devidos às ranhuras

Bloco	Dimensão na direção transversal às ranhuras	Acréscimo de área devido às ranhuras
BL	190 mm	0,00%
BH	190 mm	6,65 %
BV	290 mm	9,11 %

Figura 4.11 - Seção transversal dos blocos cerâmicos BH e BV



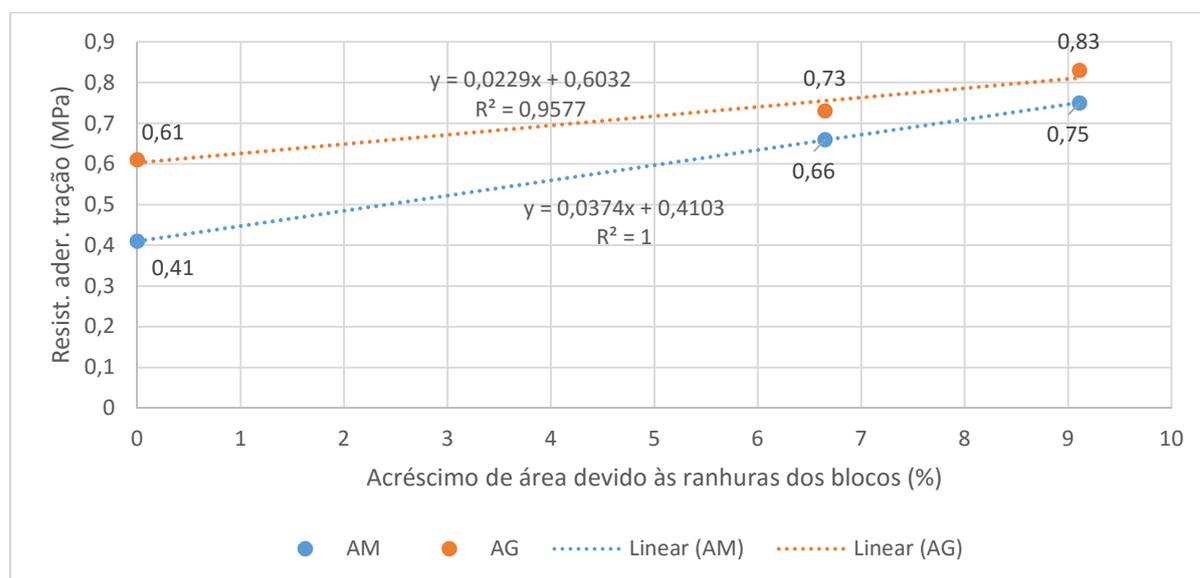
Obs.: O BH tem, nas nervuras, sulcos com 1 mm de profundidade e distância entre cristas de 5,6 mm, aproximadamente. O BV tem, nas nervuras, sulcos com 1 mm de profundidade e distância entre cristas de 4,6 mm, aproximadamente.

A Tabela 4.13 e a Figura 4.12 trazem os valores da resistência de aderência à tração em função do acréscimo potencial de área devido às ranhuras dos blocos, quando comparados com o BL, que tem faces lisas. A simples visualização do gráfico da Figura 4.12 mostra a fortíssima correlação entre esses dois fatores. No caso da AM, o coeficiente de correlação tem valor máximo, igual a 1,00. Para a AG, o coeficiente de correlação tem valor igual a 0,9577. Ambos indicam que uma maior superfície de contato disponível nos blocos cerâmicos BH e BV aumenta a resistência de aderência à tração, quando aplicadas as argamassas fluidas de chapisco.

Tabela 4.13 - Resistência de aderência à tração em função do acréscimo de área devido às ranhuras

Tipo de bloco	Acréscimo de área devido às ranhuras (%)	Resistência aderência à tração da AM (MPa)	Resistência aderência à tração da AG (MPa)
BL	0	0,41	0,61
BH	6,65	0,66	0,73
BV	9,11	0,75	0,83

Figura 4.12 - Resistência de aderência à tração em função do acréscimo de área devido às ranhuras



Pelo exposto, até aqui, a resistência de aderência à tração nos blocos cresceu na direção BL → BH → BV, com resultados significativos, na medida em que aumenta a área potencial de contato devido às ranhuras.

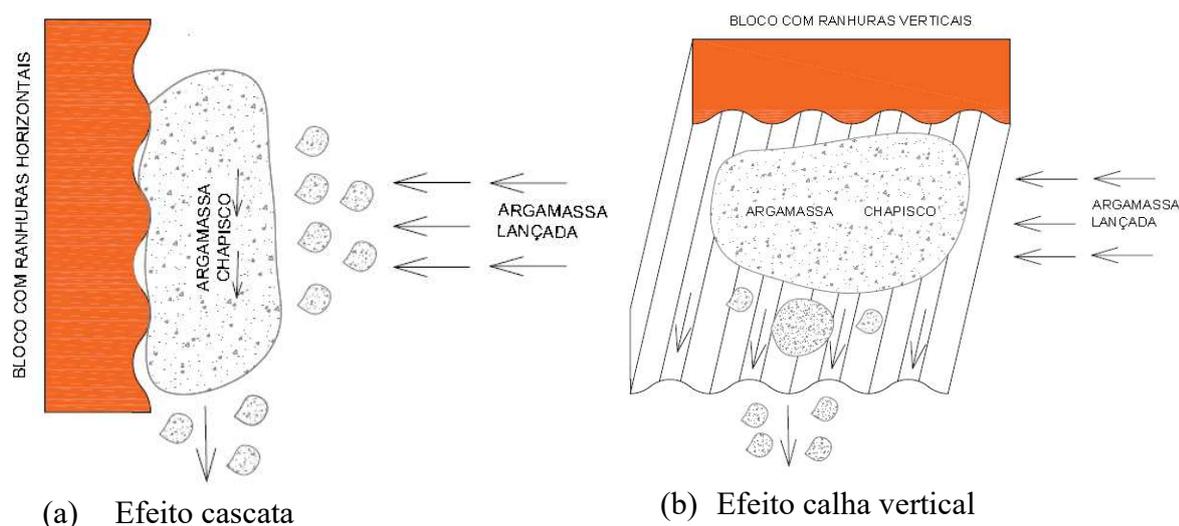
De outra forma, a resistência de aderência à tração foi maior para a AG em relação à AM, quando se compara um mesmo tipo de bloco, embora não significativamente. Pode-se examinar esse fato em razão de que as areias utilizadas na AM e AG têm algumas características ou parâmetros muito próximos, embora uma seja classificada como areia grossa e a outra como areia média.

Para estudar esse comportamento, são propostos dois efeitos, de acordo com as ranhuras dos blocos e considerando ainda que as argamassas de chapisco são fluidas, com índice de consistência em torno de 400 mm.

Para o bloco de ranhuras horizontais (BH), ao ser lançada, sob ação do impulso descrito na seção 2.6 e sob ação da gravidade, a argamassa de chapisco estaria sujeita ao “efeito cascata”, onde as ranhuras horizontais atuariam como degraus, influenciando na aderência positivamente na parte superior dos degraus e negativamente na parte inferior dos degraus.

Já para o bloco com ranhuras verticais (BV), um “efeito calha vertical” daria conta de, ao ser lançada a argamassa de chapisco, esta escorrer verticalmente pelos sulcos (ou calhas) das ranhuras verticais, possibilitando que o substrato atue de modo a succionar a pasta de cimento fluida do chapisco, atuando positivamente na aderência. A Figura 4.13 apresenta esses efeitos. Pode-se supor, que dependendo da energia de aplicação e da superposição de porções lançadas, as argamassas de chapisco possam preencher de maneira mais efetiva ou menos efetiva a superfície do bloco. Isso vai depender, ainda, das condições de porosidade e rugosidade do substrato, bem como das características reológicas das argamassas.

Figura 4.13 - Comportamento da argamassa na hora do lançamento: “efeito cascata” e “efeito calha vertical” nos blocos BH e BV



Carasek (1996, p. 168-170) estudou a resistência de aderência de uma argamassa de traço 1:3 em volume (dentre outras), com fator água/cimento de 0,70, e apontou que as

ranhuras dos blocos cerâmicos, da ordem de 0,8 e 2,0 mm de altura, intencionalmente confeccionadas durante a fabricação, com a finalidade de aumentar a área de contato com a argamassa e, conseqüentemente, a aderência, podem ser prejudiciais, uma vez que as argamassas podem não penetrar bem nas reentrâncias ou ranhuras, diminuindo a extensão de contato.

Da mesma forma, Stolz (2011, p. 116) concluiu que o aumento da área de contato potencial de um substrato nem sempre irá resultar em um aumento na resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa, pois a reologia apresentada pela argamassa pode exercer influência na área de contato com o substrato.

Deve-se destacar que a argamassa estudada por Carasek (1996) tinha índice de consistência entre 305 e 325 mm; e as argamassas estudadas por Stolz (2015) tinham índice de consistência entre 272 e 282 mm. Como neste trabalho, os resultados de resistência de aderência foram favoráveis aos substratos que possuem ranhuras, em comparação com os substratos de faces lisas, a conclusão é de que os chapiscos nele utilizados, por terem índice de consistência em torno de 400 mm e alto consumo de cimento, o que os torna argamassas fluidas e resistentes, penetram nas ranhuras dos substratos de forma mais eficiente do que argamassas com maior viscosidade.

Assim, o chapisco cumpre justamente com uma de suas finalidades, que é a de proporcionar melhor ponte de aderência entre o substrato e a argamassa de revestimento.

Apoiando o exposto, Pagnussat (2013, p. 150) concluiu que o uso de substratos de faces ranhuradas, que têm maior área potencial de contato com as argamassas do que substratos de faces lisas, “retornou valores de aderência estatisticamente superiores em relação aos substratos lisos”. Ressaltando, porém, que esse autor obteve os resultados indicados ao aplicar uma argamassa de cimento, cal e areia, no traço 1:1,5:4 (volume) em blocos cerâmicos com diferentes temperaturas de queima e, à medida que a temperatura dos blocos foi aumentada, com a conseqüente alteração da absorção de água e da porosidade das superfícies dos blocos, os valores de resistência de aderência à tração aumentaram.

Amparando também os resultados obtidos, Carasek et al. (2014, p. 97) identificaram tendência de proporcionalidade direta, através de boa correlação, entre a resistência de aderência e a extensão de aderência. Entendendo que a extensão de aderência é a relação entre a extensão de contato efetiva (sem defeitos) e a extensão total da interface (Carasek et al, 2014, p. 89).

4.3 PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO PELO MÉTODO DO CACHIMBO

A seguir, são apresentados os resultados médios dos testes de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, onde são analisadas as seguintes situações:

- SP (substrato-padrão) sem chapisco, SP com AM, SP com AG;
- Substratos sem chapisco;
- Substratos com AM;
- Substratos com AG;
- BL analisado individualmente;
- BH analisado individualmente;
- BV analisado individualmente.

Os ensaios pelo método do cachimbo foram realizados aos 28 dias da aplicação das argamassas nos substratos. A íntegra dos resultados está no Apêndice J, onde os resultados médios foram obtidos através de, no mínimo, três determinações.

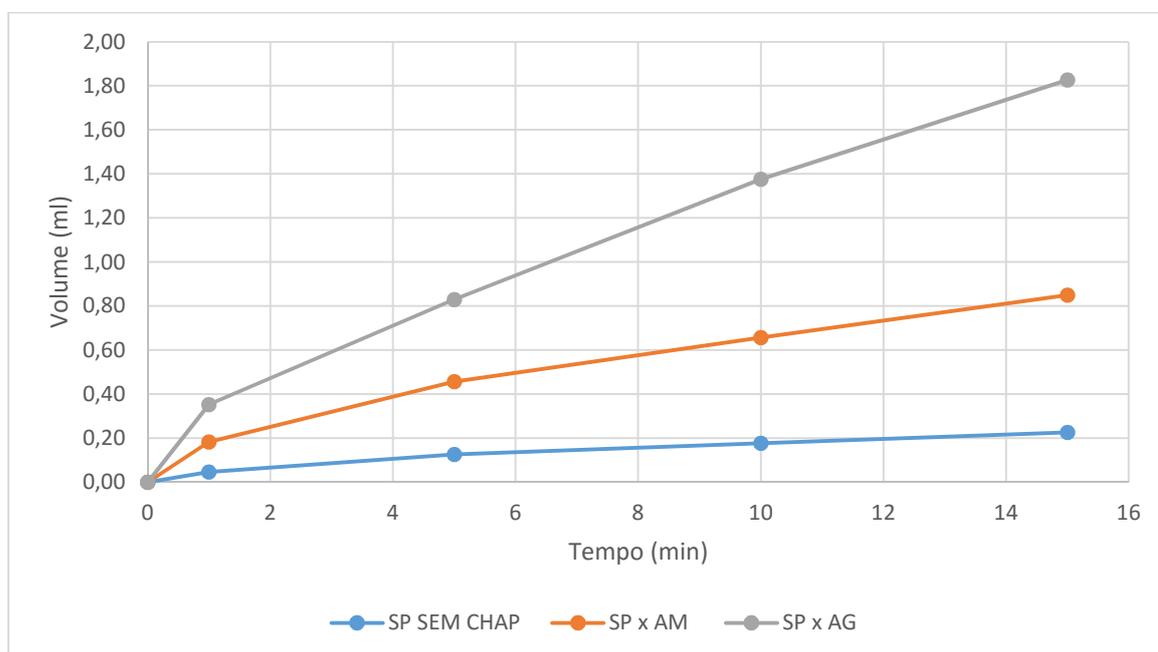
4.3.1 Método do cachimbo para o SP sem chapisco, SP com AM, SP com AG

Na situação em que se analisa o SP sem as argamassas de chapisco e com as mesmas aplicadas, a sequência de resultados mostra que o chapisco aumenta a permeabilidade e absorção do sistema SP/chapisco. Isso já era esperado, uma vez que as placas de substrato-padrão, de acordo com a NBR14082 (ABNT, 2004), devem ter um volume de água absorvido inferior a $0,5 \text{ cm}^3$, em um intervalo de 4 horas. A Tabela 4.14 e a Figura 4.14 mostram os resultados médios dos ensaios.

Tabela 4.14 - Método do cachimbo para o SP sem chapisco, SP com AM, SP com AG

Tempo (min)	0	1	5	10	15
SP sem chapisco	0,00	0,05	0,13	0,18	0,23
SP x AM	0,00	0,18	0,46	0,66	0,85
SP x AG	0,00	0,35	0,83	1,38	1,83

Figura 4.14 - Método do cachimbo para o SP sem chapisco x com AM x com AG



Nota-se o aumento da absorção quando o SP recebe o chapisco, com a AG apresentando maior absorção que a AM, e o SP sem chapisco ficando bem abaixo.

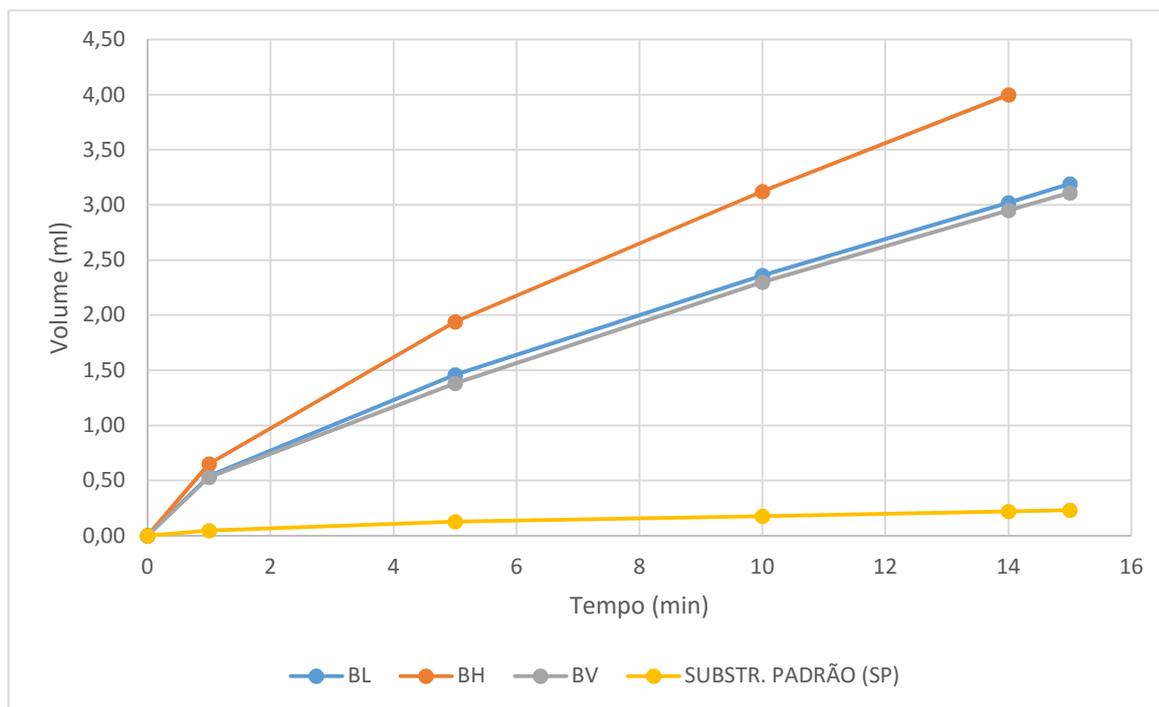
4.3.2 Método do cachimbo para os substratos sem chapisco

Quando todos os substratos foram ensaiados sem chapisco, o BH tem absorção mais rápida, seguido do BL e do BV, nessa ordem. O SP ficou bem abaixo. A Tabela 4.15 e a Figura 4.15 apresentam os resultados médios dos ensaios.

Tabela 4.15 - Método do cachimbo para os blocos e o substrato-padrão sem chapisco

Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BL	0,00	0,54	1,46	2,36	3,02	3,19
BH	0,00	0,65	1,94	3,12	4,00	
BV	0,00	0,53	1,38	2,30	2,95	3,11
SP	0,00	0,05	0,13	0,18	0,22	0,23

Figura 4.15 - Método do cachimbo para os substratos sem chapisco



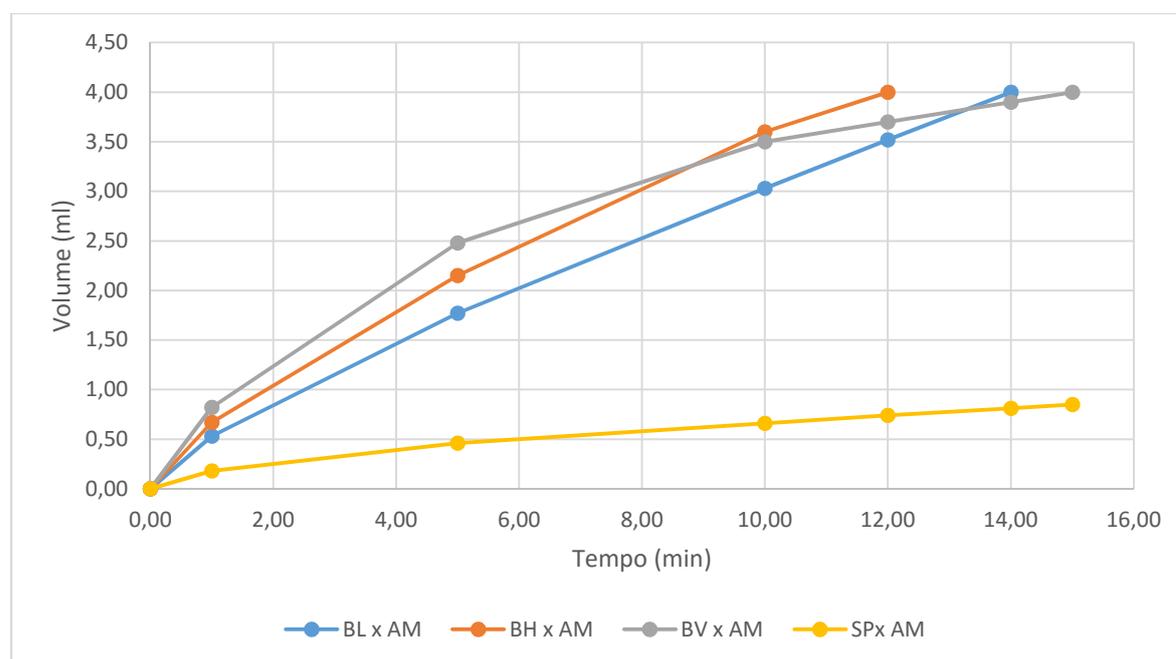
4.3.3 Método do cachimbo para os substratos com AM

Na situação em que a AM é analisada individualmente, o BH atinge mais rápido o volume de 4 ml no cachimbo, seguido do BL e BV, nessa ordem. O substrato padrão (SP) está bem abaixo. A Tabela 4.16 e a Figura 4.16 mostram os resultados médios.

Tabela 4.16 - Método do cachimbo: blocos e SP com AM

Tempo (min)	0	1	5	10	12	14	15
BL x AM	0,00	0,53	1,77	3,03	3,52	4,00	
BH x AM	0,00	0,67	2,15	3,60	4,00		
BV x AM	0,00	0,82	2,48	3,50	3,70	3,90	4,00
SP x AM	0,00	0,18	0,46	0,66	0,74	0,81	0,85

Figura 4.16 - Método do cachimbo: blocos e SP com AM



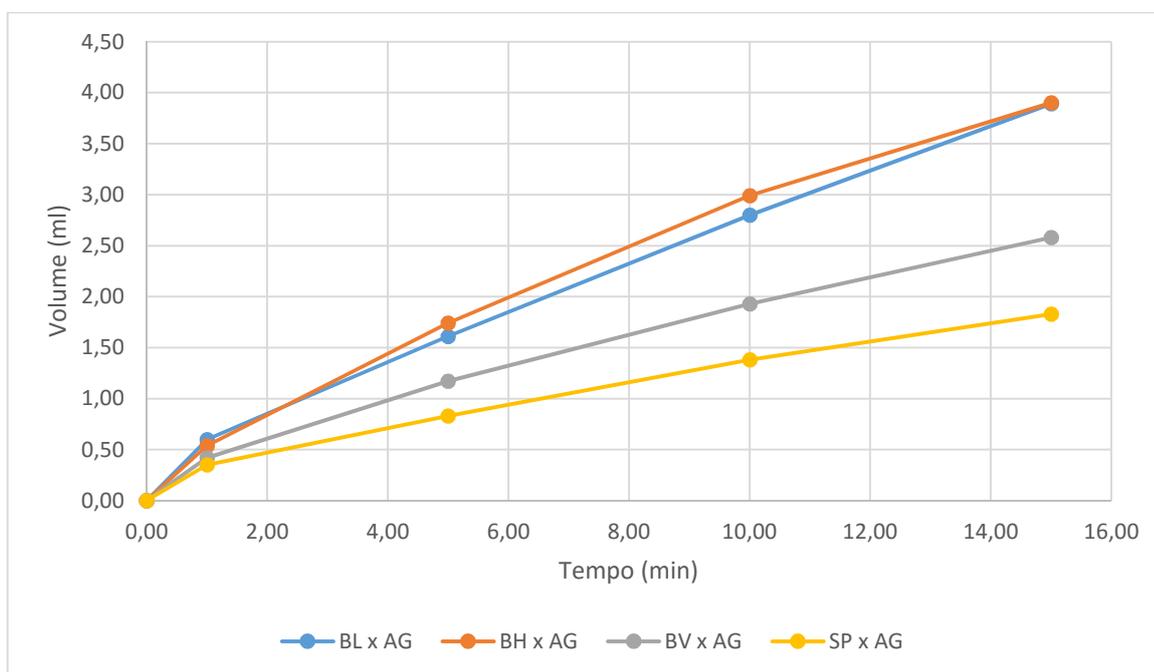
4.3.4 Método do cachimbo para os substratos com AG

Quando a AG é estudada isoladamente, a situação se repete, com o BH tendo volume absorvido mais rapidamente, seguido do BL e BV, nessa ordem. O SP fica abaixo. A Tabela 4.17 e a Figura 4.17 mostram os resultados.

Tabela 4.17 - Método do cachimbo: resumo para substratos com AG

Tempo (min)	0	1	5	10	15
BLxAG	0,00	0,60	1,61	2,80	3,89
BHxAG	0,00	0,54	1,74	2,99	3,90
BVxAG	0,00	0,42	1,17	1,93	2,58
SPxAG	0,00	0,35	0,83	1,38	1,83

Figura 4.17 - Método do cachimbo para os substratos com AG



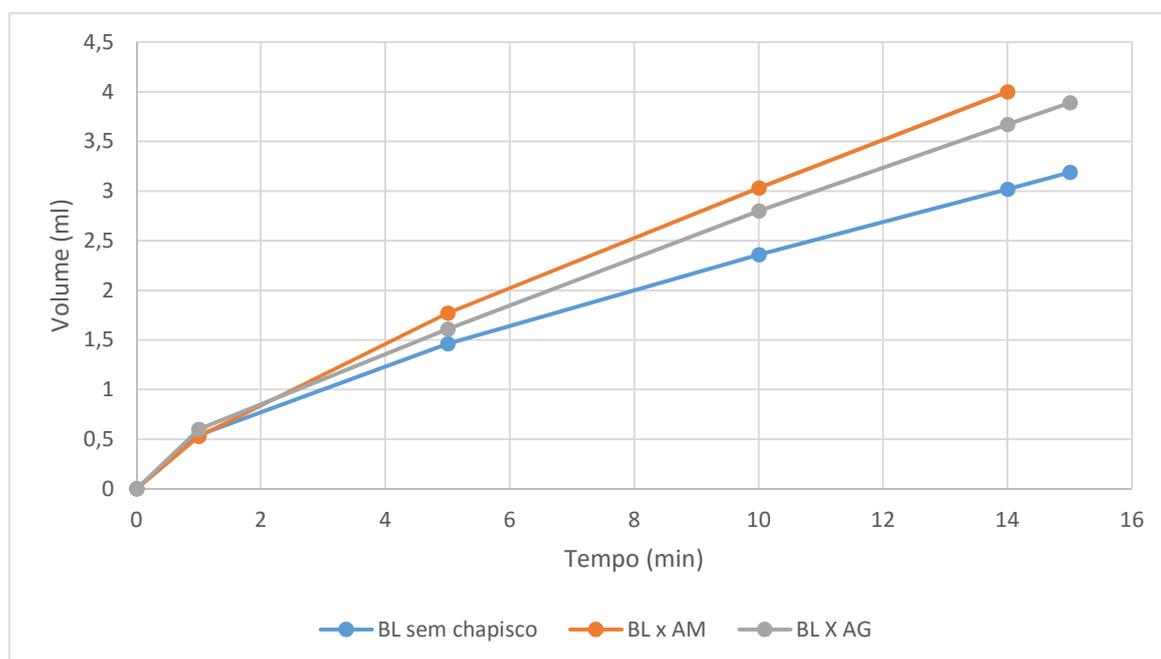
4.3.5 Método do cachimbo para o BL

Quando o BL é analisado individualmente, a AM tem absorção mais rápida, seguida da AG e, atrás, fica o BL sem chapisco. A Tabela 4.18 e a Figura 4.18 apresentam os resultados médios.

