

LORENA DE MELO SATHLER

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE
SISTEMAS VERTICAIS DE VEDAÇÃO EXTERNA (SVVE) DE PAREDES DE
BLOCOS CERÂMICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S253a Sathler, Lorena de Melo, 1988-
2018 Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade à água de sistemas verticais de vedação externa (svve) de paredes de blocos cerâmicos : . / Lorena de Melo Sathler. – Viçosa, MG, 2018.

"xvi, 203f." : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndices.

Orientador: Rita de Cássia Sant'Anna Alvarenga.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.127-133.

1. Estanqueidade. 2. Argamassas. 3. Paredes externas.
4. Processamento de imagens. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 691.8

LORENA DE MELO SATHLER

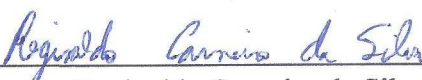
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE
SISTEMAS VERTICAIS DE VEDAÇÃO EXTERNA (SVVE) DE PAREDES DE
BLOCOS CERÂMICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 08 de fevereiro de 2018.




Maria Teresa Gomes Barbosa



Reginaldo Carneiro da Silva



José Luiz Rangel Paes
(Coorientador)



Leonardo Gonçalves Pedroti
(Presidente da banca)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde e força para enfrentar as dificuldades e a Nossa Senhora por sempre me cobrir com o seu manto de proteção.

Aos meus pais, Dilcinéia e Luiz Carlos, por me incentivarem todos os dias a evoluir como pessoa e a