Tabela 4.18 - Método do cachimbo: resumo para o BL

Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BL sem chapisco	0	0,54	1,46	2,36	3,02	3,19
BL x AM	0	0,53	1,77	3,03	4,00	
BL X AG	0	0,6	1,61	2,80	3,67	3,89

Figura 4.18 - Método do cachimbo: resumo para o BL



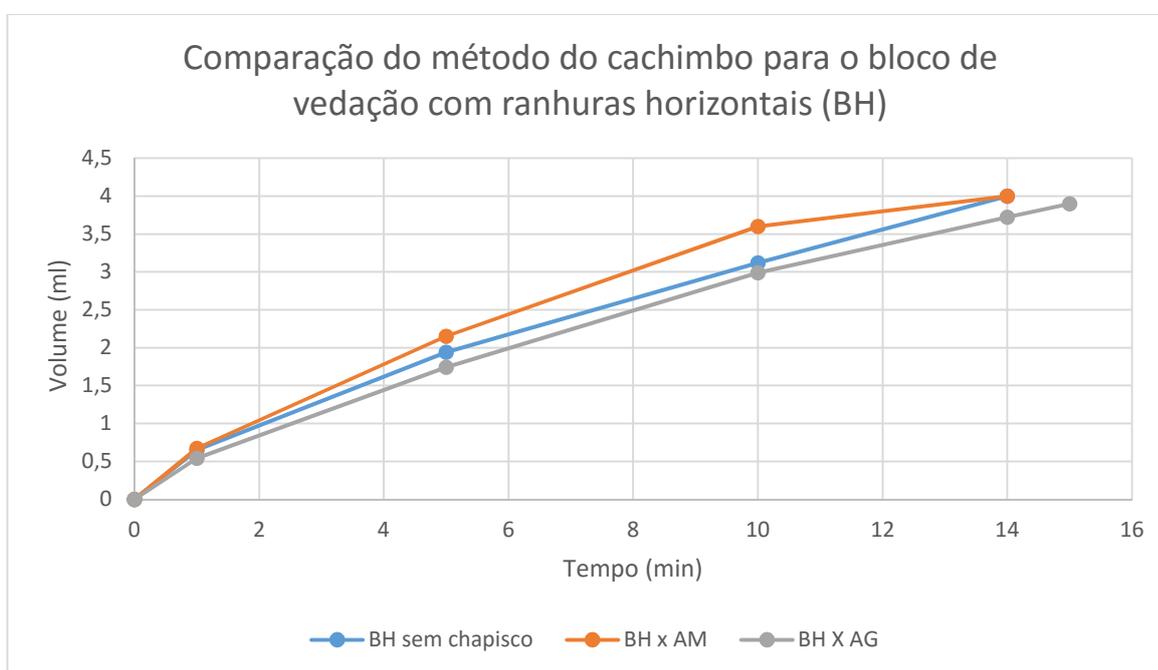
4.3.6 Método do cachimbo para o BH

Para o BH, quando analisado individualmente, a AM tem absorção mais rápida, embora o BH sem chapisco apresente a mesma absorção, aos 14 minutos. A AG demora um pouco mais e atinge a marca de 3,90 ml aos 15 minutos. A Tabela 4.19 e a Figura 4.19 mostram os resultados médios dos ensaios.

Tabela 4.19 - Método do cachimbo: resumo para o BH

Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BH sem chapisco	0	0,65	1,94	3,12	4,00	
BH x AM	0	0,67	2,15	3,60	4,00	
BH x AG	0	0,54	1,74	2,99	3,72	3,90

Figura 4.19 - Gráfico método do cachimbo: resumo para o BH



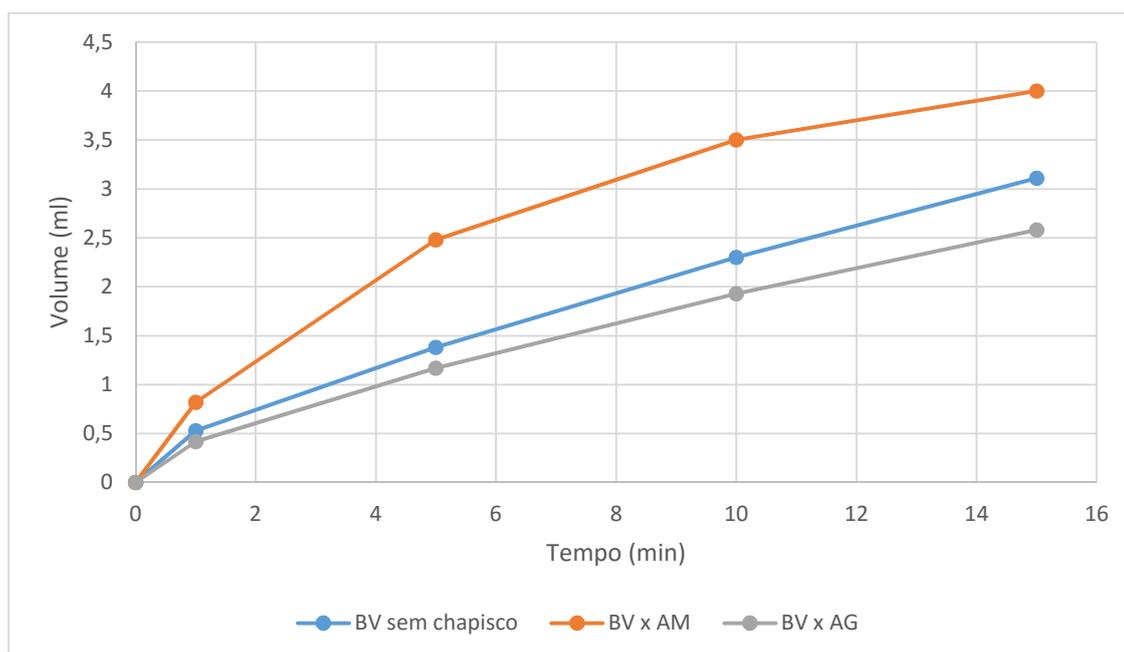
4.3.7 Método do cachimbo para o BV

Quando o BV é analisado individualmente, a AM tem absorção mais rápida. O BV sem chapisco vem depois. O BV com AG fica atrás. A Tabela 4.20 e a Figura 4.20 apontam os resultados.

Tabela 4.20 - Método do cachimbo: resumo para o BV

Tempo (min)	0	1	5	10	15
BV sem chapisco	0	0,53	1,38	2,30	3,11
BV x AM	0	0,82	2,48	3,50	4,00
BV x AG	0	0,42	1,17	1,93	2,58

Figura 4.20 - Método do cachimbo: resumo para o BV



4.3.8 Comentários sobre os ensaios de absorção e permeabilidade

Quando se analisa a situação dos substratos com AM, para os tempos ensaiados pelo método do cachimbo, a absorção é mais rápida na direção BV → BL → BH, com o SP ficando bem abaixo dos três substratos cerâmicos. Quando se faz a mesma análise para a AG, o mesmo

comportamento é verificado. O mesmo acontecendo com os substratos sem chapisco. Diante do verificado, conclui-se que a influência dos substratos, na absorção pelo método do cachimbo, está sendo mais importante que o tipo de argamassa aplicada.

Quando se analisa cada substrato cerâmico isoladamente, conforme relacionado abaixo, constata-se que a AM sempre apresenta absorção mais rápida que a AG, para os três tipos de blocos cerâmicos (embora a absorção dos substratos cerâmicos sem chapisco tenha se alternado em função do tipo de bloco, ocupando velocidades diferentes para cada tipo de bloco):

- Para o BL, a absorção é mais rápida na direção BL sem chapisco \rightarrow AG \rightarrow AM;
- Para o BH, a absorção é mais rápida na direção AG \rightarrow AM \rightarrow BH sem chapisco;
- Para o BV, a absorção é mais rápida na direção AG \rightarrow BV sem chapisco \rightarrow AM.

Como exceção ao comportamento observado para a AM e AG em relação aos blocos cerâmicos, para o SP sem chapisco, SP com AM e SP com AG o resultado é de que a velocidade de absorção se inverteu (ver Figura 4.14): a absorção é mais rápida na direção SP sem chapisco \rightarrow AM \rightarrow AG. Isso pode estar relacionado ao fato de que a absorção do SP, que é uma placa de concreto, tenha parâmetros que regulam a absorção, como a porosidade, por exemplo, diferentes daqueles dos substratos cerâmicos. Nesse sentido, Honório e Carasek (2009) apontam que os substratos cerâmicos e de concreto apresentam comportamentos diferenciados quanto à absorção de água.

Deve-se notar, ainda, a semelhança de comportamento entre o índice de absorção inicial AAI e estendido (ver Figura 3.4) com os testes de permeabilidade pelo método do cachimbo para os blocos cerâmicos sem chapisco (ver Figura 4.15). Nas duas situações, o BH tem absorção mais alta, seguida dos dois outros blocos que têm comportamentos próximos. Os mesmos autores já citados, Honório e Carasek (2009), ao avaliarem a absorção de água do substrato através de vários métodos, observaram que alguns parâmetros de absorção mostraram boa correlação com o ensaio de absorção de água inicial (AAI).

Diante dessas situações, é possível concluir que o chapisco tem a função não de aumentar ou de diminuir a permeabilidade e absorção do sistema, mas sim de regular e uniformizar o tempo de absorção. Alertando que o desempenho final vai ser sempre do sistema.

4.4 ANÁLISE DA INTERFACE SUBSTRATO-CHAPISCO ATRAVÉS DE IMAGENS

A análise da interface entre os blocos cerâmicos e as argamassas de chapisco, através de imagens foi explorada de duas maneiras:

- A primeira teve o objetivo de verificar a uniformidade da aplicação do chapisco, pela observação da extensão de contato, através da lupa estereoscópica, e contou com técnicas de estatística através da análise da variância;
- A segunda, de natureza somente qualitativa, contou com uma série de imagens que mostraram as diversas interfaces observadas ao microscópio petrográfico, que tinha campo de visão, na ocular, de 5 mm.

4.4.1 Teste de verificação da uniformidade da aplicação do chapisco nos blocos

Para testar se houve uniformidade na aplicação do chapisco nos blocos, verificada pela extensão (ou falha) de contato na interface, foi realizada a seguinte experiência:

- Com auxílio de uma talhadeira, uma marreta, uma torquês e uma chave inglesa foram obtidos pequenos pedaços dos blocos chapiscados, com comprimento aproximado de 5 cm para cada exemplar. A idade dos exemplares era de 180 dias;
- A quebra foi feita de forma transversal à face do chapisco;
- Foram obtidos em torno de 100 exemplares para cada combinação bloco/chapisco, que foram colocados em sacos identificados por interface;
- Através de uma lupa estereoscópica, que fornecia o campo de visão de 20 mm, foram analisados 40 exemplares de cada combinação bloco/argamassa, tomados de forma aleatória de dentro dos sacos.
- Para cada exemplar, foram medidas as falhas de contato na interface, em milímetros, com auxílio de uma régua (somente do campo de visão de 20 milímetros da lupa, com uma medição por exemplar);
- Foram montadas as planilhas com os dados de cada combinação bloco/argamassa e feita a análise da variância, com auxílio do MINITAB (2016).

A Tabela 4.21 traz os dados com as medidas de extensão de contato para os segmentos (identificadas pelas falhas de contato, em cada segmento de 20 milímetros dos exemplares). A Tabela 4.22 apresenta os dados de saída da análise de variância. As hipóteses testadas foram:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k =$ não existe diferença entre as médias. O processo de aplicação das argamassas foi uniforme;
- $H_1:$ existe pelo menos uma média diferente da outra. O processo de aplicação não foi uniforme.

Tabela 4.21 - Medidas, em milímetros, das falhas de contato, para cada exemplar da interface

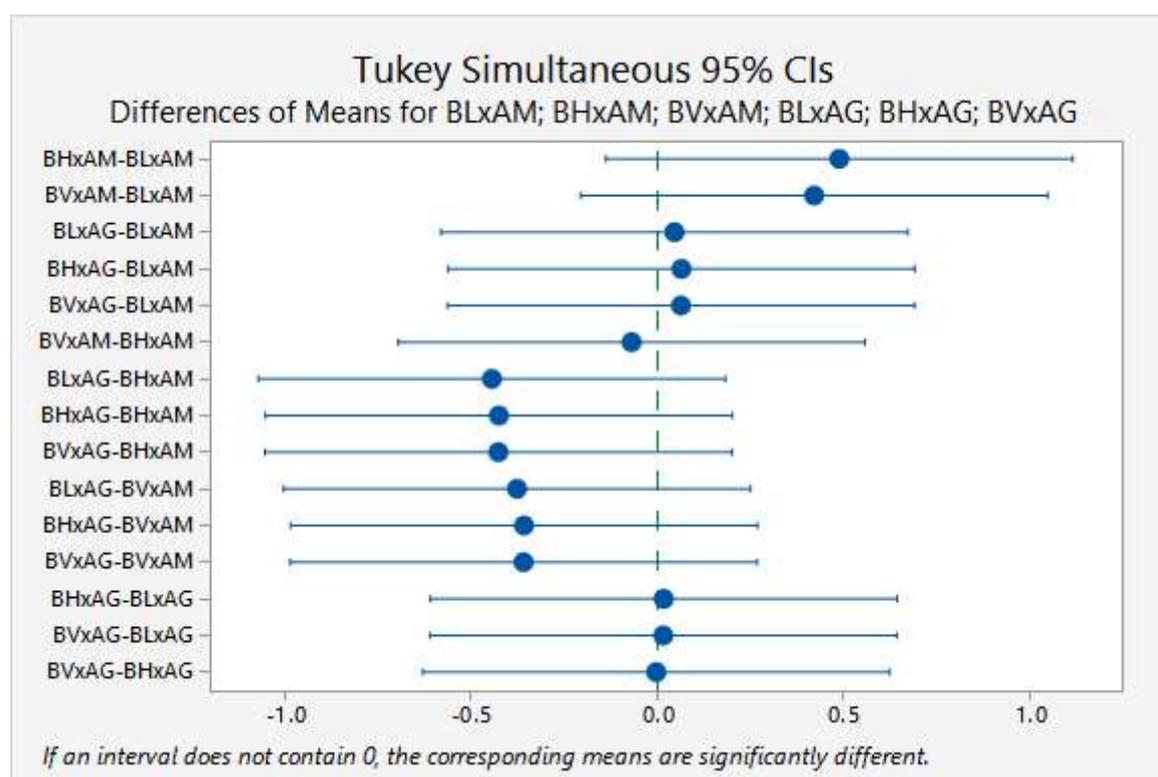
Exemplar	BLxAM	BHxAM	BVxAM	BLxAG	BHxAG	BVxAG
1	0,7	0	0,5	0	1,5	0
2	0,5	1,5	0	0	2	0
3	0,5	0	0,2	0	2	0
4	0,3	0,6	1,5	2	0	0
5	0,7	2	1,2	1,5	1	0
6	0,1	0	0,5	0,1	0	1,2
7	0,7	0	3	0	1	0,5
8	1	0,5	0	0,5	0,6	0,3
9	0,5	0	0,1	0	0	0,7
10	1	0,6	0	0,5	0	0,5
11	0,5	2	0,7	0	1	0,6
12	0,6	2	0	0,3	0,7	0,7
13	0	6	0,5	1,5	1,3	3
14	0	3	0	0,25	0	0
15	0	0	1,4	0	0,2	1
16	3,5	2,5	2,5	0,3	0,1	0
17	0,6	3	0,4	0	0,4	2
18	0	3	4	0,2	0,3	0,3
19	1	0	0	0	0,5	0
20	0	0	0,5	0,5	0	0,2
21	1	0,3	0	0	0	0,3
22	0	0,5	2	0	0,5	1,3
23	0,5	1	0,4	0	1	0,5
24	0,05	1	1,2	0	1	0,5
25	2,2	0	1,7	0,5	1	1,5
26	0	0	1,4	0,2	0	0,1
27	0,1	1,5	1	0,5	0,05	0
28	0,5	0	1,8	0,2	0,5	0
29	0	0	0,5	8	0,6	1,2
30	1	0	0,7	0	1	1
31	0	0	3	0,1	0,1	0
32	0	0	0	0,2	0	1,5
33	0	1,5	1	0,1	0	0
34	0,5	2,5	0,6	2	1	0
35	0	0	0,6	1	1	0
36	0,5	3	1,3	0	0	1
37	0,05	0,7	1,8	0	1	1
38	0	0	0	0	0	0,8
39	0	0	0	0,05	0	0
40	0,5	0	0	0,5	0,4	0
Média	0,48	0,97	0,90	0,53	0,54	0,54
Desv.Pdr.	0,67	1,34	0,98	1,32	0,57	0,67
CV	140%	138%	109%	252%	104%	124%

Tabela 4.22 - Dados de saída da análise da variância

Causas da variação	GL	SQ	QM	Fcalc	Valor de P
Tratamento	5	9,240	1,84804	1,94	0,0886
Resíduo	234	222,966	0,95285		
Total	239	232,206			

Legenda: GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrados médios; Fcalc = valor F calculado.

Os dados de saída do Teste de TUKEY, a partir do MINITAB (2016), estão na Figura 4.21, onde se constata que não existe diferença significativa entre as médias.

Figura 4.21 - Teste de Tukey com $\alpha = 5\%$, a partir dos de saída do programa MINITAB

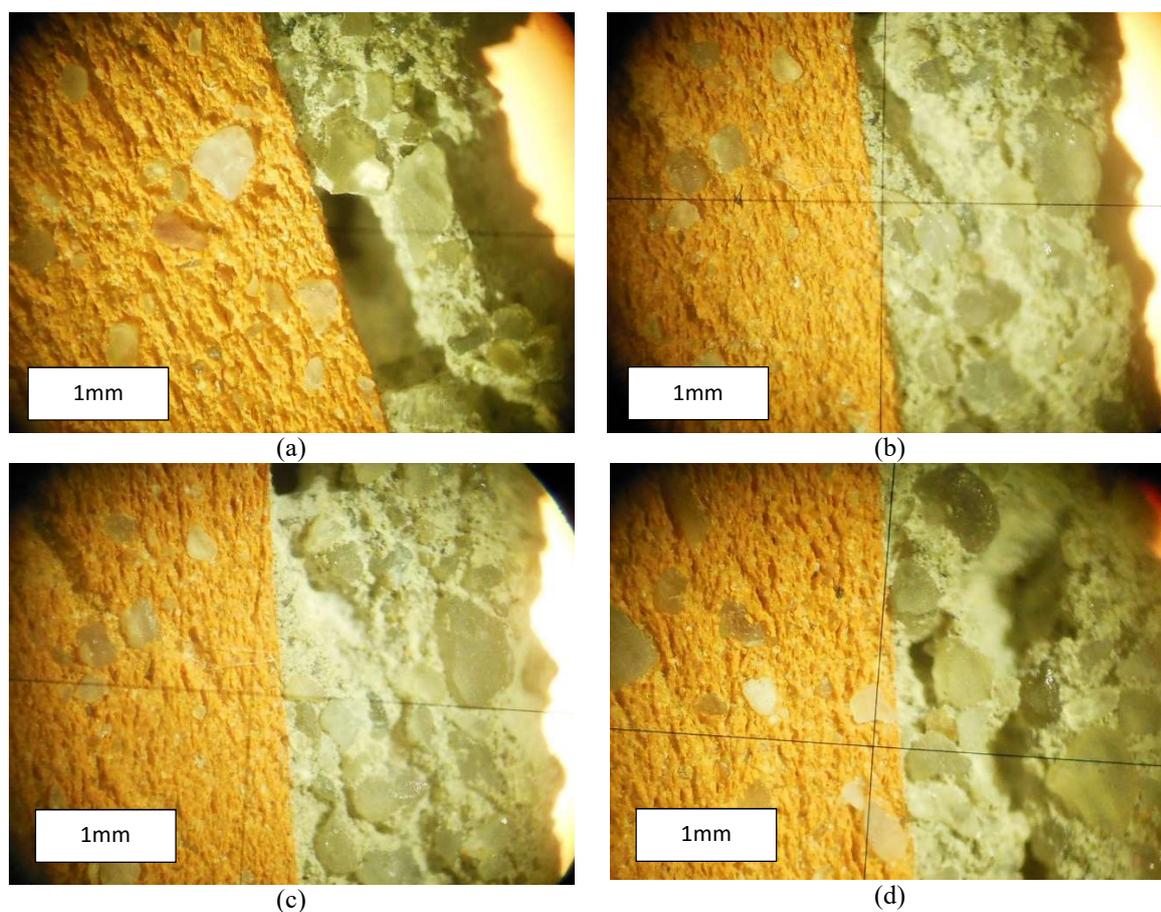
Visto que os resultados da ANOVA indicam que não há diferença significativa entre as médias, a conclusão é de que o processo de aplicação das argamassas de chapisco, pelo pedreiro, foi uniforme para todas as interfaces. De outra forma, pode-se concluir que ambas as argamassas ofereceram condições de aplicação uniforme. Embora tenha sido empregada a

análise da variância, deve-se ressaltar que esta é uma análise qualitativa, visto a pequena extensão analisada, se comparada à imensa extensão da área do chapisco aplicado nos blocos.

4.4.2 Análise da interface BL x AM

Esta interface apresentou a menor resistência de aderência à tração (0,41Mpa). O tipo de ruptura observado nos ensaios foi na argamassa de chapisco, na maioria dos casos, com pequenos traços no substrato. Quando da análise da permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, a AM apresentou absorção mais rápida que a AG. As imagens da Figura 4.22 apresentam alguns grãos que parecem não estar bem envolvidos pela pasta de cimento, e com presença de vazios que parecem provocados pelo encastelamento de grãos.

Figura 4.22 - Interface BL x AM, 56 dias de idade do chapisco

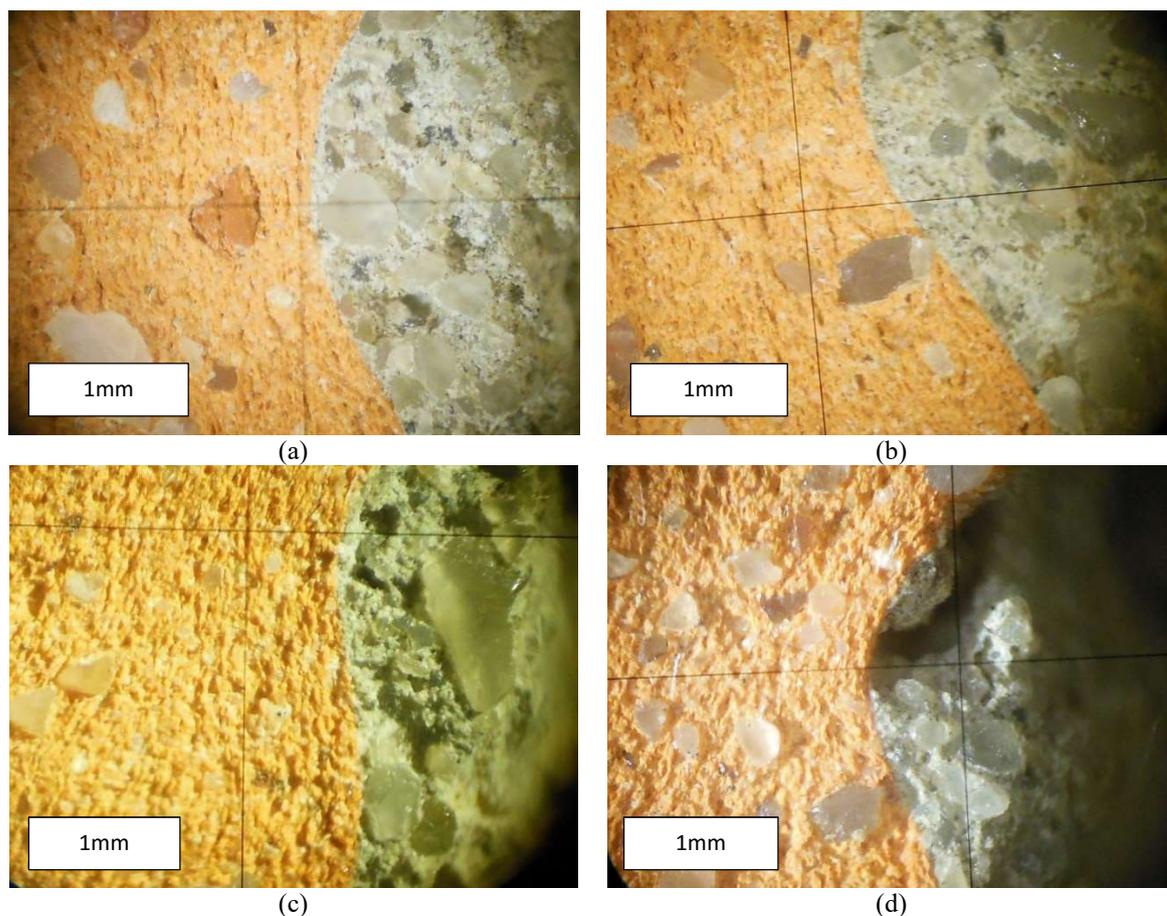


Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.4.3 Análise da interface BH x AM

Esta interface apresentou a quarta resistência de aderência à tração (0,66 MPa), mas ficou acima da interface BL x AG (0,61 MPa), provando a importância da extensão de contato devida às ranhuras na resistência de aderência à tração. O tipo de ruptura aconteceu da mesma forma que na interface anterior, na argamassa, mas agora com alguns traços a mais do substrato arrancado. Na análise da permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, o BH apresentou as mais altas taxas de absorção para as duas argamassas de chapisco. Do lado da contribuição da AM, esta apresentou absorção mais rápida para esta interface, quando comparada com a AG. Conforme a Figura 4.23, a pasta desta interface parece envolver melhor os grãos do que na interface anterior.

Figura 4.23 - Interface BH x AM, 56 dias de idade do chapisco

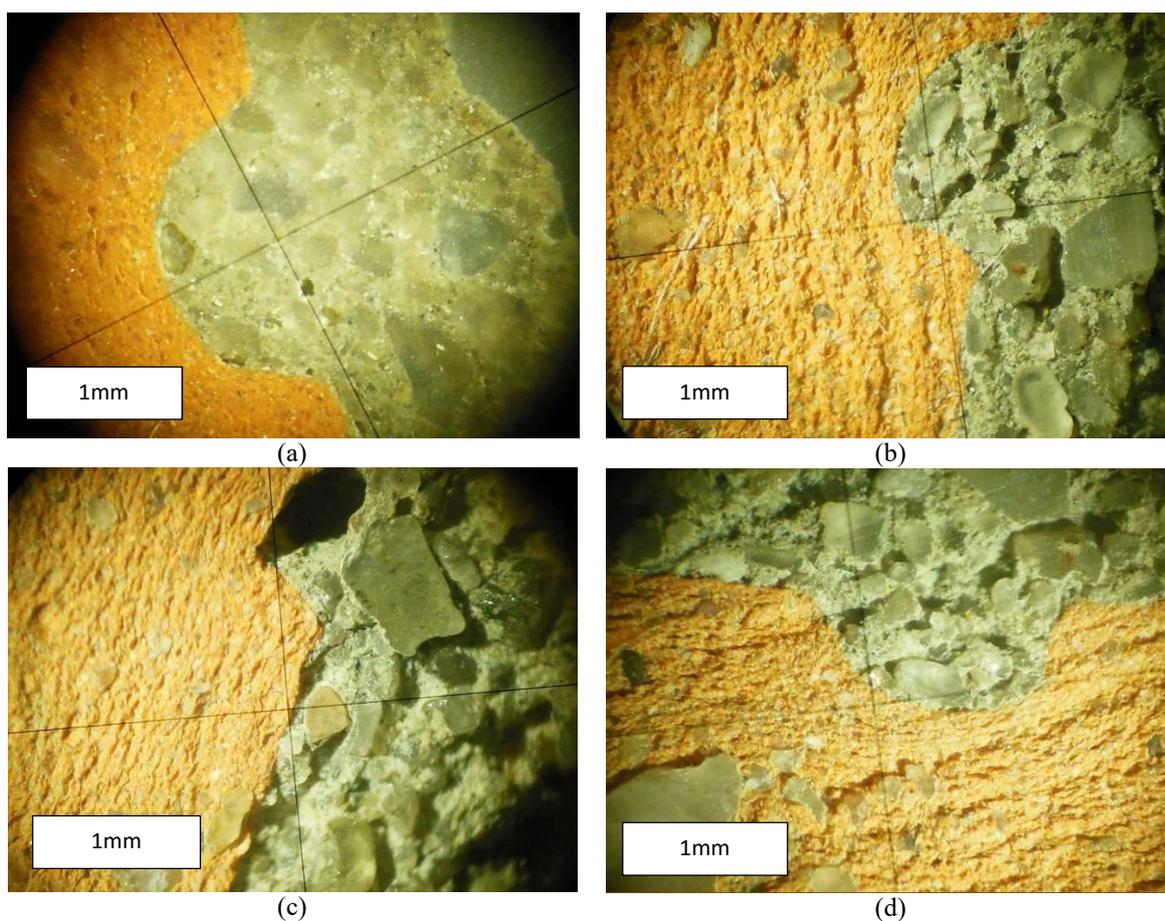


Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.4.4 Análise da interface BV x AM

Esta interface apresentou a segunda maior resistência de aderência à tração (0,75 Mpa). A forma de ruptura aconteceu principalmente no substrato, indicando a forte resistência da argamassa de chapisco. Quando da análise da permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, a AM apresentou absorção mais rápida, porém o BV contrabalanceou com absorção mais lenta. As imagens (a), (b) e (d) da Figura 4.24 evidenciam grãos bem envolvidos pela pasta e uma boa extensão de aderência na interface, embora haja vazios na imagem (c), com encastelamento de grãos.

Figura 4.24 - Interface BV x AM, 56 dias de idade do chapisco

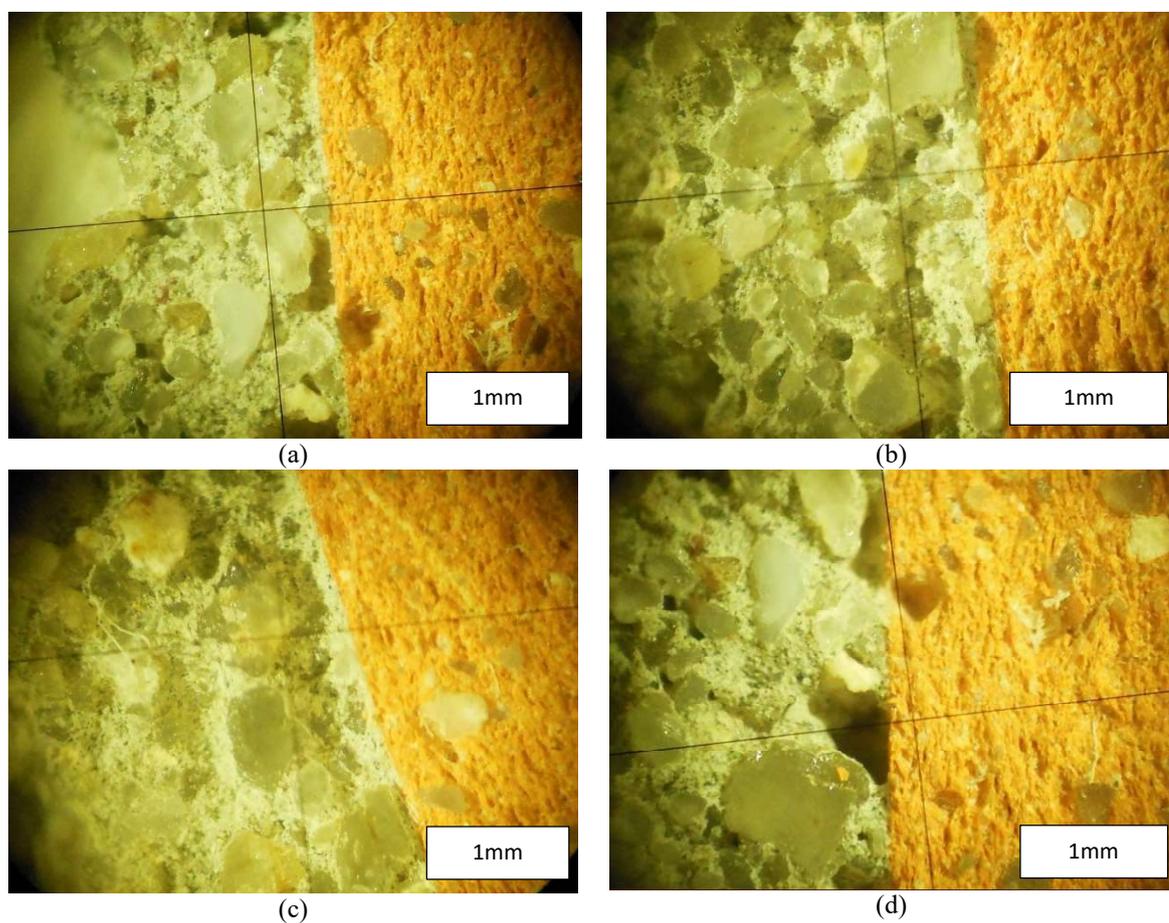


Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.4.5 Análise da interface BL x AG

Esta interface apresentou a segunda menor resistência de aderência à tração (0,61 MPa). A forma de ruptura aconteceu de forma variada, tanto no chapisco como no substrato, mas evidenciou a boa resistência do chapisco. Na permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, a interface BL x AG apresentou absorção intermediária em relação aos outros dois tipos de blocos (Figura 4.25).

Figura 4.25 - Interface BL x AG, ao microscópio, 56 dias

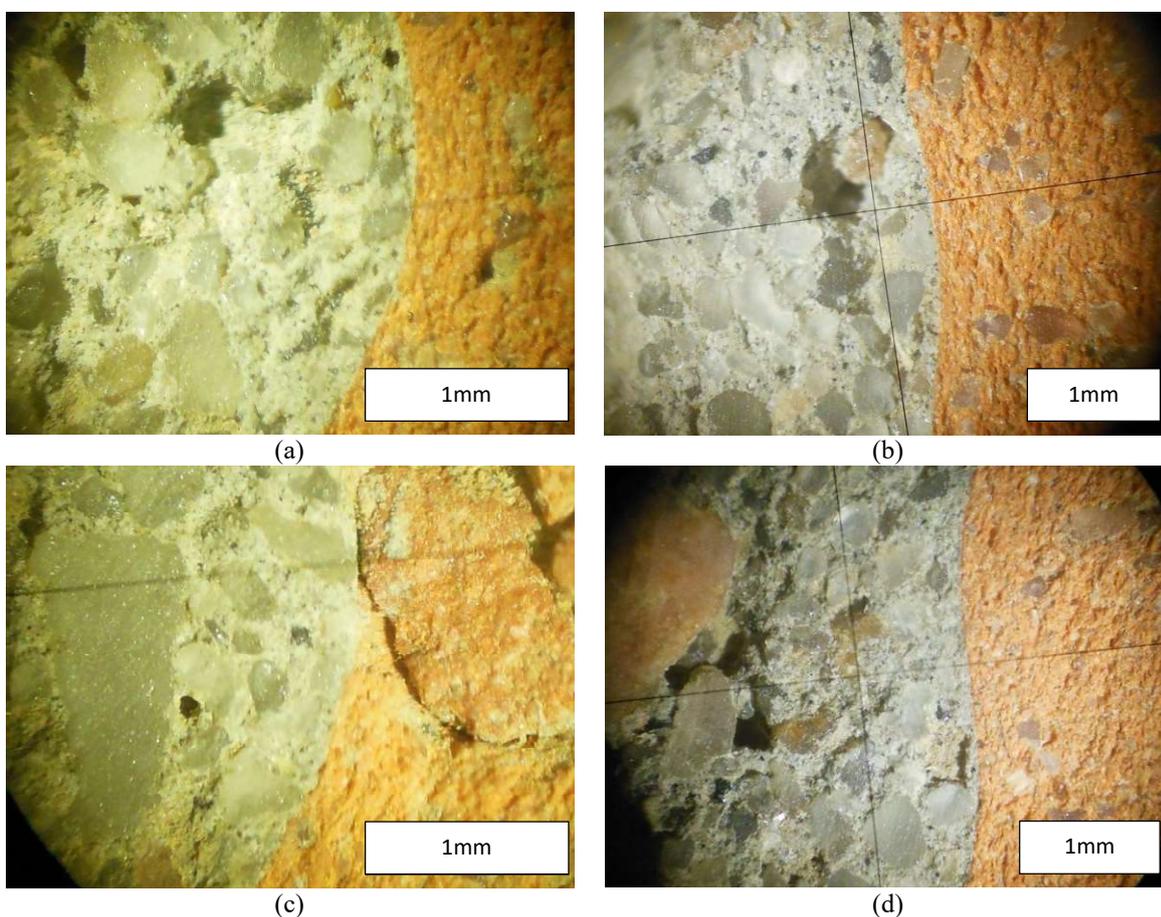


Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.4.6 Análise da interface BH x AG

Esta interface apresentou a terceira maior resistência de aderência à tração (0,73 MPa); mas com resultado inferior à interface BV x AM (0,75 MPa). A forma de ruptura aconteceu predominantemente no substrato, evidenciando a forte resistência do chapisco. Na análise da permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, o BH apresentou as mais altas taxas de absorção para as duas argamassas de chapisco; porém a AG ofereceu absorção mais lenta. A argamassa parece ter uma boa extensão de contato com o bloco (Figura 4.26).

Figura 4.26 - Interface BH x AG, ao microscópio, 56 dias

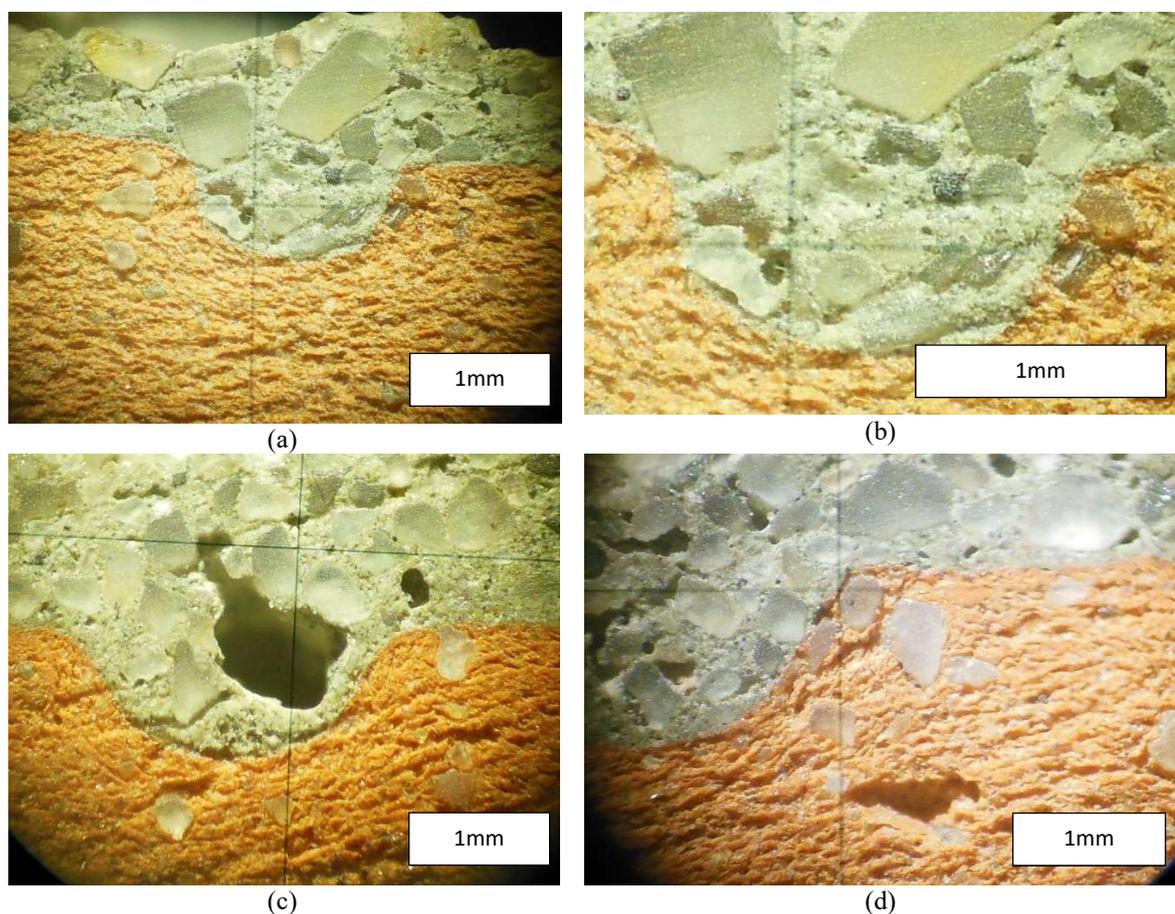


Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.4.7 Análise da interface BV x AG

Esta interface apresentou a maior resistência de aderência à tração (0,83 Mpa). A forma de ruptura aconteceu quase que totalmente no substrato, mostrando a grande resistência do chapisco. Na permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, a interface BV x AG apresentou absorção mais lenta. As imagens apresentam grãos maiores e menores que parecem estar bem acomodados, evidenciando o bom entrosamento obtido pela pasta que envolve os grãos, embora ainda ocorram vazios (Figura 4.27).

Figura 4.27 - Interface BV x AG, ao microscópio, 56 dias



Fonte: Coletânea de imagens do autor

4.4.8 Comentários sobre a análise da interface através de imagens

Na série de imagens acima, não foi possível notar uma diferença de comportamento que pudesse informar precisamente sobre o desempenho das interfaces. Uma vez que se tratam de imagens pontuais, tomadas aleatoriamente, elas servem mais para uma apreciação qualitativa.

A esse respeito, os resultados da análise de variância indicaram que não há diferença significativa no processo de aplicação das argamassas de chapisco, pelo pedreiro, indicando uniformidade nesse quesito, em todas as interfaces.

Como as análises anteriores de resistência à tração e de absorção, baseadas em ensaios, cálculos, tabelas e gráficos, forneceram valores que assinalaram certo comportamento, pode-se supor que a interface BV x AG, que teve a maior resistência de aderência à tração, apresente um bom equilíbrio na distribuição da pasta envolvendo os grãos (embora essa mesma interface também apresente defeitos na extensão de contato).

A observação das interfaces pela lupa estereoscópica e também pelo microscópio petrográfico mostrou que, em todas as interfaces analisadas, nos pontos onde havia vazios, em geral, havia o encastelamento de grãos maiores formando uma espécie de arco, obstruindo a passagem de grãos menores e de pasta, originando falha na extensão de aderência. Isso pode estar relacionado à qualidade da curva granulométrica dos agregados, mas também à qualidade da mistura e às técnicas de aplicação do chapisco.

Em relação aos substratos, a superfície dos blocos cerâmicos parece estar bem coberta pela pasta da argamassa (com as exceções já relatadas dos grãos encastelados), o que proporcionou bom envolvimento aos grãos de areia das argamassas fluidas do chapisco.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo estudar a interface entre blocos cerâmicos de vedação e argamassas de chapisco, em que foram analisados os aspectos da topografia superficial dos blocos e a influência do conjunto de características das areias utilizadas. Foram produzidas duas argamassas de chapisco, uma com areia média (AM) e outra com areia grossa (AG). Partindo-se de um traço 1:3 (em volume), os traços foram convertidos em massa, para uso em laboratório. As argamassas de chapisco foram lançadas pelo método tradicional sobre três substratos cerâmicos: o bloco de vedação com faces lisas (BL); o bloco de vedação com faces ranhuradas horizontais (BH); e o bloco de vedação com faces ranhuradas verticais (BV), o que gerou seis interfaces substrato-chapisco.

Os materiais empregados, bem como as argamassas de chapisco utilizadas, foram todos caracterizados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As interfaces resultantes foram analisadas quantitativamente através da resistência de aderência à tração e da permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo.

As análises foram feitas na tentativa de relacionarem-se os aspectos da superfície dos blocos e o desempenho das argamassas de chapisco frente à influência das características das areias empregadas. A caracterização das areias realizou-se através da composição granulométrica, inchamento, absorção de água, massa unitária, índice de volume de vazios e massa específica; contou-se também com a análise petrográfica, realizada com supervisão de geólogo especializado, em que foram estudadas a morfometria dos grãos das areias, através do arredondamento e esfericidade, e a constituição mineralógica.

Qualitativamente, as interfaces foram analisadas através de lupa estereoscópica e microscópio petrográfico, na intenção de se observar o comportamento das argamassas em contato com os blocos cerâmicos.

5.1 CONCLUSÕES

Nas condições desta pesquisa, ficam as seguintes conclusões:

5.1.1 Quanto às características dos agregados miúdos

Tradicionalmente, o chapisco é feito com areia grossa, de forma a aumentar a rugosidade do substrato e melhorar a aderência. Visto que, neste trabalho, a areia média empregada teve desempenho similar à areia grossa, pode-se recomendar seu uso para o chapisco, desde que analisadas as características do agregado no que se refere à massa unitária, massa específica, índice de volume de vazios, curva granulométrica, coeficiente de uniformidade e coeficiente de curvatura, bem como os graus de esfericidade e arredondamento. Isso pode ser interessante, especialmente, em argamassas projetadas mecanicamente, onde grãos maiores podem obstruir os mecanismos, o que pode ser objeto de outros estudos.

5.1.2 Quanto às características das argamassas de chapisco

O resultado da análise da variância indicou não haver diferença significativa para a resistência potencial de aderência à tração da argamassa de chapisco com areia média (AM) versus a argamassa de chapisco com areia grossa (AG), quando aplicadas ao substrato-padrão (SP). O mesmo ocorreu quando se analisou a resistência de aderência à tração para as duas argamassas de chapisco aplicadas aos blocos cerâmicos. Fato que pode ser explicado por algumas semelhanças nas características dos agregados miúdos empregados.

Analisando de outra forma, o fato de a AG apresentar sempre maior resistência de aderência à tração que a AM, para um mesmo tipo de bloco, pode ser explicado por um possível melhor entrosamento e imbricamento dos grãos da areia grossa da AG, apontado pela diferença no grau de arredondamento das duas areias. A melhor qualidade da curva granulométrica da areia grossa, apontada pelos coeficientes de curvatura (C_c) e de uniformidade (C_u), também reforça esse argumento.

5.1.3 Quanto à permeabilidade e absorção

A argamassa de chapisco com areia média (AM) apresentou, nos ensaios de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, sempre absorção mais rápida que a argamassa de chapisco com areia grossa (AG). Observou-se, aí, uma correspondência inversa

entre os resultados obtidos para a resistência de aderência à tração, o qual a AG apresentou maiores valores que a AM, para os blocos cerâmicos desta pesquisa.

Notou-se, ainda, a correspondência de resultados entre o índice de absorção inicial AAI e estendido com os testes de permeabilidade e absorção pelo método do cachimbo, para os blocos cerâmicos sem chapisco. Nas duas situações, o bloco cerâmico com faces ranhuradas horizontais (BH) teve absorção mais rápida, seguida do bloco cerâmico de faces lisas (BL) e do bloco cerâmico com faces ranhuradas verticais (BV), que têm comportamentos próximos.

5.1.4 Quanto à resistência de aderência à tração e a extensão de aderência

A resistência de aderência à tração nos blocos cresceu na direção $BL \rightarrow BH \rightarrow BV$, com resultados significativos na medida em que aumentava a extensão de aderência devida às ranhuras dos blocos. A análise foi ampliada e os resultados mostraram intensa correlação entre esses dois fatores. No caso da AM x blocos, o coeficiente de correlação apresentou valor máximo, igual a 1,00. Para a AG x blocos, o coeficiente de correlação apontou valor de 0,9577. Ambos os resultados indicam que a maior extensão de contato disponível, devida às ranhuras dos blocos cerâmicos BH e BV, em relação ao BL, aumentou a resistência de aderência à tração, quando aplicadas as argamassas fluidas de chapisco.

5.1.5 Quanto à análise das imagens

Através de um teste de verificação da uniformidade da aplicação do chapisco nos blocos, realizado pela medida, em milímetros, dos defeitos na extensão de contato, com observação pela lupa estereoscópica, os resultados da análise da variância indicaram não haver diferença significativa entre as médias das seis interfaces analisadas. Podendo-se concluir que o processo de aplicação das argamassas de chapisco, pelo pedreiro, foi uniforme para todas as interfaces. De outra forma, pode-se concluir que ambas as argamassas ofereceram as mesmas condições de aplicação uniforme. Embora tenha sido empregada a análise de variância, fica ressaltado que esta é uma análise qualitativa, visto a pequena extensão analisada, se comparada à imensa extensão da área do chapisco aplicado nos blocos.

A observação das interfaces pela lupa estereoscópica e também pelo microscópio petrográfico mostrou que, nos pontos onde havia vazios, em geral, havia o encastelamento de

grãos maiores formando uma espécie de arco, obstruindo a passagem de grãos menores e de pasta, originando falha na extensão de aderência. Isso pode estar relacionado à qualidade da curva granulométrica e ao grau de entrosamento dos grãos das areias empregadas. Mas também pode estar relacionado à reologia da argamassa fluida do chapisco.

5.1.6 Quanto às funções das argamassas de chapisco:

A constatação final é de que o tratamento de base através do emprego de chapisco pode proporcionar vários benefícios: aumentar a rugosidade da base, aumentar a resistência de aderência à tração, regular e uniformizar a capacidade de sucção e absorção de água por parte do substrato, evitar diferentes tempos de sarrafeamento e desempenho para a camada de revestimento. Com tudo isso, o tratamento da base com chapisco pode aumentar o desempenho e a durabilidade dos revestimentos de argamassa.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados desta pesquisa ficam restritos às variáveis e condições indicadas. Novos questionamentos podem ser temas de outras pesquisas:

- a) ampliar a quantidade de substratos, que tenham maior diversidade em relação à topografia superficial, face ao emprego das argamassas de chapisco;
- b) realizar mesmo estudo da interface, porém, com a inclusão de argamassas de chapisco com areia fina e agregados de britagem de rocha;
- c) examinar as características dos agregados das argamassas de chapisco projetado mecanicamente;
- d) estudar argamassas de chapisco industrializadas;
- e) aprofundar o estudo do efeito cascata e do efeito calha vertical na interface substrato-argamassas de chapisco;
- f) pesquisar limites de distribuição granulométrica dos agregados miúdos especificamente para argamassas de revestimento, uma vez que a NBR 7211 (ABNT, 2009) trata de agregados destinados à produção de concreto.

REFERÊNCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassa**. Projeto Revestimentos de Argamassa – Comunidade da Construção. Disponível em <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/4/caracteristicas/o-sistema/61/caracteristicas.html>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 6467**: agregados: determinação do inchamento de agregado miúdo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996a.

_____. **NBR 7389-1**: agregados: análise petrográfica de agregado para concreto. parte 1: agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009b.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR 13280**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005e.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2005f.

_____. **NBR 13528**: revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010a.

_____. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 13749**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: especificação. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 13755**: revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, 1996b.

_____. **NBR 14082**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas: execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15258**: argamassa para revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005g.

_____. **NBR 15259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005h.

_____. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos: parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005i.

_____. **NBR 15270-3**: componentes cerâmicos: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005j.

_____. **NBR NM 23**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001a.

_____. **NBR NM 27**: agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001b.

_____. **NBR NM 30**: agregado miúdo: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001c.

_____. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006b.

_____. **NBR NM 52**: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009c.

_____. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AGUILAR, Maria Tereza Paulino. **Superfícies e interfaces**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 2. ed. atualizada e ampliada. São Paulo: IBRACON, 2010. 2v. 1773 p. cap. 7, p. 183-205.

AOKI, Jorge. **Areia natural ou artificial?**: custos e características técnicas determinam a opção para a escolha do material mais adequado. Entrevista concedida ao jornalista Altair Santos. 13 de maio de 2009. Disponível em:

<<http://www.cimentoitambe.com.br/areia-natural-ou-artificial/>>. Acesso em: 03 set. 2015.

APOLÔNIO, Priscila H. et al. **Análise comparativa da resistência de aderência do chapisco com diferentes relações água/ligante e adição de metacaulim.** In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XI SBTA, Porto Alegre, 2015.

ARAÚJO, Renato Costa. et al. **Efeito da natureza e da forma das partículas de areias de diferentes mineralogias na consistência da argamassa.** In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XI SBTA, Porto Alegre, 2015.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** 2011. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

BAÍA, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras. São Paulo: O nome da Rosa, 2002. 87 p.

BATTAGIN, Arnaldo Forti; RODRIGUES, Hugo. Recomendações sobre o uso dos distintos tipos de cimento Portland nas diferentes aplicações. IBRACON - Revista Concreto & Construções. Ano XLI, n. 73. Jan.-mar. 2014. p. 30-38.

BAUER, Elton; ALVES, Nielsen José Dias. **Peculiaridades da produção de revestimentos de argamassas.** In: BAUER, Elton (Coord.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon-DF, 2005.

Disponível em:

<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2015. Citado com o consentimento do coordenador da obra.

BAUER, Elton; SOUSA, José Getúlio Gomes de. **Materiais constituintes e suas funções.** In: BAUER, Elton (Coord.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon-DF, 2005.

Disponível em:

<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2015. Citado com o consentimento do coordenador da obra.

BAUER, Elton. **Sistemas de revestimentos de argamassa: generalidades.** In: BAUER, Elton (Coord.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon-DF, 2005. Disponível em:

<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2015. Citado com consentimento do coordenador da obra.

BEATO SOBRINHO, Mario Marques. **Estudo da ocorrência de fungos e da permeabilidade em revestimentos de argamassa em habitações de interesse social: estudo de caso na cidade de Pitangueiras/SP.** 2008. 89 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção.** Tradução de Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 414 p.

BONIN, Luís Carlos. **Terminologia de argamassas**. In: GT-Argamassas/ANTAC. VIII SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas: Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/456>>. Acesso em: 17 jul. 2016.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1199**: Specifications for building sands from natural sources. London, 2014.

CALLISTER Jr., William; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Tradução de Sergio Murilo Stamile Soares. Revisão técnica de José Roberto M. d’Almeida. Rio de Janeiro: LTC, 2012. xxii. 824 p.

CANDIA, Mario Collantes; FRANCO, Luiz Sérgio. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/223. São Paulo: USP, 1998.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, José Martinho de Azevedo. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. 1996. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1996.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 2.ed. atualizada e ampliada. São Paulo: IBRACON, 2010. 2v. 1773p. cap. 28, p. 893-944.

CARASEK, Helena et al. **Bond between 19th century lime mortars and glazed ceramic tiles**. In: *Construction and Building Materials*, Volume 59, 30 May 2014, Pages 85-98.

CARASEK, Helena et al. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento**. In: *Revista Matéria*, 2015. ISSN 1517-7076. Trabalho ainda não publicado.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria Alba; JOHN, Vanderlei M. **A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassas**. *Ambiente Construído*, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 37-44, jul/dez, 1997. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 1997.

CASCUDO, Oswaldo; CARASEK, Helena; HASPARYK, Nicole P. **Microestrutura dos materiais cerâmicos**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 2.ed. atualizada e ampliada. São Paulo: IBRACON, 2010. 2v. 1773p. cap. 7, p. 183-205. cap. 11, p. 325-353.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Sistemas construtivos: revestimento de argamassa**. São Paulo: ABCP, 2014. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/4/caracteristicas/o-sistema/61/caracteristicas.html>>. Acesso em: 14 set. 2015.

COSTA, H.N. et. al. **Estudo da forma dos grãos de areias de britagem provenientes de pedreiras da Região Metropolitana de Fortaleza.** In: 56 Congresso Brasileiro do Concreto, Natal – RN, outubro de 2014. Anais: 56CBC0225. ISSN 2175-8182.

FARIAS, Márcio Muniz de; PALMEIRA, Ennio Marques. **Agregados para a construção civil.** In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.* 2. ed. atualizada e ampliada. São Paulo: IBRACON, 2010. 2v. 1773p. cap. 16, p. 483-525.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa.** 36 ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996 (Coleção Leitura).

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: mecânica.** v. 1. 9. ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HONÓRIO, Túlio; CARASEK, Helena. **Métodos para avaliação de absorção de água do substrato.** In: Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, VIII SBTA, Curitiba, 2009.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles; FRANCO, Francisco Manoel de Mello. **Minidicionário Houaiss da língua portuguesa.** 2. ed. rev. e aum. Rio de Janeiro: Objetiva, 2004. 976 p.

KAZMIERCZAK, Cláudio de Souza; BREZEZINSKI, Débora Elisiane; COLLATTO, Décio. **Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa.** Revista Estudos tecnológicos – Vol. 3, nº 1; 47-58 (Jan/jun 2007). UNISINOS, 2007.

KIHARA, Yushiro; VISEDO, Gonzalo. **A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil.** Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/a-industria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil>. Acesso em: 19 jul. 2015. Artigo de Yushiro Kihara (ABCP) e Gonzalo Visedo (SNIC). Data do artigo: 23 mai 2014.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006.

MASSAD, Faíçal. **Mecânica dos solos experimental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

MATTANA, Alécio Júnior et al. **Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, out./dez. 2012. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2012.

MATOS, Yago. **Erosão, transporte, deposição: aula prática.** Disponível em: <http://pt.slideshare.net/hey mattinho/aula-prtica-granulometria-e-morfoscopia-dos-sedimentos>. Acesso em: 10jul.2016.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2.ed. (4.ed em Inglês). Edição Nicole Pagan Hasparyk. São Paulo: IBRACON, 2014. 751 p.

MINITAB INC. Minitab Express. Trial version. Programa de estatística para computador. Disponível em: <<https://www.minitab.com/pt-br/downloads/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo; ROMAN, Humberto Ramos. **Propriedades da alvenaria estrutural e de seus componentes**. In: MOHAMAD, Gihad (Coord.). Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho. São Paulo: Blucher, 2015. 355 p. cap. 3, p. 89-131.

MUSTELIER, Niubis Luperón. **Avaliação do desempenho de blocos e argamassas com cinzas de carvão mineral incorporada para aproveitamento em conjuntos habitacionais**. Florianópolis, 2002. xx-127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

NARDY, A.J.R; MACHADO, F.B. **Mineralogia óptica**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/opticat2.pdf>>. Acesso em: 30maio 2016.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448p

OLIVEIRA, Hélio Martins de. **Agglomerantes**. In: BAUER, Luiz Alfredo Falcão (Coord.). Materiais de construção. Revisão técnica de João Fernando Dias. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 2v. cap. 3, p. 11-34.

OLLIVIER, J. P.; TORRENTI, J. M. **A estrutura porosa dos concretos e as propriedades de transporte**. Tradução de Oswaldo Cascudo e Helena Carasek. In: OLLIVIER, J. P.; VICHOT, Angélique (Ed.). Durabilidade do concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. Editores da tradução: Oswaldo Cascudo e Helena Carasek. São Paulo: IBRACON, 2014. 606 p. cap. 3. p. 41-112.

PAES, Isaura Nazaré Lobato; GONÇALVES, Sérgio Ricardo de Castro. **Dos momentos iniciais pós-aplicação ao desenvolvimento da aderência**. In: BAUER, Elton (Coord.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. S.l.: S.ed., 2055. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2015. Citado com consentimento do coordenador da obra.

PAGNUSSAT, Daniel Tregnago. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa**. 2013. 216 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

PAGNUSSAT, Daniel Tregnago; MASUERO, Ângela. **Avaliação da aderência de revestimentos de argamassa aplicados em substratos cerâmicos com diferentes**

condições superficiais. In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, IX SBTA, Belo Horizonte, 2011.

PAGNUSSAT, Daniel Tregnago; MASUERO, Ângela. **Uso do ensaio de squeeze-flow para avaliação do comportamento plástico de uma argamassa aplicada sobre substratos cerâmicos com diferentes temperaturas de queima.** In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XI SBTA, Porto Alegre, 2015.

PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural.** São Carlos: EdUFSCar, 2012. 625 p.

PETRUCCI, Eladio Gerardo Requião. **Concreto de cimento Portland.** 7. ed. atualizada e revisada por Vladimir Antônio Paulon. Porto Alegre: Globo, 1980. 308 p.

PETTIJOHN, Francis John; POTTER, Paul Edwin; SIEVER, Raymond. **Sand and sandstone.** 2. ed. New York: Springer-Verlag. Disponível em: <https://www.amazon.com/Sand-Sandstone-F-J-Pettijohn/dp/0387963502/ref=mt_paperback?_encoding=UTF8&me=>. Acesso em: 30 ago. 2016.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas.** 3. ed. com exercícios resolvidos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

PINTO, José Antônio do Nascimento. **Elementos para a dosagem de argamassas.** Santa Maria: UFSM, 1986. 147p.

POZZOBON, Marco Antonio. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. 307 p.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa.** 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011. 188 p.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Técnicas aplicáveis a trabalhos de restauração de edificações de interesse histórico e cultural.** Porto Alegre: IPSDP, 2014. 294 p.

RIBEIRO, Fabiana Andrade; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de. **Juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas.** São Paulo: PINI, 2010. 142 p.

SAKANO, Victor Keniti et al. **Aplicação do método do squeeze-flow sobre bloco cerâmico para comparação com a aplicação de argamassas em paredes.** In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XI SBTA, Porto Alegre, 2015.

SCARTEZINI, Luís Maurício. **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.** 2002. 262 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SCARTEZINI, Luís Maurício et al. **Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa.** In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 85-92, abr./jun. 2002. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais.** 6. ed. Tradução de Daniel Vieira. Revisão técnica Nilson C. Cruz. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008a. 557 p.

SHACKELFORD, James F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros.** 6. ed.; tradução Daniel Vieira; revisão técnica Nilson C. Cruz. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008b.

SILVA, Vanessa Silveira; GOMES, Adailton de Oliveira; SANTOS, Suzan Adriana. **Influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco.** In: Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, VIII SBTA, Curitiba, 2009.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. XI SBTA, Porto Alegre, 2015.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais.** 5.ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. xx, 712 p.

STOLZ, Carina Mariane. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento.** 2011. 211 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2011.

STOLZ, Carina Mariane. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento.** 2015. 206 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2015.

STOLZ, Carina Mariane; MASUERO, Ângela Borges. **Área de contato interfacial: análise da influência do proporcionamento da argamassa e da tensão superficial do substrato através da digitalização tridimensional a laser.** In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, XI SBTA, Porto Alegre, 2015.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia Sedimentar.** São Paulo: Blucher, 2003. 400 p.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R. **Proposta de metodologia de ensaio para determinação de absorção de água por capilaridade das argamassas de revestimento.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. 2º, 1997, Salvador, Anais, Salvador, 1997. p. 437-444.

TRISTÃO, Fernando Avancini. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 2005. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DO BL

1 - DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL DO BL - L x H x C														
Corpo-de-prova nº	Dimensões (mm)													
	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				Área (mm ²)	
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média		
1	1	115,5	116,0	116,0	116	187,5	188,0	187,6	188	234,5	234,0	235,0	235	27162,92
2	2	114,5	114,8	115,2	115	188,5	189,0	188,0	189	236,2	234,2	235,0	235	27001,14
3	3	115,5	114,0	114,4	115	186,0	185,5	188,0	187	235,5	235,2	235,3	235	26977,04
4	4	115,0	116,0	116,0	116	187,5	187,0	187,0	187	239,0	235,0	239,0	238	27490,11
5	5	115,0	114,5	116,0	115	188,0	187,5	188,0	188	234,5	234,0	236,5	235	27064,17
6	6	115,5	115,0	114,5	115	188,2	188,4	187,5	188	235,0	235,5	233,5	235	26986,67
7	7	114,0	113,9	114,5	114	187,2	186,5	188,5	187	238,0	234,2	237,0	236	26981,12
8	8	116,0	115,0	115,0	115	187,2	187,3	187,5	187	235,5	233,5	237,5	236	27161,00
9	9	114,5	114,3	115,0	115	188,0	187,5	187,5	188	235,0	236,0	235,0	235	26969,20
10	10	116,0	116,3	115,3	116	187,4	188,0	187,7	188	234,5	236,3	234,8	235	27251,84
11	11	114,5	114,5	115,0	115	187,0	186,5	189,0	188	233,5	236,5	234,0	235	26908,44
12	12	115,0	115,0	115,0	115	187,5	188,0	188,0	188	236,0	236,5	234,5	236	27101,67
13	13	115,5	115,6	115,0	115	188,0	188,0	188,5	188	236,0	238,0	235,0	236	27264,99
					115				188				235	27101,6

Atende ao item 5.1 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), tolerâncias: Largura, Altura e Comprimento (± 5 mm) individual e (± 3 mm) na média? Comprimento apresenta média de 235 mm (provável problema no corte do bloco, que define seu comprimento).

Nota: Dimensões do BL: 11,5x19x24 - Normas utilizadas: NBR 15270-1 (ABNT, 2005i) e NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)

2 - DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL DO BL - SEPTOS E PAREDES										
Corpo de prova nº	Espessura mínima das paredes (mm)				Desvios (mm)					
	Septo	Parede	Parede vazada	Vazados	Em relação ao esquadro		Flecha	Côncavo	Convexo	
1	1	8,5	9,9			1,15	1,16	x		
2	2	8,5	10,1			3,00	1,98	x		
3	3	8,3	9,6			2,50	1,50	x		
4	4	8,4	10,0			3,00	1,30	x		
5	5	7,7	9,8			3,00	1,72	x		
6	6	8,2	10,4			1,43	2,00	x		
7	7	7,6	9,5			2,28	2,43	x		
8	8	8,0	9,4			1,63	1,51	x		
9	9	8,4	10,1			1,40	1,68	x		
10	10	8,2	9,0			0,82	2,13	x		
11	11	7,6	10,4			1,36	2,29	x		
12	12	8,2	8,9			2,00	1,85	x		
13	13	7,7	9,2			2,06	1,80	x		

Atende ao item 5.2 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), espessura mínima dos septos (6mm) e a das paredes externas (7mm)? Sim

3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BL					
Corpo-de-prova nº		Massa (g)	Área média (mm ²)	Carga máx de ruptura (N)	Resistência à compressão individual (Mpa)
1	1	3754	27162,92	117000	4,3
2	2	3807	27001,14	137000	5,1
3	3	3718	26977,04	127000	4,7
4	4	3738	27490,11	120000	4,4
5	5	3723	27064,17	130000	4,8
6	6	3745	26986,67	134000	5,0
7	7	3717	26981,12	94000	3,5
8	8	3775	27161,00	138000	5,1
9	9	3746	26969,20	111000	4,1
10	10	3745	27251,84	144000	5,3
11	11	3769	26908,44	120000	4,5
12	12	3732	27101,67	98000	3,6
13	13	3750	27264,99	110000	4,0
MÉDIA					4,5
Atende ao item 5.5 da NBR 15280-1 (ABNT, 2005i), resistência à compressão $\geq 1,5$ Mpa, para blocos vazados com furos na horizontal? Sim.				DESVIO PADRÃO	0,6
				COEF. VARIAÇÃO	13%

4 - DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA DO BL -NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)										
Corpo-de-prova nº		Massa da amostra recebida -M (g)	Massa da amostra seca em estufa - ms (g)			Massa da amostra saturada - mu (g)			Absorção individual *(%) AA(%) = 100 x (mu-ms)/ms	
			24h	*+1h	*+1h	24h	*+1h	*+1h		
14	17		3724			4102			10,2	
15	18		3750			4128			10,1	
16	19		3725			4100			10,1	
17	31		3731			4110			10,2	
18	32		3751			4132			10,2	
19	33		3740			4120			10,2	
Média									MÉDIA 10,1	
Atende ao item 5.6 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), índice de absorção d'água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%? Sim							DESVIO PADRÃO		0,04	
							COEF. VARIAÇÃO		0,43%	
							Temperatura da estufa (°C)		24h	
				*						

5 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - ÁREA LÍQUIDA E ÁREA BRUTA DO BL - NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)												
Corpo de prova nº		Dimensões efetivas dos blocos (mm)						Determinações				
		Largura (L)		Altura (H)		Comprimento (C)		Massa aparente da amostra (g) ma			Área líquida individual - AL (cm ²)	Área bruta individual - Ab (cm ²)
								24 h	*+1h	*+1h		
14	17	114,4	116,0	187,0	187,0	235,0	235,0				439,5	
15	18	115,0	116,0	187,5	188,5	235,0	235,0				441,8	
16	19	114,0	115,0	188,0	188,5	235,0	235,0				442,4	
17	31	114,5	114,5	188,0	188,0	235,5	236,0				443,2	
18	32	115,5	115,0	187,5	188,0	235,0	235,0				441,2	
19	33	114,5	116,5	189,0	188,0	235,0	235,0				443,0	
Obs.: área tomada das faces em que ocorre o revestimento.								Média (cm ²)		441,8		

6 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL (AAI) DO BL - NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)						
Corpo de prova nº		Leituras efetivas (g)		ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL - AAI		
		Bloco seco, resfriado ao ar - p1 (g)	Massa após 1,0min - p2 (g)	Verificação do nível de água (3±0,2)mm	Área (cm ²)	Absorção de água inicial individual -AAI (g/193,55cm ² /min)
14	17	3724,0	3751,0		439,5	11,9
15	18	3750,0	3782,0		441,8	14,0
16	19	3725,0	3756,0		442,4	13,6
17	31	3731,0	3764,0		443,2	14,4
18	32	3751,0	3776,0		441,2	11,0
19	33	3740,0	3764,0		443,0	10,5
Obs.: AAI = 193,55 x (Δp/área); Δp é a variação da massa obtida no ensaio em gramas; Área é a área bruta na face do revestimento, em cm ²					MÉDIA	12,6
					DESVIO PADRÃO	1,7
					COEF. VARIAÇ.	13%

7 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL E ESTENDIDO DO BL, ATÉ 25 MIN														
Corpo de prova nº		Leituras efetivas (g)				ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL - AAI								
		Bloco seco resfr. ar (p1)	Área (cm ²)	Massa após 1,0min (p2)	Massa após 4,0min (p3)	Massa após 9,0min (p4)	Massa após 16,0min (p5)	Massa após 25,0min (p6)	AAI 1MIN	APÓS 4MIN	APÓS 9MIN	APÓS 16MIN	APÓS 25MIN	
14	17	3724	439,5	3751	3771	3796	3808	3817	11,9	20,7	31,7	37,0	41,0	
15	18	3750	441,8	3782	3811	3826	3836	3844	14,0	26,7	33,3	37,7	41,2	
16	19	3725	442,4	3756	3777	3798	3807	3816	13,6	22,8	31,9	35,9	39,8	
17	31	3731	443,2	3764	3788	3807	3817	3826	14,4	24,9	33,2	37,6	41,5	
18	32	3751	441,2	3776	3798	3820	3834	3843	11,0	20,6	30,3	36,4	40,4	
19	33	3740	443,0	3764	3785	3809	3822	3831	10,5	19,7	30,1	35,8	39,8	
Queima: 950 °C; Data da entrega no LMCC: 04/12/2015									MÉDIAS	12,6	22,6	31,8	36,7	40,6
									DESVPAD	1,7	2,8	1,4	0,8	0,7
									COEFVAR	13%	12%	4%	2%	2%

APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DO BH

1- DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL DO BH - L x H x C														
Corpo-de-prova n°		Dimensões (mm)												Área (mm ²)
		Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				
		1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	
1	1	139,3	139,0	140,0	139	188,0	187,0	188,0	188	236,5	235,0	240,0	237	33068,94
2	2	139,0	139,0	140,0	139	188,5	186,5	187,5	188	237,5	235,5	239,5	238	33091,67
3	3	138,0	138,0	139,0	138	188,0	189,0	188,5	189	236,0	236,5	237,0	237	32715,83
4	4	139,0	139,0	138,0	139	188,5	188,6	188,6	189	243,0	235,0	235,5	238	32979,56
5	5	139,0	139,5	139,5	139	188,5	189,0	188,5	189	238,0	233,5	235,0	236	32813,00
6	6	138,0	137,5	139,0	138	189,0	188,0	188,0	188	236,5	234,0	235,0	235	32492,19
7	7	138,0	139,0	140,0	139	187,0	189,0	188,7	188	237,3	237,8	234,5	237	32878,13
8	8	138,5	149,0	139,0	142	189,0	189,0	188,0	189	238,6	238,0	237,5	238	33840,41
9	9	138,0	139,0	138,5	139	188,8	189,0	188,7	189	236,5	236,3	235,5	236	32699,85
10	10	138,0	139,0	139,0	139	188,0	188,8	189,5	189	236,0	236,5	236,0	236	32748,44
11	11	138,0	139,2	138,0	138	188,0	189,5	190,5	189	239,0	236,5	236,5	237	32846,93
12	12	139,0	139,0	139,0	139	188,5	188,5	188,5	189	237,5	237,0	235,0	237	32873,50
13	13	138,6	138,6	139,0	139	187,5	188,5	188,5	188	236,3	234,5	234,5	235	32616,21
					139				188				237	32897,3

Atende ao item 5.1 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), tolerâncias: Largura, Altura e Comprimento (±5mm) individual e (±3mm) na média? Sim

Nota: Dimensões do BH: 14x19x24. Normas utilizadas: NBR 15270-1 (ABNT, 2005i) e NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)

2 - DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL DO BH - SEPTOS E PAREDES										
Corpo de prova n°		Espessura mínima das paredes (mm)				Desvios (mm)				
		Septo	Parede	Parede vazada	Vazados	Em relação ao esquadro	Flecha	Côncavo	Convexo	
1	1	8,42	9,60			-	1,89	x		
2	2	8,86	9,50			1,80	1,90	x		
3	3	8,80	9,40			-	1,80	x		
4	4	8,20	9,43			2,96	2,57	x		
5	5	8,30	9,36			1,70	2,16	x		
6	6	8,76	9,17			5,30	2,78	x		*
7	7	8,30	10,40			-	1,64	x		
8	8	8,54	9,75			-	2,30	x		
9	9	8,32	10,11			-	1,65	x		
10	10	8,01	9,11			-	2,02	x		
11	11	8,43	10,52			-	2,10	x		
12	12	8,45	9,85			-	3,00	x		
13	13	7,89	9,10			2,74	3,70	x		*

Atende ao item 5.2 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), espessura mínima dos septos (6mm) e a das paredes externas (7mm)? Sim

3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BH					
Corpo-de-prova nº		Massa (g)	Área média (mm ²)	Carga máx de ruptura (N)	Resistência à compressão individual (MPa)
1	1	4309	33068,94	125000	3,8
2	2	4375	33091,67	102000	3,1
3	3	4282	32715,83	96000	2,9
4	4	4380	32979,56	93000	2,8
5	5	4276	32813,00	128000	3,9
6	6	4309	32492,19	92000	2,8
7	7	4302	32878,13	106000	3,2
8	8	4376	33840,41	110000	3,3
9	9	4348	32699,85	97000	3,0
10	10	4343	32748,44	107000	3,3
11	11	4341	32846,93	91000	2,8
12	12	4314	32873,50	129000	3,9
13	13	4241	32616,21	113000	3,5
Atende ao item 5.5 da NBR 15280-1 (ABNT, 2005i), resistência à compressão $\geq 1,5$ Mpa, para blocos vazados com furos na horizontal? Sim.				MÉDIA	3,2
				DESVIO PADRÃO	0,4
				COEF. VARIAÇÃO	13%

4 - DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA DO BH -NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)									
Corpo-de-prova nº		Massa da amostra recebida -M (g)	Massa da amostra seca em estufa - ms (g)			Massa da amostra saturada - mu (g)			Absorção individual *(%) AA(%) = 100 x (mu-ms)/ms
			24h	*+1h	*+1h	24h	*+1h	*+1h	
14	14	4337	4335			4782			10,3
15	15	4272	4269			4688			9,8
16	16	4308	4303			4740			10,2
17	31	4266	4263			4701			10,3
18	32	4306	4301			4743			10,3
19	33	4286	4282			4716			10,1
Média								MÉDIA	10,2
Atende ao item 5.6 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), índice de absorção d'água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%? Sim						DESVIO PADRÃO		0,18	
						COEF. VARIAÇÃO		1,81%	
Temperatura da estufa (°C)			24h		mais 1h			mais 1h	
					*				

5 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO BH - ÁREA LÍQUIDA E ÁREA BRUTA - NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)												
Corpo de prova nº		Dimensões efetivas dos blocos (mm)						Determinações				
		Largura (L)		Altura (H)		Comprimento (C)		Massa aparente da amostra (g) ma			Área líquida individual - AL (cm ²)	Área bruta individual - Ab (cm ²)
								24h	*+1h	*+1h		
14	14	138,2	138,2	189,0	188,0	236,0	234,0				443,0	
15	15	139,0	139,0	188,0	189,0	232,5	236,0				441,6	
16	16	138,0	138,0	188,0	189,0	235,0	237,0				444,9	
17	31	138,0	139,0	188,0	189,0	235,0	234,0				442,0	
18	32	139,0	138,0	187,0	190,0	235,0	237,0				444,9	
19	33	138,0	138,0	188,0	188,0	234,0	236,0				441,8	
Área tomada das faces em que ocorre o revestimento.								Média (cm ²)		443,01		

6 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL (AAI) DO BH - NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)						
Corpo de prova n°	Leituras efetivas (g)		ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL - AAI			
	Bloco seco, resfriado ao ar - p1 (g)	Massa após 1,0min - p2 (g)	Verificação do nível de água (3±0,2)mm	Área (cm2)	AAI individual (g/193,55cm2/min)	
14	14	4335,0	4367,0		443,0	14,0
15	15	4269,0	4304,0		441,6	15,3
16	16	4303,0	4341,0		444,9	16,5
17	31	4263,0	4301,0		442,0	16,6
18	32	4301,0	4335,0		444,9	14,8
19	33	4282,0	4316,0		441,8	14,9
Obs.: AAI = 193,55 x (Δp/área); Δp é a variação da massa obtida no ensaio em gramas; Área é a área bruta na face do revestimento, em cm ²					MEDIA	15,4
					DESVIO PADRÃO	1,0
					COEF. VARIAC.	7%

7 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL E ESTENDIDO DO BH, ATÉ 25 MIN													
Corpo de prova n°	Leituras efetivas (g)					ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL - AAI							
	Bloco seco resfr. ao ar (p1)	Área (cm2)	Massa após 1,0min (p2)	Massa após 4,0min (p3)	Massa após 9,0min (p4)	Massa após 16,0min (p5)	Massa após 25,0min (p6)	AAI 1MIN	APÓS 4MIN	APÓS 9MIN	APÓS 16MIN	APÓS 25MIN	
14	17	4335,0	443,0	4367	4392	4417	4430	4440	14,0	24,9	35,8	41,5	45,9
15	18	4269,0	441,6	4304	4336	4351	4362	4372	15,3	29,4	35,9	40,8	45,1
16	19	4303,0	444,9	4341	4372	4388	4396	4406	16,5	30,0	37,0	40,5	44,8
17	31	4263,0	442,0	4301	4330	4348	4358	4368	16,6	29,3	37,2	41,6	46,0
18	32	4301,0	444,9	4335	4358	4389	4397	4407	14,8	24,8	38,3	41,8	46,1
19	33	4282,0	441,8	4316	4341	4366	4379	4389	14,9	25,8	36,8	42,5	46,9
Data de entrada no LMCC: 04/12/2015; Queima: 950 °C								MÉDIAS	15,4	27,4	36,8	41,4	45,8
								D.PADR.	1,0	2,4	0,9	0,7	0,7
								C.VAR.	7%	9%	2%	2%	2%

APÊNDICE C – CARACTERIZAÇÃO DO BV

1- DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL DO BV - L x H x C														
Corpo-de-prova nº		Dimensões (mm)												Área (mm ²)
		Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)				
		1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	
1	1	139,0	139,0	139,	139	187,	188,	186,	187	285,	284,	284,	284	39522,3
2	2	138,5	137,5	139,	138	187,	187,	186,	187	285,	283,	283,	284	39286,6
3	3	138,5	137,5	138,	138	186,	186,	186,	186	285,	284,	284,	285	39331,4
4	4	138,5	138,0	139,	139	186,	185,	185,	186	285,	284,	284,	285	39426,3
5	5	139,0	139,0	138,	139	186,	187,	186,	187	283,	283,	285,	284	39405,5
6	6	138,0	138,5	138,	138	186,	187,	186,	187	284,	283,	285,	285	39308,4
7	7	138,0	138,0	137,	138	185,	186,	186,	186	284,	282,	282,	283	39035,1
8	8	138,0	137,5	138,	138	186,	186,	187,	187	283,	282,	285,	284	39098,7
9	9	139,5	138,0	139,	139	187,	186,	186,	186	285,	283,	284,	284	39474,9
10	10	139,0	138,5	138,	139	187,	188,	188,	188	285,	285,	284,	285	39483,0
11	11	138,5	137,0	137,	138	186,	187,	186,	187	284,	283,	284,	284	39074,3
12	12	139,0	139,0	139,	139	188,	187,	187,	187	285,	285,	285,	285	39615,0
13	13	139,0	138,5	138,	139	186,	187,	187,	187	283,	283,	284,	284	39312,0
					138				187				284	39336,5

Atende ao item 5.1 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), tolerâncias: Largura, Altura e Comprimento (±5mm) individual e (±3mm) na média? Comprimento apresenta média de 284 mm (provável problema no corte do bloco, que define seu comprimento).

Nota: Dimensões do BV: 14x19x29. Normas utilizadas: NBR 15270-1 (ABNT, 2005i) e NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)

2 - DETERMINAÇÃO DIMENSIONAL DO BV - SEPTOS E PAREDES									
Corpo de prova nº		Espessura mínima das paredes (mm)				Desvios (mm)			
		Septo	Parede	Parede vazada	Vazados	Em relação ao esquadro	Flecha	Côncavo	Convexo
1	1	8,3	7,6	28,0			-		
2	2	7,0	7,8	29,0			-		
3	3	7,3	7,5	28,0		1	-		
4	4	7,2	7,9	28,0			-		
5	5	7,0	7,4	28,0			1,00		x
6	6	7,1	7,0	28,0			0,90	x	
7	7	6,1	7,1	28,0			-		
8	8	7,1	8,4	28,0			-		
9	9	7,5	7,0	28,0		0,80	-		
10	10	7,1	7,0	28,0			-		
11	11	7,8	7,0	28,6			-		
12	12	7,4	7,1	26,4		1,50	-	x	
13	13	7,4	7,0	27,2		0,50	0,50	x	

Atende ao item 5.2 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), espessura mínima dos septos (6mm) e a das paredes externas (7mm)? Sim

3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BV					
Corpo-de-prova n°		Massa (g)	Área média (mm ²)	Carga máx de ruptura (N)	Resistência à compr. individual (Mpa)
1	1	4855	39522,33	330000	8,3
2	2	4855	39286,67	335000	8,5
3	3	4813	39331,44	435000	11,1
4	4	4839	39426,33	205000	5,2
5	5	4854	39405,53	290000	7,4
6	6	4795	39308,42	300000	7,6
7	7	4754	39035,13	445000	11,4
8	8	4744	39098,72	135000	3,5
9	9	4842	39474,94	395000	10,0
10	10	4867	39483,02	360000	9,1
11	11	4778	39074,39	295000	7,5
12	12	4870	39615,00	380000	9,6
13	13	4794	39312,00	380000	9,7
			39336,5	MÉDIA	8,4
Atende ao item 5.5 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), resistência à compressão $\geq 1,5$ Mpa, para blocos vazados com furos na horizontal? Sim.				DESVIO PADRÃO	2,2
				COEF. VARIAÇÃO	27%

4 - DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E ÍNDICE DE ABSORÇÃO D'ÁGUA DO BV -NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)									
Corpo-de-prova n°		Massa da amostra recebida -M (g)	Massa da amostra seca em estufa - ms (g)			Massa da amostra saturada - mu (g)			Absorção individual *(%) AA(%) = 100 x (mu-ms)/ms
			24h	*+1h	*+1h	24h	*+1h	*+1h	
14	14	4809	4806			5256			9,4
15	15	4859	4847			5292			9,2
16	16	4781	4779			5227			9,4
17	31	4789	4785			5223			9,2
18	32	4854	4845			5296			9,3
19	33	4768	4762			5203			9,3
								MÉDIA	9,3
								D P	0,1
								CV	1%
Atende ao item 5.6 da NBR 15270-1 (ABNT, 2005i), índice de absorção d'água não deve ser inferior a 8% nem superior a 22%? Sim									
Temperatura da estufa (°C)			24h			mais 1h			mais 1h
						*			

5 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO BV - ÁREA LÍQUIDA E ÁREA BRUTA - NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)												
Corpo de prova nº		Dimensões efetivas dos blocos (mm)						Determinações				
		Largura (L)		Altura (H)		Comprimento (C)		Massa aparente da amostra (g) ma			Área líquida individual - AL (cm2)	Área bruta individual - Ab (cm2)
								24 h	*+1h	*+1h		
14	14	138	138	188	187	284	284	2955				532,5
15	15	139	139	187	187	284	285	2976				532,0
16	16	138	138	186	186	283	283	2944				526,4
17	31	138	138	187	185	283	284	2945				527,3
18	32	139	140	186	186	285	284	2985				529,2
19	33	138	138	186	186	283	284	2932				527,3
Obs.: área tomada das faces em que ocorre o revestimento.								Média (cm2)		529,1		

6 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL (AAI) DO BV - NBR 15270-3 (ABNT, 2005j)												
Corpo de prova nº		Leituras efetivas (g)		ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL - AAI								
		Bloco seco, resfriado ao ar - p1 (g)	Massa após 1,0min - p2 (g)	Verificação do nível de água (3±0,2)mm	Área (cm2)	Absorção d'água inicial individual AAI (g/193,55cm2/min)						
14	14	4806	4840		532,5	12,4						
15	15	4847	4882		532,0	12,7						
16	16	4779	4812		526,4	12,1						
17	31	4785	4823		527,3	13,9						
18	32	4845	4879		529,2	12,4						
19	33	4762	4796		527,3	12,5						
Obs.: AAI = 193,55 x (Δp/área); Δp é a variação da massa obtida no ensaio em grammas; Área é a área bruta na face do revestimento, em cm2					MÉDIA		12,7					
					DP		0,6					
					CV		5%					

7 - ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL E ESTENDIDO DO BV, ATÉ 25 MIN													
Corpo de prova nº		Leituras efetivas (g)				ÍNDICE DE ABSORÇÃO INICIAL - AAI (g/193,55cm ² /min)							
		Bloco seco resfriado ao ar (p1)	Área (cm2)	Massa após 1,0min (p2)	Massa após 4,0min (p3)	Massa após 9,0min (p4)	Massa após 16,0min (p5)	Massa após 25,0min (p6)	AAI 1MIN	APÓS 4MIN	APÓS 9MIN	APÓS 16MIN	APÓS 25MIN
14	14	4806	532,5	4840	4861	4881	4897	4916	12,4	20,0	27,3	33,1	40,0
15	15	4847	532,0	4882	4904	4926	4940	4957	12,7	20,7	28,7	33,8	40,0
16	16	4779	526,4	4812	4835	4862	4875	4894	12,1	20,6	30,5	35,3	42,3
17	31	4785	527,3	4823	4845	4863	4883	4900	13,9	22,0	28,6	36,0	42,2
18	32	4845	529,2	4879	4901	4928	4943	4957	12,4	20,5	30,4	35,8	41,0
19	33	4762	527,3	4796	4818	4837	4851	4866	12,5	20,6	27,5	32,7	38,2
Data de entrada no LMCC: 04/12/2105								MÉD	12,7	20,7	28,8	34,4	40,6
								DP	0,6	0,7	1,4	1,4	1,6
								CV	5%	3%	5%	4%	4%
Data de fabricação:				Extrusão:				Queima: 950 °C					

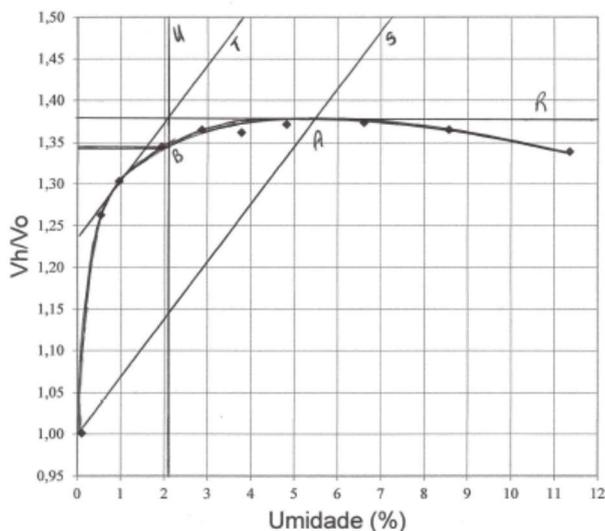
APÊNDICE D – CARACTERIZAÇÃO DA AREIA MÉDIA

1 - AREIA MÉDIA - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003)									
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		3ª Determinação		% Retida média	% Retida acumulada
Nº	mm	Peso retido (g)	% Retida	Peso retido (g)	% Retida	Peso retido (g)	% Retida		
3/8"	9,5								
1/4"	6,3								
4	4,8	1,9	0,2	3,9	0,4	2,2	0,2	0,3	0
8	2,4	6,8	0,7	6,1	0,6	8	0,8	0,7	1
16	1,2	24,2	2,4	24,9	2,5	30,6	3,1	2,7	4
30	0,6	163,2	16,4	169,4	17,1	177,4	17,8	17,1	21
50	0,3	498,6	50,3	508,4	51,2	466,7	46,9	49,5	70
100	0,15	210,3	21,2	200,3	20,2	217,5	21,9	21,1	91
Fundo	<0,15	87,1	8,8	80,3	8,1	92,4	9,3	8,7	
TOTAL		992,1	100,0	993,3	100,0	994,8	100,0	100,00	
Diâmetro máximo: 1,2 mm				Módulo de finura:				1,87	
Obs.: o módulo de finura está na zona utilizável inferior									
Nota 1: o módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90 - ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009a, p. 5)									
Nota 2: o módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20 - ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009a, p. 5)									
Nota 3: o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50 - ABNT NBR 7211 (ABNT, 2009a, p. 5)									
Notar que a NBR 7211 (ABNT, 2005a) especifica agregados para concreto									

2 - DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DA AREIA MÉDIA - NBR 6467 (ABNT, 2006a)												
Tara	458 g	Vol.	11,71 litros									
Água	Núm.	tara	P. Úmido	P. Seco	P. Água	P. Seco	Teor de	P. Bruto	P. Líquido	P. Unitário	do / dh	Vh / Vo
(1)	Cápsula	(g)	bruto (g)	bruto (g)	(g)	Líquido (g)	Umidade	(g)	(g)	(kg/m ³)		
0	37	11,59	103,02	102,93	0,09	91,34	0,10	19200	18742	1600	1,00	1,00
250	38	10,94	92,91	92,47	0,44	81,53	0,54	15380	14922	1274	1,26	1,26
250	39	15,49	93,11	92,37	0,74	76,88	0,96	14980	14522	1240	1,29	1,30
500	40	11,42	79,37	78,08	1,29	66,66	1,94	14660	14202	1212	1,32	1,35
500	41	12,09	76,37	74,58	1,79	62,49	2,86	14580	14122	1206	1,33	1,37
500	42	11,98	90,72	87,85	2,87	75,87	3,78	14740	14282	1219	1,31	1,36
500	43	17,31	92,61	89,15	3,46	71,84	4,82	14780	14322	1223	1,31	1,37
1000	44	12,32	92,23	87,28	4,95	74,96	6,60	15000	14542	1241	1,29	1,37
1000	45	13,98	86,04	80,36	5,68	66,38	8,56	15360	14902	1272	1,26	1,37
1500	46	11,09	91,38	83,2	8,18	72,11	11,34	16040	15582	1330	1,20	1,34
Umidade crítica: 2,10%						Coefficiente médio de inchamento: 1,36						

Figura – Determinação do coeficiente médio de inchamento e da umidade crítica da areia média

3 – Determinação do coeficiente médio de inchamento e da umidade crítica da areia média



Nota: Umidade crítica da areia média = 2,10%; Coeficiente médio de inchamento = 1,36

4 – DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (ρ_{ap}) da AREIA MÉDIA – NBR NM 45 (ABNT, 2006b)						
Método utilizado: MÉTODO C, massa unitária no estado solto.						
Nota 1: Devido ao agregado miúdo variar a massa unitária com o teor de umidade (inchamento), o ensaio deve ser feito com o agregado seco.						
Nota 2: Resultados individuais devem apresentar desvios menores ou iguais a 1% em relação à média (eliminar 3ª determinação).						
Temperatura da sala do ensaio: 26,7°C, implica correção do volume (massa específica da água = 996,59 kg/m ³).						
Determinação		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª
Massa do recipiente (kg)	mr	0,603	0,603	0,603	0,602	0,602
Massa do recipiente + amostra (kg)	mar	32,700	32,821	33,336	33,123	32,933
Volume do recipiente (m ³)	V	0,019714	0,019714	0,019714	0,019723	0,019723
Massa unitária (kg/m ³)	ρ_{ap}	1628	1634	1660	1649	1639
Valor médio (kg/m ³)	$\rho_{ap} = (mar - mr)/V$	1638				
pap adotado: 1640 kg/m ³						

5 – DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (A) DA AREIA MÉDIA – NBR NM 30 (2001c)				
Determinação		1ª	2ª	3ª
Massa ao ar condição sat superfície seca	ms (g)	500	500	500
Massa da amostra seca em estufa	m (g)	498,05	495,95	496,10
Absorção de água (%)	A	0,39	0,82	0,79
Valor médio (%)	$A = [(ms-m)/m] \times 100$	0,80	A adotada = 0,8%	
Obs.: os resultados dos ensaios com a mesma amostra não devem diferir em mais de 0,05% para a porcentagem da absorção*				

6 - AREIA MÉDIA - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA NA CONDIÇÃO SATURADO SUPERFÍCIE SECA (pas) - NBR 45 (ABNT, 2006b)	
Massa unit SSS = pas = pap [1+(A/100)]	1650kg/m ³

7 - AREIA MÉDIA - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VOLUME DE VAZIOS (Ev) - NBR NM 45 (ABNT, 2006b)			
		Det. 1	Det. 2
d1: massa específica relativa do agregado seco (conforme NM 52)	d1	2,62	2,61
ρw = massa específica de água (kg/m ³) = 997,54 kg/m ³ (23°C)	ρw	997,54	997,54
pap: massa unitária média do agregado (kg/m ³)	ρap	1640	1640
	d1xρw	2618,522	2600,001
	Ev (%)	37	37
Ev = 100[(d1xρw) - ρap]/(d1xρw)	Ev (%)	37	

8 - AREIA MÉDIA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO - d1 (kg/m³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009c)			
Item 8.1 da NBR NM 52		d1 = m / (V - Va)	
		Det. 1	Det. 2
d1: massa específica aparente do agregado seco, em g/cm ³	d1	2,62	2,61
ms: massa da amostra condição saturada superfície seca, em gramas	ms	500,00	500,00
m: massa da amostra seca em estufa, em gramas	m	495,95	496,10
V: volume do frasco, em cm ³ .	V	500	500
Va: volume de água adicionada ao frasco = (m2-m1)/pa, em cm ³	Va	311,0652	309,6618
m2: massa total (frasco + agregado + água), cfe. 7.2, em gramas	m2	1028,0	1010,10
m1: massa do conjunto (frasco + agregado), cfe. 7.1, em gramas	m1	717,7	701,2
pa: massa específica da água (23°C) = 0,99754 g/cm ³		0,99754	0,99754
d1 (g/cm³) =		2,62	

9 - AREIA MÉDIA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SATURADO SUPERFÍCIE SECA - d2 (kg/m³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009c)				
Item 8.2 da NBR NM 52		d2 = ms/(V-Va)	Det. 1	Det. 2
d2: massa específica do agregado saturado superfície seca, em g/cm ³	d2		2,65	2,63
d2 (g/cm³) =		2,64		

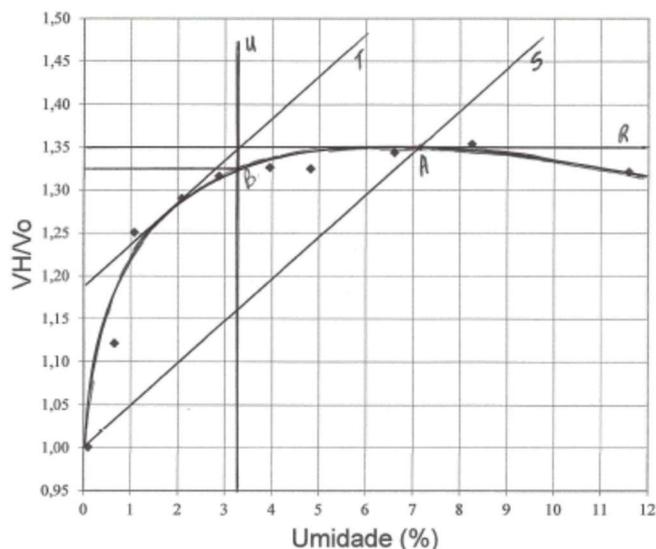
10 - AREIA MÉDIA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA - d3 (kg/m³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009c)			
Item 8.3 da NBR NM 52		d3 = m/[(V-Va)-((ms-m)/pa)]	
		Det. 1	Det. 2
d3: massa específica do agregado, em g/cm ³	d3	2,68	2,66
V-Va		188,9348	190,3382
(ms-m)/pa		4,059988	3,909618
d3 (g/cm³) =		2,67	

APÊNDICE E – CARACTERIZAÇÃO DA AREIA GROSSA

1 - AREIA GROSSA -COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 (ABNT, 2003)									
Peneiras		1ª Determinação		2ª Determinação		3ª Determinação		% Retida média	% Retida acumulada
Nº	mm	Peso retido (g)	% Retida	Peso retido (g)	% Retida	Peso retido (g)	% Retida		
3/8"	9,5								
1/4"	6,3								
4	4,8	18,7	1,9	13,2	1,3	14,3	1,4	2	2
8	2,4	39,8	4,0	45,6	4,6	37,3	3,8	4	6
16	1,2	95,2	9,6	115,6	11,6	104,9	10,6	11	16
30	0,6	162,8	16,3	176,1	17,7	175,3	17,7	17	33
50	0,3	478,7	48,0	436,5	43,9	470,6	47,4	46	80
100	0,15	172,9	17,4	178,5	18,0	162,3	16,4	17	97
Fundo	<0,15	28,3	2,8	28,8	2,9	27,2	2,7	3	
TOTAL		996,4	100,0	994,3	100,0	991,9	100,0	100,00	
Dimensão máxima característica: 4,8mm				Módulo de finura:				2,34	
Obs.: o módulo de finura está na zona ótima									
Nota 1: o módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90 - NBR 7211 (2009a, p. 5)									
Nota 2: o módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20 - NBR 7211 (2009a, p. 5)									
Nota 3: o módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50 - NBR 7211 (2009a, p. 5)									

2 - DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DA AREIA GROSSA - NBR 6467 (ABNT, 2006a)												
Tara	440 g	Vol.	11,69 litros									
Água	Núm.	tara	P. Úmido	P. Seco	P. Água	P. Seco	Teor de	P. Bruto	P. Líquido	P. Unitário	do / dh	Vh / Vo
(1)	Cápsula	(g)	bruto (g)	bruto (g)	(g)	Líquido (g)	Umidade	(g)	(g)	(kg/m ³)		
0	1	15,96	121,56	121,40	0,1	105,44	0,09	19200	18760	1605	1,00	1,00
250	2	19,76	97,18	96,68	0,5	76,92	0,65	17280	16840	1440	1,11	1,12
250	3	13,69	85,3	84,54	0,76	70,85	1,07	15600	15160	1297	1,24	1,25
500	4	14,55	91,1	89,54	1,56	74,99	2,08	15280	14840	1269	1,26	1,29
500	5	14,26	95,55	93,28	2,27	79,02	2,87	15100	14660	1254	1,28	1,32
500	6	15,32	87,2	84,47	2,73	69,15	3,95	15140	14700	1257	1,28	1,33
500	7	14,87	86,44	83,15	3,29	68,28	4,82	15280	14840	1269	1,26	1,33
1000	8	14,64	80,55	76,47	4,08	61,83	6,60	15320	14880	1273	1,26	1,34
1000	9	14,30	92,78	86,8	5,98	72,5	8,25	15440	15000	1283	1,25	1,35
1500	10	14,30	88,84	81,1	7,74	66,8	11,59	16280	15840	1355	1,18	1,32
Umidade crítica da areia grossa: 3,15%						Coefficiente médio de inchamento da areia grossa: 1,34						

3 - Determinação do coeficiente médio de inchamento e da umidade crítica da areia grossa



Nota: Umidade crítica da areia grossa = 3,15%; Coeficiente médio de inchamento = 1,34

4 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DA AREIA GROSSA (pap) - NBR NM 45 (ABNT, 2006b)				
Método utilizado: MÉTODO C, massa unitária no estado solto.				
Nota 1: Devido ao agregado miúdo variar a massa unitária com o teor de umidade (inchamento), o ensaio deve ser feito com o agregado seco.				
Nota 2: Resultados individuais devem apresentar desvios menores ou iguais a 1% em relação à média (eliminar 3ª determinação).				
Temperatura da sala do ensaio: 26,7°C, implica correção do volume (massa específica da água = 996,59 kg/m ³).				
Determinação		1ª	2ª	3ª
Massa do recipiente (kg)	Mr	0,603	0,602	0,602
Massa do recipiente + amostra (kg)	mar	32,856	32,868	32,875
Volume do recipiente (m ³)	V	0,01971	0,01972	0,01972
Massa unitária (kg/m ³)	Pap	1636	1636	1637
Valor médio (kg/m ³)	pap = (mar - mr)/V	1636		
pap adotado: 1640 kg/m ³				

5 - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (A) DA AREIA GROSSA - NBR NM 30 (ABNT, 2001c)									
Determinação		1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Massa ao ar condição sat superfície seca	ms (g)	500	927,5	501,3	817,9	499,5	499,7	878,9	
Massa da amostra seca em estufa	m (g)	495,0 3	922,3 2	497,0 9	811,9 4	495,2 7	496,32	872,1	
Absorção de água (%)	A	1,00	0,56	0,85	0,73	0,85	0,68	0,78	
Valor médio (%)	A = [(ms - m)/m] x 100	0,80						A adotada = 0,8%	
Obs.: os resultados dos ensaios com a mesma amostra não devem diferir em mais de 0,5% para a porcentagem da absorção*									

6 - AREIA GROSSA – DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA NA CONDIÇÃO SATURADO SUPERFÍCIE SECA (pas) - NBR 45 (ABNT, 2006b)		
Massa unit SSS = pas = pap [1+(A/100)]	1649	Valor adotado pas = 1650 kg/m ³

7 - AREIA GROSSA – DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VOLUME DE VAZIOS (Ev) – NBR 45 (ABNT, 2006b)				
		Det. 1	Det. 2	Det. 3
d1: massa específica relativa do agregado seco (conforme NM 52)	d1	2,584	2,582	2,591
pw = massa específica de água (kg/m ³) = 997,54 kg/m ³ (23°C)	pw	997,54	997,54	997,54
pap: massa unitária média do agregado (kg/m ³)	pap	1640	1640	1640
	d1xpw	2578,1	2575,35	2584,76
	Ev (%)	36	36	37
Ev = 100[(d1xpw) - pap]/(d1xpw)	Ev (%)	36		

8 - AREIA GROSSA – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO – d1 (kg/m³) – NBR NM 52 (ABNT, 2009c)					
		Det. 1	Det. 2	Det. 3	Det. 4
ms: massa da amostra condição saturada superfície seca, em gramas	ms	500,00	501,30	499,5	499,7
m: massa da amostra seca em estufa, em gramas	m	495,03	497,09	495,27	496,32
V: volume do frasco, em cm ³ .	V	500	500	500	500
Va: volume de água adicionada ao frasco = (m2-m1)/pa, em cm ³	Va	308,459	307,456	308,86	305,451
m2: massa total (frasco + agregado + água), cfe. 7.2, em gramas	m2	1026	1009	1025,9	1005,4
m1: massa do conjunto (frasco + agregado), cfe. 7.1, em gramas	m1	718,3	702,3	717,8	700,7
pa: massa específica da água (23°C) = 0,99754 g/cm ³		0,99754	0,99754	0,99754	0,99754
d1: massa específica aparente do agregado seco, em g/cm ³	d1	2,584	2,582	2,591	2,551
Item 8.1 da NBR NM 52	d1 (g/cm³)	2,59	2,59		
Obs.: a determinação 4 não entrou no cálculo da média					

9 - AREIA GROSSA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SATURADO SUPERFÍCIE SECA - d2 (kg/m³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009c)				
		Det. 1	Det. 2	Det. 3
d2: massa específica do agregado saturado superfície seca, em g/cm ³	d2	2,610	2,604	2,613
d2 = ms/(V-Va)				
Conforme item 8.2 da NBR NM 52	d2 (g/cm³) =	2,61		

10 - AREIA GROSSA - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA - d3 (kg/m³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009c)				
		Det. 1	Det. 2	Det. 3
d3: massa específica do agregado, em g/cm ³	d3	2,653	2,640	2,650
V-Va		191,541	192,544	191,14
(ms-m)/pa		4,98226	4,22038	4,24043
Conforme item 8.3 da NBR NM 52				
d3 = m/[(V-Va)-((ms-m)/pa)]	d3 (g/cm³) =	2,65		

APÊNDICE F - ANÁLISE PETROGRÁFICA DA AREIA MÉDIA

1 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA AREIA MÉDIA											
Peneira (abertura em mm)	Composição granulométrica (% em massa)		Composição mineralógica do material retido (% em número de grãos)								
			Inócuos			Deletérios	Potencialmente deletérios		Friáveis		Total da fração (%)
	Simples	Acumulada	Turmalina	Quartzo	Feldspato	Calcedônia	Rocha	Quartzo policristalino	Mica	Torrões de argila	
4,8	0,3	0	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
2,4	0,7	1	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
1,2	2,7	4	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
0,6	17,1	21	0,0	≥99,0	≤1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (500 grãos)
0,3	49,5	70	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (500 grãos)
0,15	21,1	91	0,0	≥99,0	≤1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (500 grãos)
<0,15	8,7	100	0,0	100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (100 grãos)
Total	100	Total (b)	0,0	≥99,6	≤0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Notas e legendas: A análise petrográfica foi realizada conforme a NBR 7389-1 (ABNT, 2009b)

- (a) Fração não analisada;
- (b) Composição mineralógica da amostra de agregado miúdo, calculada ponderando-se a porcentagem de cada componente da fração pela porcentagem retida individual dessa fração (obtida no ensaio de determinação da composição granulométrica pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). O valor obtido foi corrigido pela soma das porcentagens retidas individuais das frações que representam menos de 5% da amostra total (não analisadas).

Nota sobre os grãos retidos na peneira 0,6mm: diferentes gerações de grãos, indicados pelos formatos diferentes (ver grade). Existem grãos de quartzo incolor, branco e rosa, em sua maioria; e alguns desses grãos apresentam película de óxido de ferro ao redor, embora muito pouco.

Nota sobre os grãos retidos na peneira 0,3mm: grande maioria de grãos de quartzo incolor e branco, e uma quantidade bastante baixa de grãos de quartzo leitoso. Raros agregados com película de óxido de ferro ao redor (0,5% ou menos). Os grãos maiores estão mais arredondados que os menores.

Nota sobre os grãos retidos na peneira 0,15mm: grande maioria dos grãos são de quartzo incolor e branco, e alguns com capa de óxido de ferro.

Nota sobre os grãos retidos na peneira <0,15mm: existe divisão bem clara de tamanhos. Grãos com óxido de ferro são maiores e apresentam bom arredondamento e esfericidade. Grãos de quartzo são menores e predominantemente incolores. Cada geração (tamanhos diferentes) tem grau de arredondamento diferente.

Grau de esfericidade predominante: conforme tabela

Grau de arredondamento predominante: conforme tabela

Superfície predominante: polida

Considerações sob aspectos que possam ser prejudiciais no concreto (ou argamassa): não foi identificado.

2 - CONTAGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS GRÃOS PARA ANÁLISE PETROGRÁFICA DA AREIA MÉDIA									
MALHA DA PENEIRA # 0,6 MM (500 GRÃOS ANALISADOS)									
CATEGORIA	Muito angular (peso 0,10)	Angular (peso 0,20)	Sub-angular (peso 0,30)	Sub-arredondado (peso 0,40)	Arredondado (peso 0,60)	Bem arredondado (peso 0,85)	Totais	Média dos pesos	Forma predominante
Alta esfericidade (nº grãos)	67	50	57	70	61	56	361		72% alta esfericidade
Somatório dos pesos	6,7	10	17,1	28	36,6	47,6	146	0,40	
Percentual dos grãos	13%	10%	11%	14%	12%	11%	72%		
Baixa esfericidade (nº grãos)	0	3	32	32	14	58	139		59% arredond. 41% angular
Somatório dos pesos	0	0,6	9,6	12,8	8,4	49,3	80,7	0,58	
Percentual dos grãos	0%	1%	6%	6%	3%	12%	28%		
3 - MALHA DA PENEIRA # 0,3 MM (500 GRÃOS ANALISADOS)									
CATEGORIA	Muito angular (peso 0,10)	Angular (peso 0,20)	Sub-angular (peso 0,30)	Sub-arredondado (peso 0,40)	Arredondado (peso 0,60)	Bem arredondado (peso 0,85)	Totais	Média dos pesos	Forma predominante
Alta esfericidade (nº grãos)	37	48	58	58	17	4	222		44% alta esfericidade 56% baixa esfericidade
Somatório dos pesos	3,7	9,6	17,4	23,2	10,2	3,4	67,5	0,30	
Percentual dos grãos	7%	10%	12%	12%	3%	1%	44%		
Baixa esfericidade (nº grãos)	23	19	102	70	40	24	278		43% arredond. 57% angular
Somatório dos pesos	2,3	3,8	30,6	28	24	20,4	109,1	0,39	
Percentual dos grãos	5%	4%	20%	14%	8%	5%	56%		
4 - MALHA DA PENEIRA # 0,15 MM (500 GRÃOS ANALISADOS)									
CATEGORIA	Muito angular (peso 0,10)	Angular (peso 0,20)	Sub-angular (peso 0,30)	Sub-arredondado (peso 0,40)	Arredondado (peso 0,60)	Bem arredondado (peso 0,85)	Totais	Média dos pesos	Forma predominante
Alta esfericidade (nº grãos)	30	14	33	12	7	0	96		19% alta esfericidade 81% baixa esfericidade
Somatório dos pesos	3	2,8	9,9	4,8	4,2	0	24,7	0,26	
Percentual dos grãos	6%	3%	7%	2%	1%	0%	19%		
Baixa esfericidade (nº grãos)	121	141	93	34	15		404		13% arredond.
Somatório dos pesos	12,1	28,2	27,9	13,6	9	0	90,8	0,22	

Percentual dos grãos	24%	28%	19%	7%	3%	0%	81%		87% angular
5 - MALHA DA PENEIRA # < 0,15 MM (100 GRÃOS ANALISADOS)									
CATEGORIA	Muito angular (peso 0,10)	Angular (peso 0,20)	Sub-angular (peso 0,30)	Sub-arredondado (peso 0,40)	Arredondado (peso 0,60)	Bem arredondado (peso 0,85)	Totais	Média dos pesos	Forma predominante
Alta esfericidade (n° grãos)			1	0	10	0	11		11% alta esfericidade
Somatório dos pesos	0	0	0,3	0	6	0	6,3	0,57	89% baixa esfericidade
Percentual dos grãos	0%	0%	1%	0%	10%	0%	11%		
Baixa esfericidade (n° grãos)	9	19	20	22	19	0	89		51% arredond.
Somatório dos pesos	0,9	3,8	6	8,8	11,4	0	30,9	0,35	
Percentual dos grãos	9%	19%	20%	22%	19%	0%	89%		49% angular

APÊNDICE G - ANÁLISE PETROGRÁFICA DA AREIA GROSSA

1 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DA AREIA GROSSA											
Peneira (abertura em mm)	Composição granulométrica (% em massa)		Composição mineralógica do material retido (% em número de grãos)								
			Inócuos			Deletérios	Potencialmente deletérios		Friáveis		Total da fração (%)
	Sim ples	Acu mul ada	Tur mali na	Qua rtzo	Feldsp ato	Calce dônia	Rocha	Quartz o policri stalino	Mica	Torrões de argila	
4,8	1,5	2	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	Fração não analis.
2,4	4,1	6	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	Fração não analis.
1,2	10,6	16	0,0	98,0 %	1,0%	1,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (100 grãos)
0,6	17,2	33	0,0	95,5 %	3,5%	1,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (500 grãos)
0,3	46,5	80	0,0	99,0 %	1,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (500 grãos)
0,15	17,2	97	0,0	100 %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100 (500 grãos)
<0,15	2,8	100	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	Fração não analis.
Total	100	Total (b)	0,0	98,3 %	1,4%	0,3%	0,0	0,0	0,0	0,0	

Notas e legenda: A análise petrográfica foi realizada conforme a NBR 7389-1 (ABNT, 2009b).

- (a) Fração não analisada;
- (b) Composição mineralógica da amostra de agregado miúdo, calculada ponderando-se a porcentagem de cada componente da fração pela porcentagem retida individual dessa fração (obtida no ensaio de determinação da composição granulométrica pela NBR NM 248 (ABNT, 2003 ou 2001). O valor obtido foi corrigido pela soma das porcentagens retidas individuais das frações que representam menos de 5% da amostra total (não analisadas).

Nota sobre os grãos retidos na peneira 1,2mm: Existem fragmentos de rocha (arenito) em que a argila junta os grãos, presença de grãos de feldspato com quartzo, calcedônia (cor cinza). Presença de grãos de quartzo incolor e branco, na grande maioria. Existem grãos com óxido de ferro. A calcedônia pode reagir com o cimento; porém, a bibliografia aponta um teor mínimo de 3%. Esta areia apresenta um teor de 0,3% de grão de calcedônia.

Nota sobre os grãos retidos na peneira 0,6mm: Grãos de quartzo na maioria; porém também a presença de grãos de feldspato (3,5%) e calcedônia (1%).

Nota sobre os grãos retidos na peneira 0,3mm: Grãos de quartzo incolor, em grande maioria. Presença de grãos de feldspato (1%). Existem grãos com capa de óxido de ferro, embora poucos.

Nota sobre os grãos retidos na peneira 0,15mm: Predominam os grãos de quartzo incolor. Presença de grãos com capa de óxido de ferro.

Grau de esfericidade predominante: conforme tabela

Grau de arredondamento predominante: conforme tabela

Superfície predominante: polida

Considerações sob aspectos que possam ser prejudiciais no concreto (ou argamassa): não foi identificado
Classificação quanto à RAA: não foi analisada.

5 - MALHA DA PENEIRA # 0,15 MM (500 GRÃOS ANALISADOS)									
CATEGORIA	Muito angular (peso 0,10)	Angular (peso 0,20)	Sub-angular (peso 0,30)	Sub-arredonda (peso 0,40)	Arredonda (peso 0,60)	Bem arredonda (peso 0,85)	Totais	Média dos pesos	Forma predominante
Alta esfericidade (n° grãos)	52	53	49	48	11	0	213		43% alta esfericid. 57% baixa esfericid. 39% arredond. 61% angular
Somatório dos pesos	5,2	10,6	14,7	19,2	6,6	0	56,3	0,26	
Percentual dos grãos	10%	11%	10%	10%	2%	0%	43%		
Baixa esfericidade (n° grãos)	86	37	31	96	34	3	287		
Somatório dos pesos	8,6	7,4	9,3	38,4	20,4	2,55	86,65	0,30	
Percentual dos grãos	17%	7%	6%	19%	7%	1%	57%		

APÊNDICE H – CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

1 - Determinação do índice de consistência - NBR 13276 (ABNT, 2005a)				
Argamassa de chapisco areia média (AM)		Argamassa de chapisco areia grossa (AG)		
Traço em massa - 1:3,618 (1)		Traço em massa - 1:3,672 (0,97)		
Traço em volume - 1:3		Traço em volume - 1:3		
	Determinação antes das quedas	Determinação após as 30 quedas	Determinação antes das quedas	Determinação após as 30 quedas
	293	402	290	395
	298	400	296	401
	294	397	293	405
Média	295	400	293	400

2 - Determinação da retenção de água - NBR 13277 (ABNT, 2005b)						
	Chapisco areia média			Chapisco areia grossa		
	Traço em massa - 1:3,618 (1,00)			Traço em massa - 1:3,672 (0,97)		
	Traço em volume - 1:3			Traço em volume - 1:3		
	Det.1	Det.2	Det.3	Det.1	Det.2	Det.3
ma - massa do conj. com argamassa (g)	1813,68	1771,49	1710,9	1788,12	1777,9	1826,8
ms - massa do conj. após sucção (g)	1772,31	1735,95	1670,9	1755,38	1731,9	1781
mv - massa do conj. Vazio (g)	596,15	595,55	595	596,74	595,8	596,4
mw - massa total de água acresc. à mistura (g)	1000	1000	1000	970	970	970
m - massa compon. anidros (g)	4618	4618	4618	4672	4672	4672
AF - fator água/argamassa fresca	0,1780	0,1780	0,1780	0,1719	0,1719	0,1719
Ra - retenção de água (%)	80,9	83,0	79,9	84,0	77,4	78,3
Ra - média (%)	81,3			79,9		
Desvio (%)	0,4	-2,2	1,7	-5,1	3,2	2,0
Desvio padrão	1,6			3,6		
Coef. Var. (%)	2,0			4,5		

3.a - Determinação da densidade de massa no estado fresco - NBR 13278 (ABNT, 2005c)						
	Chapisco areia média			Chapisco areia grossa		
	Traço em massa - 1:3,618 (1,00)			Traço em massa - 1:3,672 (0,97)		
	Traço em volume - 1:3			Traço em volume - 1:3		
	Det.1	Det.2	Det.3	Det.1	Det.2	Det.3
mc - massa recipiente cilíndrico contendo arg (g)	1623,81	1625,4	1624,01	1638,35	1640,2	1641,6
mv - massa recipiente cilíndrico vazio (g)	859,0	859,0	859,0	859,0	859,0	859,0
vr - volume recipiente cilíndrico (cm3)	379,73	379,73	379,73	379,73	379,73	379,73
d - densidade de massa (kg/dm3)	2,014	2,018	2,015	2,052	2,057	2,061
d - médio (kg/m3)	2,016			2,057		
Desvio máx (%)	0,13%			-0,22%		

3.b - Determinação do teor de ar incorporado - NBR 13278 (ABNT, 2005c)						
	Chapisco areia média (AM)			Chapisco areia grossa (AG)		
ms - massa de argamassa anidra (g)	4,618	4,618	4,618	4,672	4,672	4,672
m água - massa de água que compõe a arg fresca (g)	1	1	1	0,97	0,97	0,97
γ cimento - massa específica do cimento CP IV-32 (g/cm3)	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73	2,73
γ areia - massa específica da areia	2,67	2,67	2,67	2,65	2,65	2,65
γ água - massa específica da água (g/cm3) - T = 23°C	0,99754	0,99754	0,99754	0,99754	0,99754	0,99754
dt - densidade de massa teórica da argamassa (kg/dm3)	2,063	2,063	2,063	2,071	2,071	2,071
A - teor de ar incorporado (%)	2,35	2,15	2,32	0,90	0,66	0,48
Média (o resultado com maior desvio foi desconsiderado para o cálculo da média.	2,34			0,78		
Desvio (%)	0,5		-0,5	15,1	-15,1	
$dt = \frac{\sum mi}{\sum \frac{mi}{\gamma i}}$ $A = 100 \left(1 - \frac{d}{dt} \right)$						

APÊNDICE I – CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

1.a – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão da argamassa de chapisco areia média (AM), idade 28 dias. Traço em massa: 1:3,618 (1,00) - NBR 13279 (ABNT, 2005d)							
CP	Ff - carga de flexão (N)	Rf - resistência à tração na flexão (Mpa)	Desvio	Fc - carga de compressão (N)	Rc - resistência à compressão (Mpa)	Desvio	
1	890	2,09	0,27	15000	9,38	-0,63	*
				16800	10,50	0,50	
2	730	1,71	-0,11	15500	9,69	-0,31	
				17000	10,63	0,63	*
3	710	1,66	-0,16	15400	9,63	-0,38	
				16300	10,19	0,19	
	Resistência à tração na flexão - média (Mpa)	1,82	d=0,3	Resistência à compressão - média (Mpa)	10,00	Nova média (Mpa)	10,00
Desvio absoluto máximo	0,3			D = 0,63 Mpa > 0,5 Mpa (calcula-se nova média)			

1.b - Argamassa de chapisco areia grossa (AG), idade 28 dias. Traço em massa: 1:3,672 (0,97) - NBR 13279 (ABNT, 2005d)							
CP	Ff - carga de flexão (N)	Rf - resistência à tração na flexão (Mpa)	Desvio	Fc - carga de compressão (N)	Rc - resistência à compressão (Mpa)	Desvio	
DPC 07G	890	2,09	0,24	17000	10,63	-1,09	*
				18100	11,31	-0,41	
DPC 11G	700	1,64	-0,20	19200	12,00	0,28	
				19000	11,88	0,16	
DPC 12G	770	1,80	-0,04	19400	12,13	0,41	
				19800	12,38	0,66	*
	Resistência à tração na flexão - média (Mpa)	1,84	d=0,24	Resistência à compressão - média (Mpa)	11,72	Nova média (Mpa)	11,83
Desvio absoluto máximo	dmáx = 0,24 MPa < 0,3 Mpa (ok!)			Dmáx = 1,09 Mpa > 0,5 Mpa, restaram 4 valores válidos e calculou-se nova média.			
$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad L = 100 \text{ mm}$				$R_c = \frac{F_c}{1600}$			

2.a - Densidade de massa aparente no estado endurecido - NBR 13280 (NBR, 2005e) ARGAMASSA CHAPISCO AREIA MÉDIA (AM) - TRAÇO 1:3,618 (1,00), 28 dias												
Nº CP	m - massa (g)	l - largura (cm)		l média (cm)	h - altura (cm)		h média (cm)	c - comprimento (cm)		c médio (cm)	v - volume (cm ³)	ρ máx - densidade de massa (kg/m ³)
DPC 02M	504,55	4,10	4,00	4,05	4,00	4,00	4,00	15,85	15,90	15,88	257,18	1961,89
DPC 03M	502,12	3,90	4,00	3,95	4,00	3,95	3,98	16,00	15,95	15,98	250,83	2001,85
DPC 06M	511,13	4,00	4,10	4,05	3,95	3,95	3,95	15,90	15,90	15,90	254,36	2009,47
DPC 07M	503,32	3,85	3,90	3,88	4,00	4,05	4,03	16,05	16,05	16,05	250,33	2010,63
DPC 08M	506,38	3,80	3,90	3,85	3,95	3,95	3,95	16,15	16,10	16,13	245,22	2064,99
DPC 10M	515,72	4,05	4,15	4,10	4,00	4,00	4,00	15,90	15,85	15,88	260,35	1980,87
DPC 11M	500,85	4,00	3,90	3,95	4,00	4,00	4,00	16,10	16,15	16,13	254,78	1965,85
DPC 12M	514,50	3,90	4,00	3,95	3,95	3,95	3,95	16,15	16,15	16,15	251,98	2041,83
											média	2005

$$\rho \text{ máx} = \frac{m}{v} \times 1000$$

(kg/m³)

2.b - Densidade de massa aparente no estado endurecido - NBR 13280 (NBR, 2005e) ARGAMASSA CHAPISCO AREIA GROSSA - TRAÇO 1:3,672 (0,97), 28 dias												
Nº CP	m - massa (g)	l - largura (cm)		l média (cm)	h - altura (cm)		h média (cm)	c - comprimento (cm)		c médio (cm)	v - volume (cm ³)	ρ máx - densidade de massa (kg/m ³)
DPC 04G	496,60	4,00	3,90	3,95	4,00	4,00	4,00	16,10	16,10	16,10	254,38	1952,20
DPC 05G	495,70	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	16,00	16,00	16,00	256,00	1936,33
DPC 06G	494,20	4,00	4,00	4,00	3,95	3,95	3,95	16,00	16,00	16,00	252,80	1954,91
DPC 08G	513,00	3,90	3,90	3,90	4,00	4,00	4,00	16,10	16,00	16,05	250,38	2048,89
DPC 09G	510,30	3,90	3,90	3,90	4,00	4,00	4,00	16,10	16,10	16,10	251,16	2031,77
DPC 10G	519,70	4,00	3,90	3,95	4,00	4,00	4,00	16,10	16,10	16,10	254,38	2043,01
DPC 11G	520,30	4,00	4,00	4,00	3,95	3,95	3,95	16,10	16,10	16,10	254,38	2045,37
DPC 12G	531,50	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	16,10	16,10	16,10	257,60	2063,28
											média	2009

3.A - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - NBR 15258 (ABNT, 2005g) CHAPISCO AREIA MÉDIA (AM) - TRAÇO EM MASSA 1:3,618 (1,00) - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DA ARGAMASSA APLICADA DIRETAMENTE NO SUBSTRATO-PADRÃO - 28 DIAS										
COR PO-DE-PROVA Nº	P-CARGA (N)	D-DIÂM ETRO (MM)	A-SEÇÃO (MM ²)	R-RESIST POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)	DESVI O EM RELAÇÃO À MÉDIA (%)	VALORES DESCARTADOS (± 30% DA MÉDIA)	FORMA DE RUPTURA - %			
							SUBSTRATO	SUBSTRATO/CHAPISCO	ARGAM	FALHA COLAGEM PEÇA METÁLICA
11	791	50	1963,5	0,40	-25,77				100	
12	725	50	1963,5	0,37	-31,96	*			100	
13	747	50	1963,5	0,38	-29,90				100	
14	843	50	1963,5	0,43	-20,89				100	
15	888	50	1963,5	0,45	-16,67				100	
16	1064	50	1963,5	0,54	-0,15				100	
17	1058	50	1963,5	0,54	-0,71				100	
18	919	50	1963,5	0,47	-13,76				100	
19	1440	50	1963,5	0,73	35,14	*			100	
20	2181	50	1963,5	1,11	104,67	*			100	
MÉDIA				0,54						
RESIST. POT. MÉDIA (SEM VLRS. *)				0,46						
OBS.: ADEQUADO PARA PAREDE EXTERNA (≥0,30MPA) - NBR 13749, TABELA 2 (ABNT, 2013, P. 3)										

3.B - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - NBR 15258 (ABNT, 2005g) CHAPISCO AREIA GROSSA (AG) - TRAÇO EM MASSA: 1:3,672 (0,97) - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DA ARGAMASSA APLICADA DIRETAMENTE NO SUBSTRATO-PADRÃO - 28 DIAS										
COR PO-DE-PROVA Nº	P-CARGA (N)	D (mm)	A-SEÇÃO (MM ²)	R-RESIST POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)	DESVI O EM RELAÇÃO À MÉDIA (%)	VALORES DESCARTADOS	FORMA DE RUPTURA - %			
							SUBSTRATO	SUBSTRATO/CHAPISCO	ARGAM	FALHA COLAGEM PEÇA METÁLICA
1	1541	50	1963,5	0,78	21,53				100	
2	1519	50	1963,5	0,77	19,79				100	
3	1227	50	1963,5	0,62	-3,23				100	
4	1127	50	1963,5	0,57	-11,12				100	
5	1019	50	1963,5	0,52	-19,64				100	
6	1096	50	1963,5	0,56	-13,56				100	
7	1312	50	1963,5	0,67	3,47				100	
8	1343	50	1963,5	0,68	5,91				100	
9	1443	50	1963,5	0,73	13,80				100	
10	1053	50	1963,5	0,54	-16,96				100	
MÉDIA				0,65						
RESIST. POT. MÉDIA (SEM VLRS. *)				0,65						
OBS.: ADEQUADO PARA PAREDE EXTERNA (≥0,30MPA) - NBR 13749 (ABNT, 2013b, P. 3) TABELA 2										

4.A - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E DO COEFICIENTE DE CAPILARIDADE (AOS 28 DIAS) - NBR 15259 (ABNT, 2005h) - ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA MÉDIA (AM) - TRAÇO 1:3,618 (1,00), EM MASSA

Nº CP	MO - MASSA INICIAL L (G)	M10 - MASSA AOS 10MIN (G)	M90 - MASSA AOS 90 MIN (G)	A10 - ABSORÇÃO AOS 10 MIN (G/CM2)	A90 - ABSORÇÃO AOS 90 MIN (G/CM2)	C - COEF. CAPILARIDADE = M90 - M10 (G/DM2.MIN ^{1/2})	DESVIO (%)	ÁREA MEDIDA NBR1328 0
DPC 03M	500,90	506,80	516,10	0,38	0,97	9,30	0,2	15,70
DPC 06M	511,00	516,70	526,30	0,36	0,96	9,60	3,4	16,00
DPC 07M	501,80	507,20	515,10	0,34	0,83	7,90	-14,9	16,00
DPC 10M	514,20	519,90	530,50	0,35	0,99	10,60	14,2	16,40
DPC 11M	499,30	505,20	515,40	0,37	1,02	10,20	9,9	15,80
DPC 12M	514,20	518,50	526,60	0,28	0,79	8,10	-12,7	15,60
			MÉDIAS	0,34	0,93	9,28		

Nota:

At = absorção de água por capilaridade (g/cm²) no tempo t;

mt = massa do corpo de prova em cada tempo (g);

mo = massa inicial (g);

t = tempo de 10 min e 90 min, em segundos;

16 cm² = área de cada corpo de prova (ou indicada da tabela da NBR 13280, anexa)

$$At = \frac{mt - mo}{16}$$

4.B - DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E DO COEFICIENTE DE CAPILARIDADE (AOS 28 DIAS) - NBR 15259 (ABNT, 2005h) ARGAMASSA DE CHAPISCO COM AREIA GROSSA (AG) - TRAÇO 1:3,672 (0,97), EM MASSA

Nº CP	MO - MASSA INICIAL (G)	M10 - MASSA AOS 10MIN (G)	M90 - MASSA AOS 90 MIN (G)	A10 - ABSORÇÃO AOS 10 MIN (G/CM2)	A90 - ABSORÇÃO AOS 90 MIN (G/CM2)	C - COEF. CAPILARIDADE = M90 - M10 (G/DM2.MIN ^{1/2})	DESVIO (%)	ÁREA (CM2)	
DPC 04G	494,12	499,50	510,63	0,34	1,04	11,13	25,60	15,80	*
DPC 05G	493,14	497,50	507,82	0,27	0,92	10,32	16,46	16,00	
DPC 06G	491,11	496,50	506,60	0,34	0,98	10,10	13,97	15,80	
DPC 07G	499,98	503,90	511,11	0,25	0,71	7,21	-18,64	15,60	
DPC 11G	517,63	521,86	528,37	0,27	0,68	6,51	-26,54	15,80	*
DPC 12G	528,74	533,17	541,07	0,28	0,77	7,90	-10,85	16,00	
			MÉDIAS	0,29	0,85	8,86			
					NOVA MÉDIA	8,88			

VERIFICAR NOVA MÉDIA, QUANDO DESVIO MAIOR DE 20%

Nota:

At = absorção de água por capilaridade (g/cm²) no tempo t;

mt = massa do corpo de prova em cada tempo (g);

mo = massa inicial (g);

t = tempo de 10 min e 90 min, em segundos;

16 cm² = área de cada corpo de prova (ou indicada da tabela da NBR 13280, anexa)

$$At = \frac{mt - mo}{16}$$

APÊNDICE J – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE E ABSORÇÃO PELO MÉTODO DO CACHIMBO

Obs.: As argamassas AM e AG foram ensaiadas aos 28 dias.

a) Método do cachimbo para o substrato-padrão sem chapisco e com chapisco AM e AG.

Tabela - Método do cachimbo para o substrato-padrão (SP) sem chapisco

Tempo (min)	0	1	5	10	15
SP1	0,00	0,03	0,10	0,15	0,20
SP2	0,00	0,05	0,13	0,17	0,20
SP3	0,00	0,06	0,15	0,21	0,28
Média	0,00	0,05	0,13	0,18	0,23

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o substrato-padrão sem chapisco

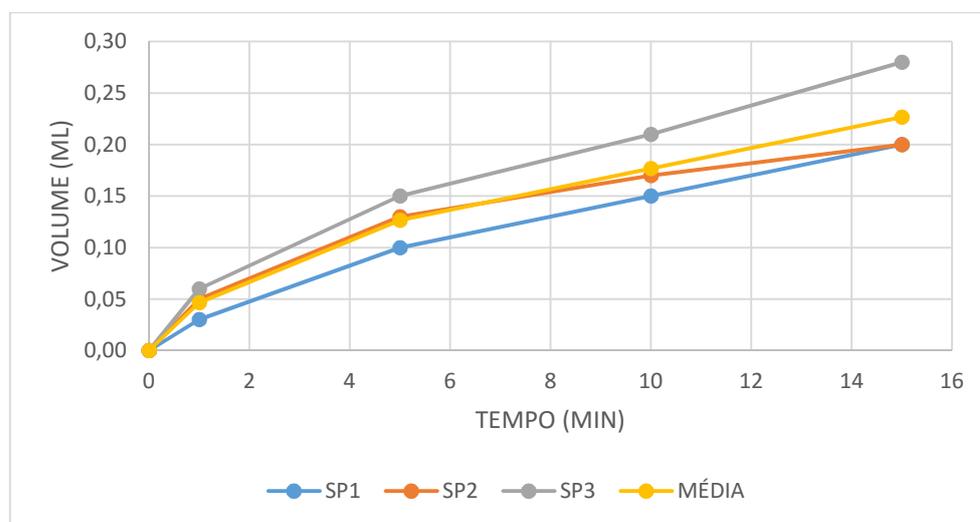


Tabela – Método do cachimbo para o substrato-padrão (SP) com AM

Tempo (min)	0	1	5	10	15
SP1xAM	0,00	0,15	0,45	0,65	0,85
SP2xAM	0,00	0,18	0,42	0,62	0,82
SP3xAM	0,00	0,22	0,50	0,70	0,88
Média	0,00	0,18	0,46	0,66	0,85

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o substrato-padrão (SP) com AM

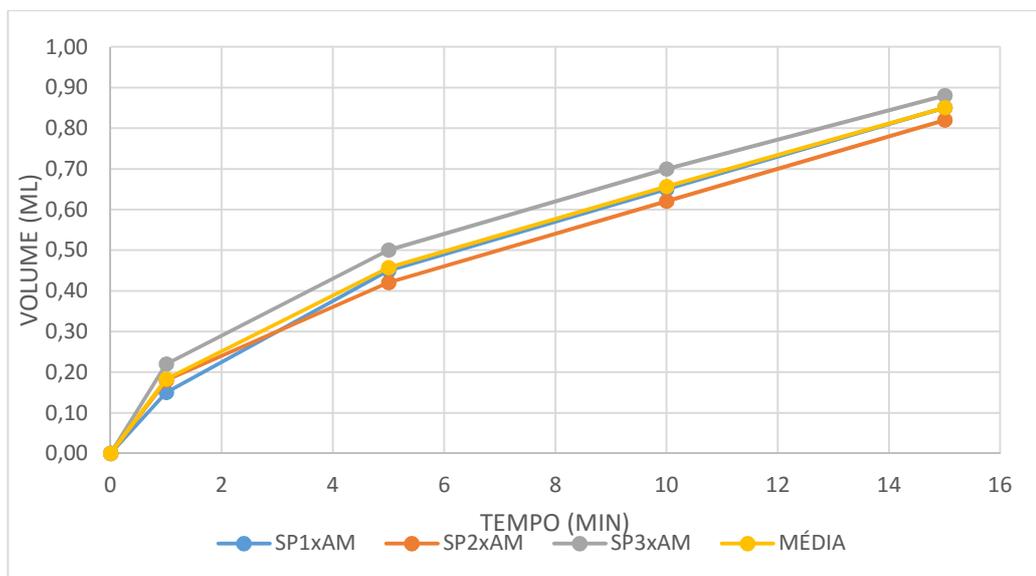


Tabela - Método do cachimbo para o substrato-padrão (SP) com AG

Tempo (min)	0	1	5	10	15
SP4xAG	0,00	0,35	0,80	1,18	1,45
SP5xAG	0,00	0,36	0,87	1,55	2,13
SP6xAG	0,00	0,35	0,82	1,40	1,90
Média	0,00	0,35	0,83	1,38	1,83

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o substrato-padrão com AG

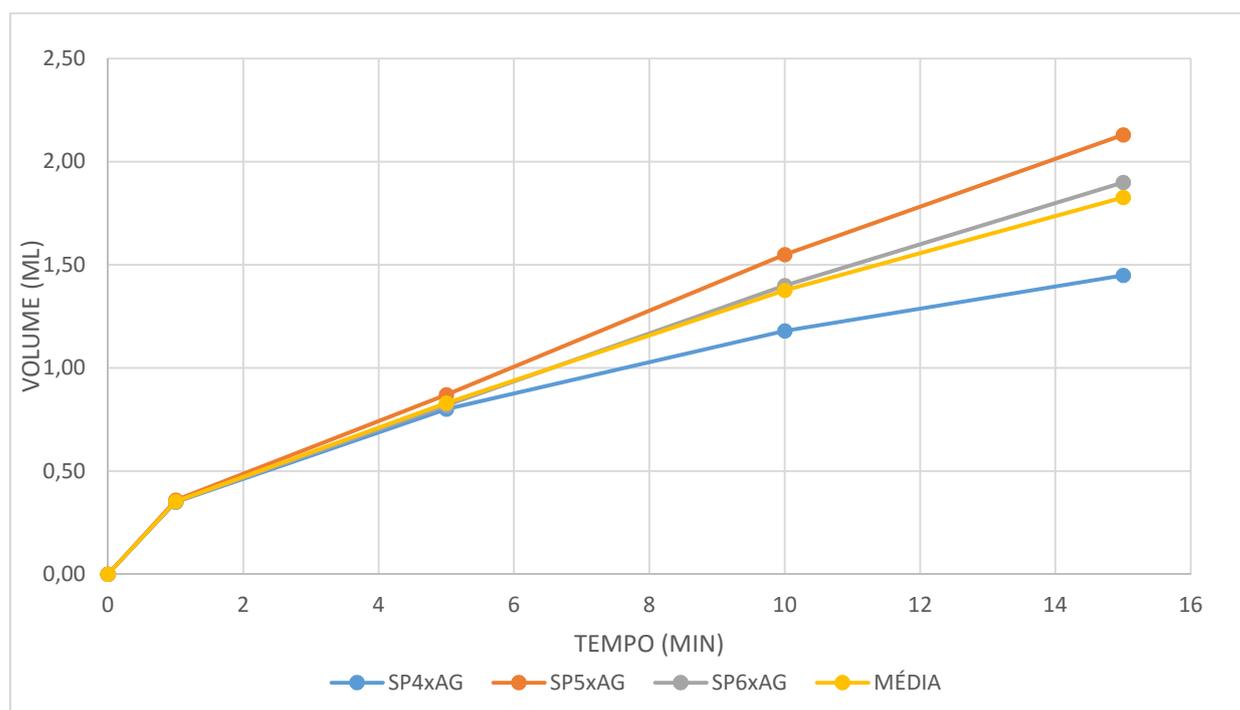
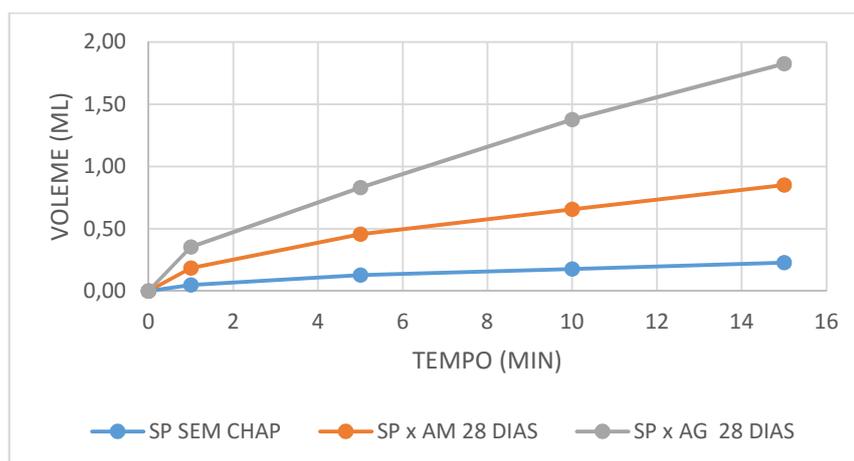


Tabela – Comparação: SP sem chapisco x com AM x com AG

Tempo (min)	0	1	5	10	15
SP sem chapisco	0,00	0,05	0,13	0,18	0,23
SP x AM	0,00	0,18	0,46	0,66	0,85
SP x AG	0,00	0,35	0,83	1,38	1,83

Gráfico método do cachimbo: SP sem chapisco x com AM x com AG



b) Método do cachimbo para os substratos sem chapisco

Tabela – Método do cachimbo: BL sem chapisco

Tempo	0	1	5	10	15
BL1	0,00	0,60	1,70	2,80	3,72
BL1a	0,00	0,50	1,40	2,30	3,30
BL2	0,00	0,40	1,08	1,82	2,55
BL2a	0,00	0,75	1,85	2,80	3,60
BL3	0,00	0,45	1,28	2,10	2,80
Média	0,00	0,54	1,46	2,36	3,19

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o BL sem chapisco

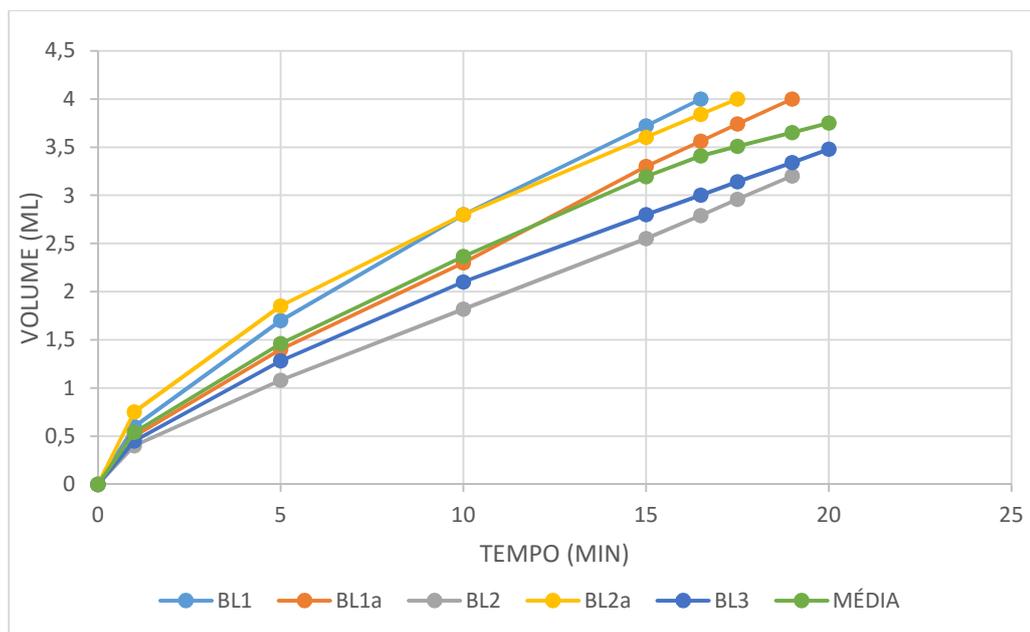


Tabela – Método do cachimbo: BH sem chapisco

Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BH1a	0,00	0,60	1,75	3,05	4,00	-
BH2	0,00	0,75	2,10	3,20	4,00	-
BH2a	0,00	0,65	2,00	3,14	4,00	-
BH3a	0,00	0,60	1,90	3,10	4,00	-
Média	0,00	0,65	1,94	3,12	4,00	-

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o BH sem chapisco

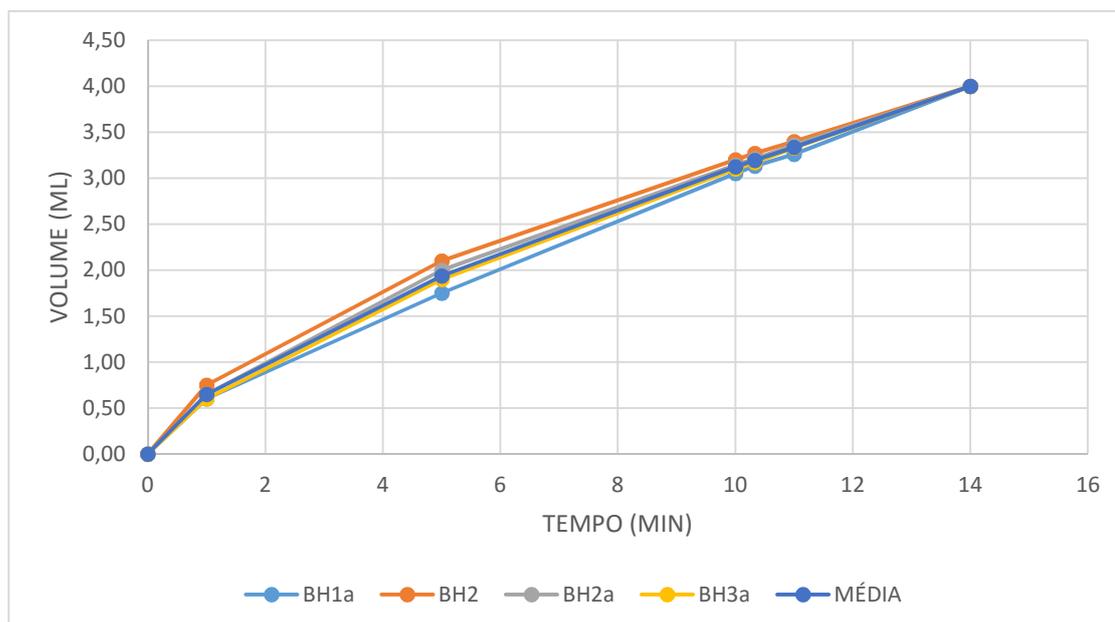


Tabela – Método do cachimbo: BV sem chapisco

Tempo	0	1	5	10	15
BV1	0,00	0,35	1,20	2,20	3,10
BV2	0,00	0,65	1,50	2,40	3,20
BV3	0,00	0,60	1,45	2,30	3,04
Média	0,00	0,53	1,38	2,30	3,11

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o BV sem chapisco

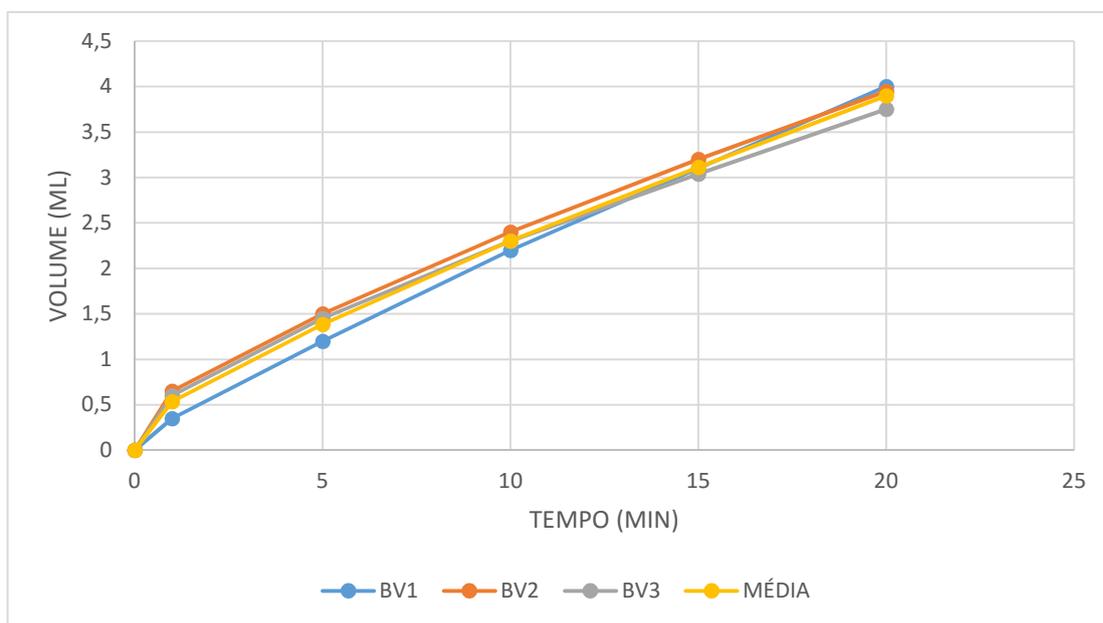
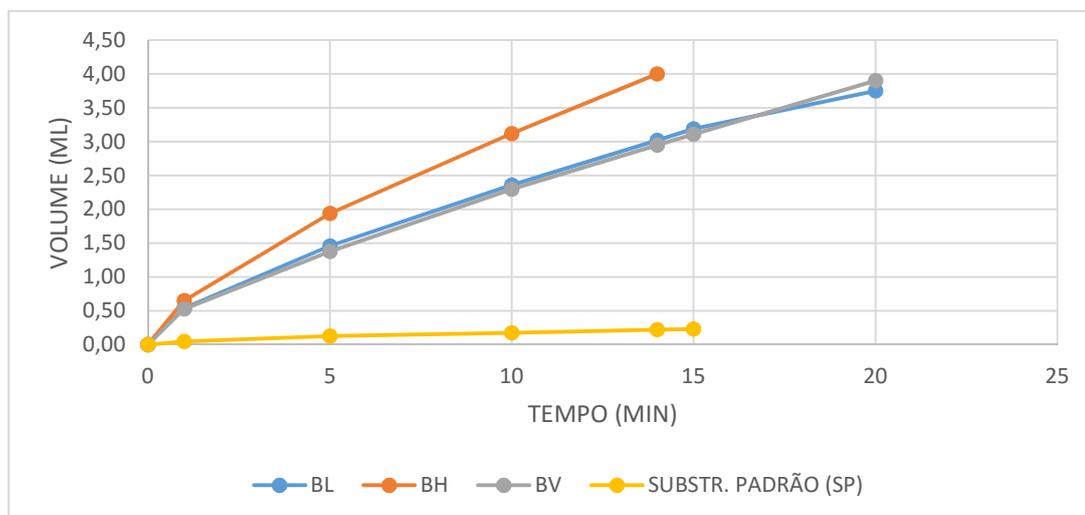


Tabela – Resumo: blocos e substrato-padrão sem chapisco

Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BL	0,00	0,54	1,46	2,36	3,02	3,19
BH	0,00	0,65	1,94	3,12	4,00	
BV	0,00	0,53	1,38	2,30	2,95	3,11
SP	0,00	0,05	0,13	0,18	0,22	0,23

Gráfico do ensaio do método do cachimbo para o BL x BH x BV x SP, sem chapisco



c) Método do cachimbo para os substratos com AM

Tabela – Método do cachimbo: BL x AM

BLOCO VEDAÇÃO DE FACES LISAS (BL) COM CHAPISCO DE AREIA MÉDIA (AM), TRAÇO EM MASSA 1:3,618 (1,00), AOS 28 DIAS									
Tempo (min)	0	1	2	5	7,5	10,0	12,83	14	15
BL17xAM	0,00	0,50	0,90	1,75	2,35	3,05	3,75	4,00	
BL18xAM	0,00	0,48	0,80	1,60	2,15	2,70	3,35	3,70	4,00
BL19xAM	0,00	0,60	1,00	1,95	2,55	3,35	4,00		
Média	0,00	0,53	0,90	1,77	2,35	3,03	3,70	4,00	

Gráfico método do cachimbo: BL x AM

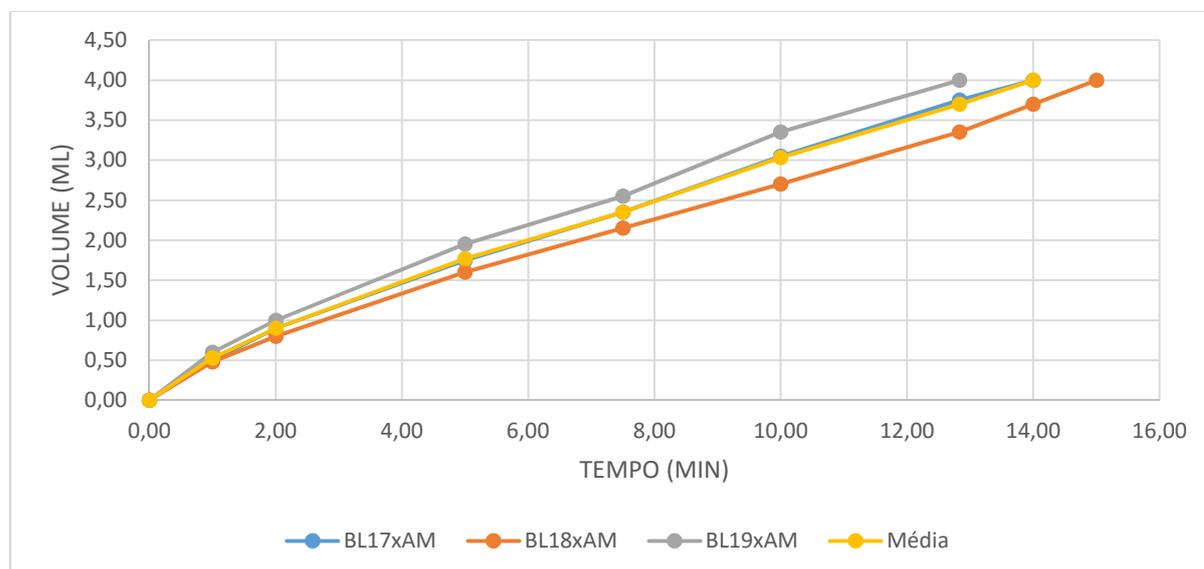


Tabela – Método do cachimbo: BH x AM

BLOCO VEDAÇÃO COM RANHURAS HORIZONTAIS (BH) COM CHAPISCO DE AREIA MÉDIA (AM), TRAÇO EM MASSA 1:3,618:1, AOS 28 DIAS								
Tempo (min)	0,00	1,00	2,00	5,00	8,50	10,00	12,00	14,00
BH15xAM	0,00	0,50	0,85	1,70	2,68	3,10	3,67	4,00
BH17xAM	0,00	0,90	1,50	2,80	4,00			
BH19xAM	0,00	0,62	1,00	1,95	2,86	3,35	4,00	
Média	0,00	0,67	1,12	2,15	3,18	3,60	4,00	

Gráfico do método do cachimbo: BH x AM

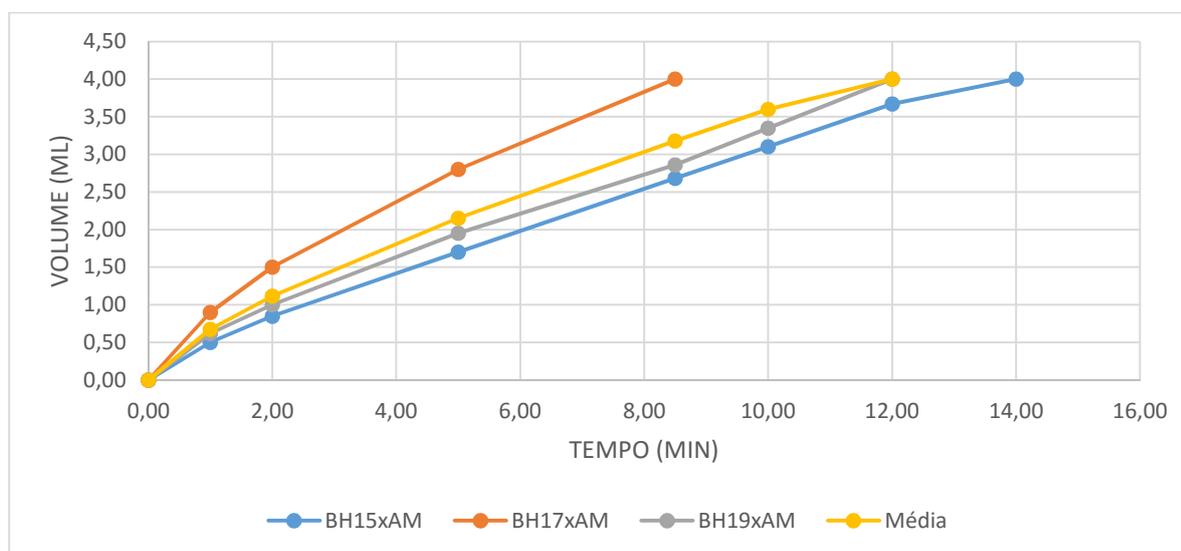


Tabela – Método do cachimbo: BV x AM

BLOCO VEDAÇÃO COM RANHURAS VERTICAIS (BV) COM CHAPISCO DE AREIA MÉDIA (AM), TRAÇO EM MASSA 1:3,618:1, AOS 28 DIAS							
Tempo (min)	0,00	1,00	2,00	5,00	7,00	10,00	15,00
BV16xAM	0,00	0,45	0,67	1,38	1,75	2,35	3,30
BV17xAM	0,00	1,00	1,60	2,75	3,30	4,00	
BV19xAM	0,00	1,00	1,90	3,30	4,00		
Média	0,00	0,82	1,39	2,48	3,02	3,50	4,00

Gráfico do método do cachimbo: BV x AM

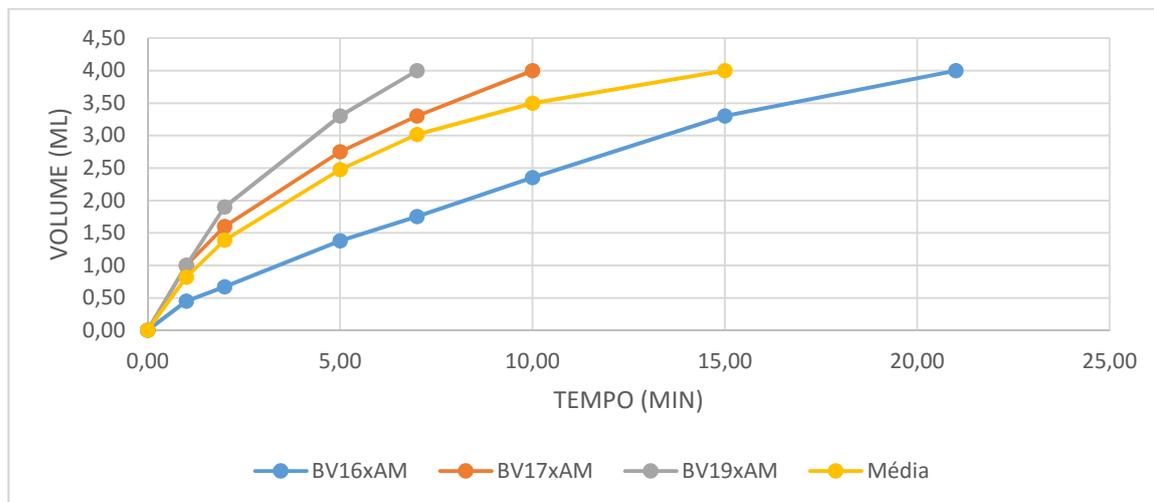


Tabela – Método do cachimbo: SP x AM

SUBSTR. PADRÃO DE CONCRETO (SP) x CHAPISCO DE AREIA MÉDIA (AM) no TRAÇO EM MASSA 1:3,618:1, AOS 28 DIAS						
Tempo	0,00	1,00	2,00	5,00	10,00	15,00
SP01a x AM	0,00	0,15	0,25	0,45	0,65	0,85
SP01b x AM	0,00	0,18	0,27	0,42	0,62	0,82
SP01c x AM	0,00	0,22	0,32	0,50	0,70	0,88
Média	0,00	0,18	0,28	0,46	0,66	0,85

Gráfico do método do cachimbo: SP x AM

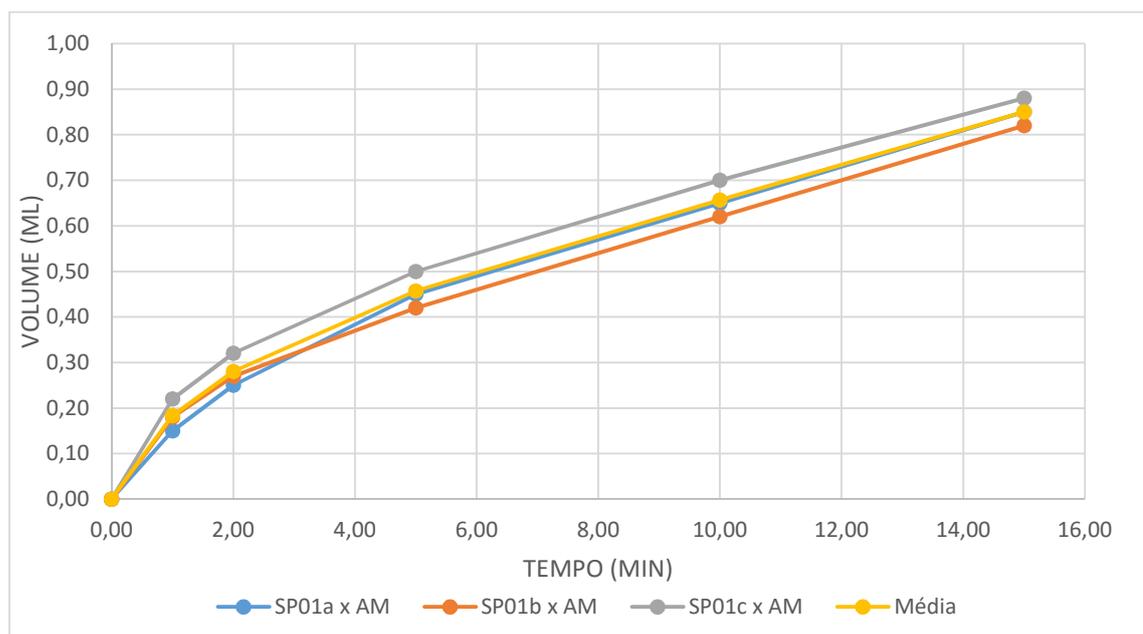
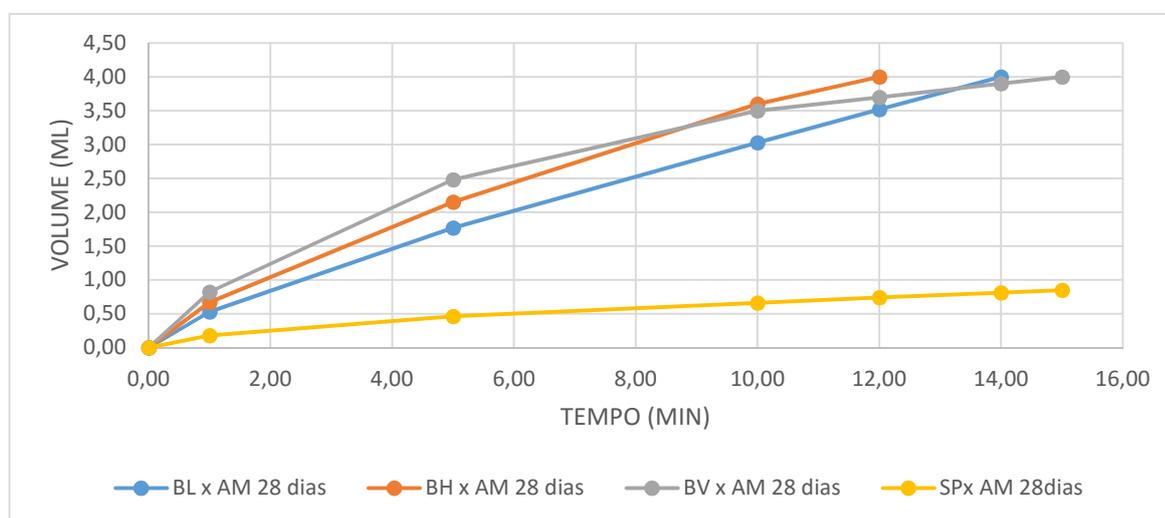


Tabela – Resumo método do cachimbo: blocos e SP com AM

TABELA RESUMO - BLOCOS E SUBSTR. PADRÃO COM CHAPISCO DE AREIA MÉDIA, TRAÇO EM MASSA 1:3,618:1, AOS 28 DIAS							
Tempo	0,00	1,00	5,00	10,00	12,00	14,00	15,00
BL x AM 28 dias	0,00	0,53	1,77	3,03	3,52	4,00	
BH x AM 28 dias	0,00	0,67	2,15	3,60	4,00		
BV x AM 28 dias	0,00	0,82	2,48	3,50	3,70	3,90	4,00
SP x AM 28dias	0,00	0,18	0,46	0,66	0,74	0,81	0,85

Gráfico resumo do método do cachimbo: blocos e SP com AM



d) Método do cachimbo para os substratos com AG

Tabela – Método do cachimbo: BL x AG

BLOCOS BL COM CHAPISCO DE AREIA GROSSA (AG), TRAÇO EM MASSA 1:3,672:0,97, AOS 28 DIAS							
Tempo (min)	0,00	1,00	2,00	5,00	10,00	14,33	15,00
BL23xAG	0,00	0,80	1,15	1,98	3,12	4,00	
BL31xAG	0,00	0,55	0,86	1,66	2,85	3,76	3,90
BL32xAG	0,00	0,59	0,91	1,60	2,81	3,75	3,87
BL33xAG	0,00	0,45	0,70	1,20	2,00	2,61	2,70
Média	0,00	0,60	0,91	1,61	2,80	3,74	3,89

Gráfico método do cachimbo para BL x AG

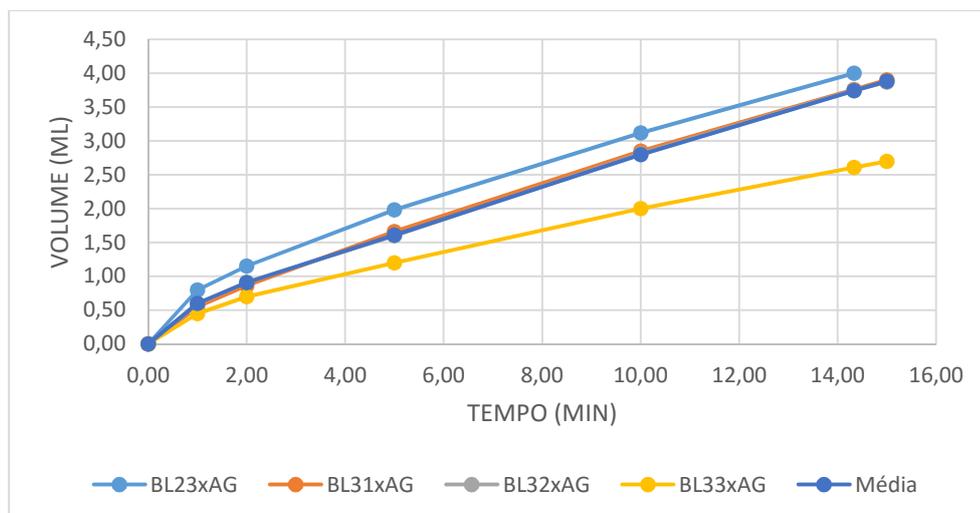


Tabela – Método do cachimbo: BH x AG

BLOCOS BH COM CHAPISCO DE AREIA GROSSA (AG), TRAÇO EM MASSA 1:3,672:0,97, AOS 28 DIAS							
Tempo (min)	0,00	1,00	2,00	5,00	10,00	13,33	15,00
BH24xAG	0,00	0,50	0,82	1,60	2,75	3,45	3,80
BH33xAG	0,00	0,45	0,80	1,62	2,88	3,63	4,00
BH40xAG	0,00	0,68	1,05	2,00	3,35	4,00	
Média	0,00	0,54	0,89	1,74	2,99	3,69	3,90

Gráfico método do cachimbo para BH x AG

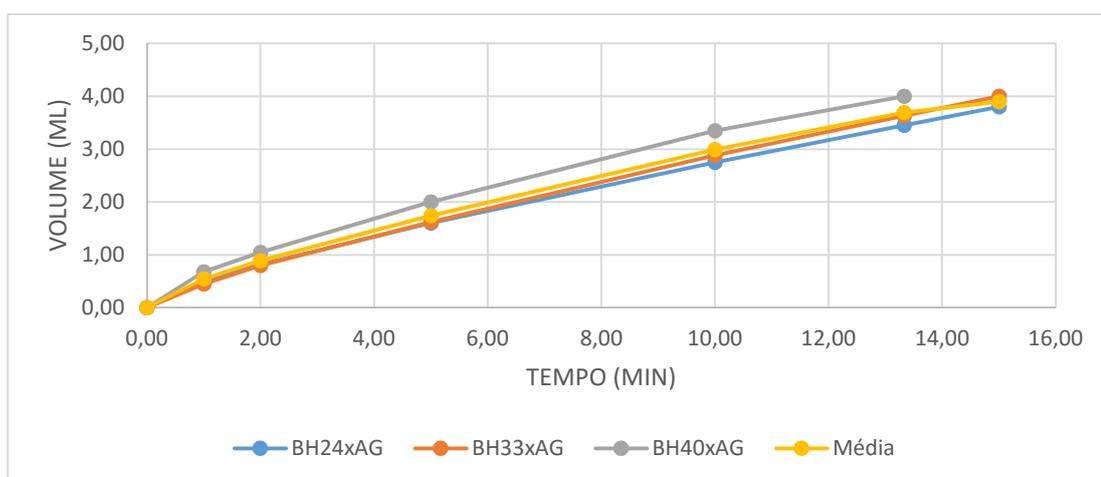


Tabela – Método do cachimbo: BV x AG

BLOCOS BV COM CHAPISCO DE AREIA GROSSA (AG), TRAÇO EM MASSA 1:3,672:0,97, AOS 28 DIAS						
Tempo (min)	0,00	1,00	2,00	5,00	10,00	15,00
BV23xAG	0,00	0,35	0,56	1,13	1,95	2,65
BVx31AG	0,00	0,28	0,43	0,87	1,50	2,08
BV32xAG	0,00	0,45	0,65	1,16	1,90	2,58
BV33xAG	0,00	0,60	0,90	1,50	2,36	3,00
Média	0,00	0,42	0,64	1,17	1,93	2,58

Gráfico método do cachimbo para BV x AG

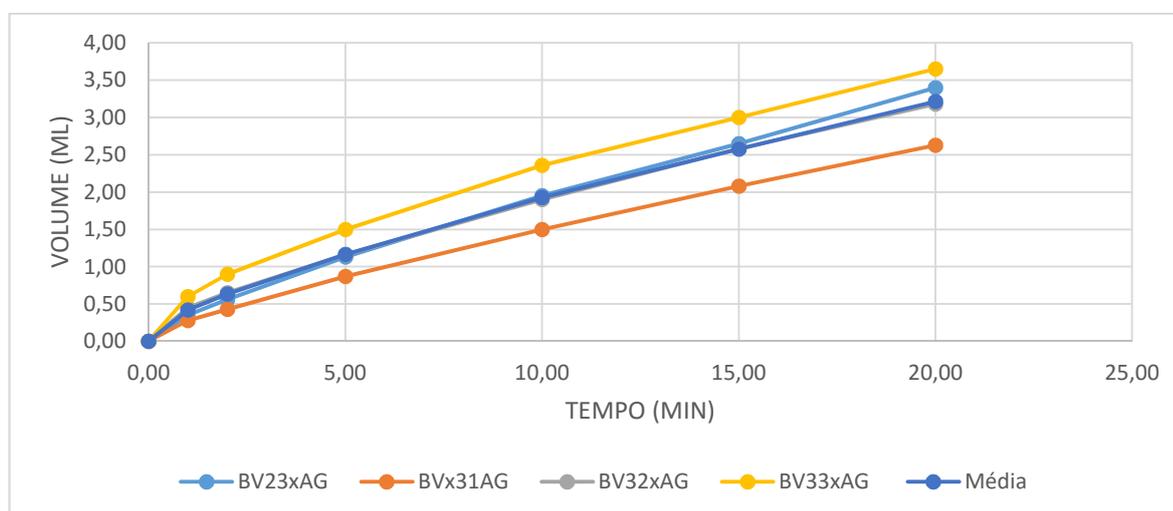


Tabela – Método do cachimbo: SP x AG

SUBSTRATO PADRÃO (SP) COM CHAPISCO DE AREIA GROSSA (AG), TRAÇO EM MASSA 1:3,672:0,97, AOS 28 DIAS						
Tempo	0,00	1,00	2,00	5,00	10,00	15,00
SP4xAG	0,00	0,35	0,50	0,80	1,18	1,45
SP5xAG	0,00	0,36	0,52	0,87	1,55	2,13
SP6xAG	0,00	0,35	0,53	0,82	1,40	1,90
Média	0,00	0,35	0,52	0,83	1,38	1,83

Gráfico método do cachimbo para SP x AG

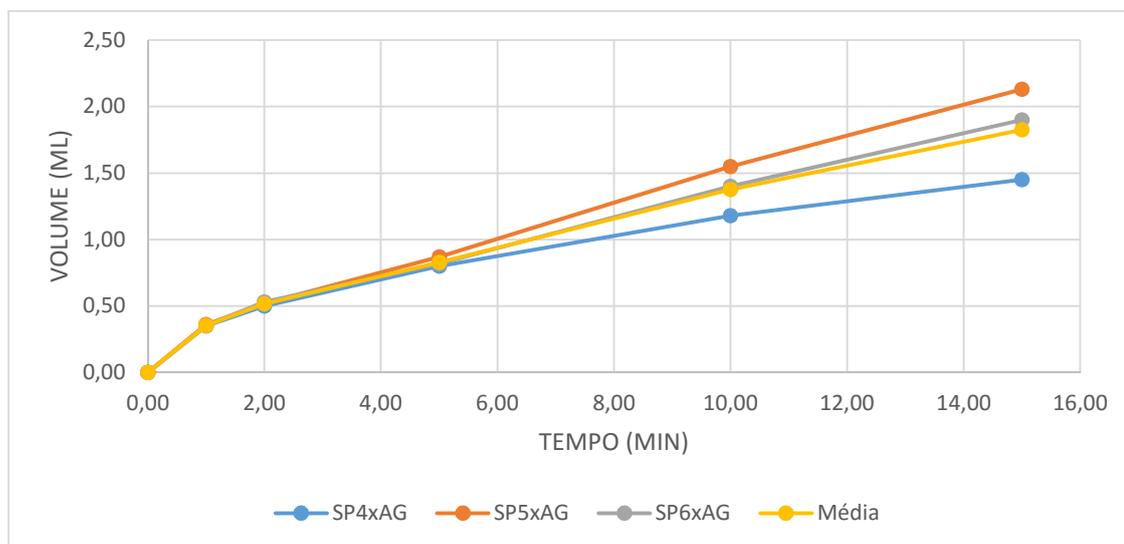
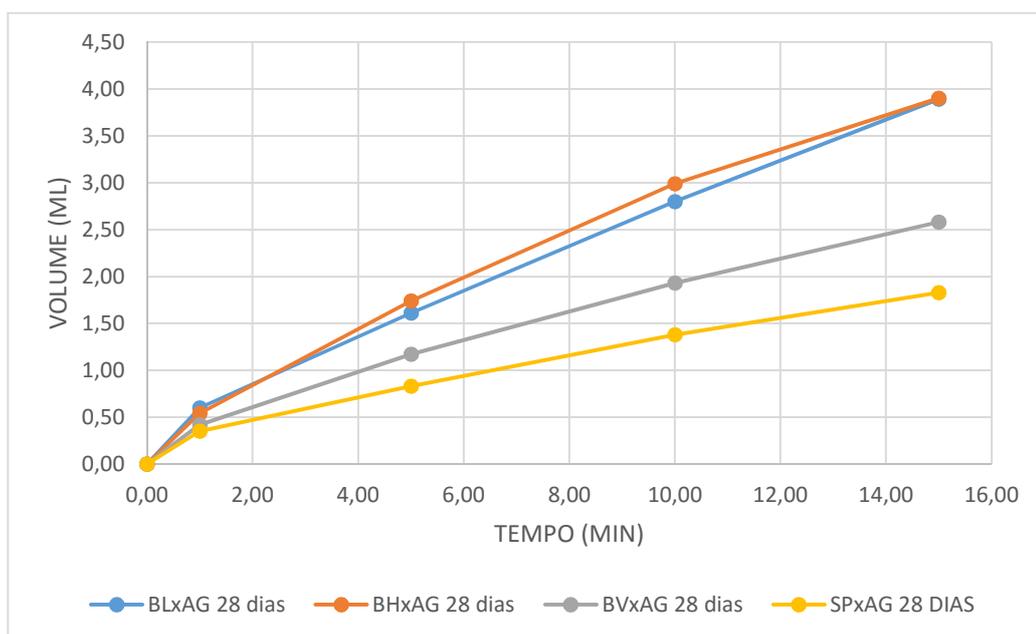


Tabela – Método do cachimbo: resumo para substratos com AG

MÉTODO DO CACHIMBO - RESUMO PARA ARGAMASSAS DE CHAPISCO COM AREIA GROSSA (AG) AOS 28 DIAS					
Tempo (min)	0,00	1,00	5,00	10,00	15,00
BLxAG 28 dias	0,00	0,60	1,61	2,80	3,89
BHxAG 28 dias	0,00	0,54	1,74	2,99	3,90
BVxAG 28 dias	0,00	0,42	1,17	1,93	2,58
SPxAG 28 DIAS	0,00	0,35	0,83	1,38	1,83

Gráfico método do cachimbo para SP x AG



e) Resumo do método do cachimbo para o BL, BH e BV

Tabela – Método do cachimbo: resumo para o BL

RESUMO DO MÉTODO DO CACHIMBO PARA O BLOCO DE VEDAÇÃO LISO (BL)						
Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BL sem chapisco	0	0,54	1,46	2,36	3,02	3,19
BL x AM	0	0,53	1,77	3,03	4,00	
BL x AG	0	0,6	1,61	2,80	3,67	3,89

Gráfico método do cachimbo: resumo para o BL

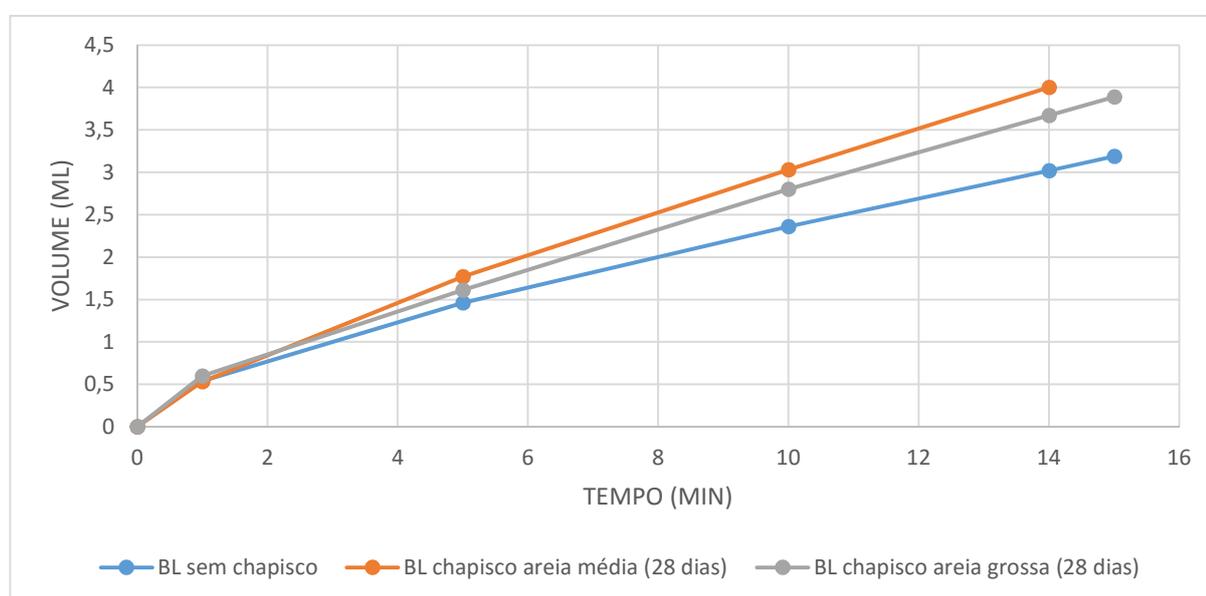


Tabela – Método do cachimbo: resumo para o BH

RESUMO DO MÉTODO DO CACHIMBO PARA O BLOCO DE VEDAÇÃO COM RANHURAS HORIZONTAIS (BH)						
Tempo (min)	0	1	5	10	14	15
BH sem chapisco	0	0,65	1,94	3,12	4,00	
BH x AM	0	0,67	2,15	3,60	4,00	
BH x AG	0	0,54	1,74	2,99	3,72	3,90

Gráfico método do cachimbo: resumo para o BH

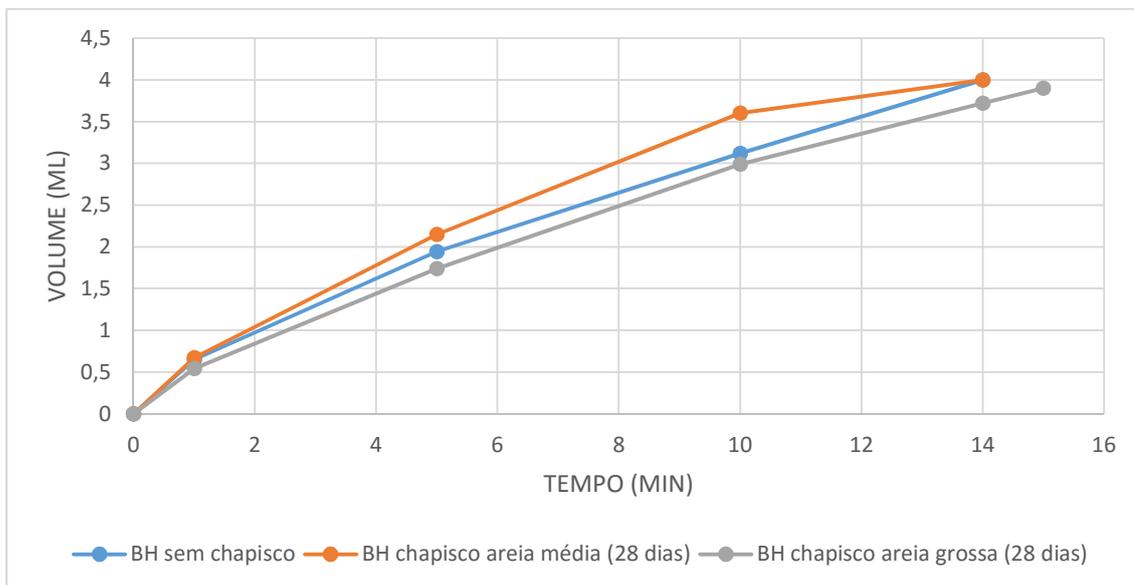


Tabela – Método do cachimbo: resumo para o BV

RESUMO DO MÉTODO DO CACHIMBO PARA O BLOCO DE VEDAÇÃO COM RANHURAS VERTICAIS (BV)					
Tempo (min)	0	1	5	10	15
BV sem chapisco	0	0,53	1,38	2,30	3,11
BV x AM	0	0,82	2,48	3,50	4,00
BV x AG	0	0,42	1,17	1,93	2,58

Gráfico método do cachimbo: resumo para o BV

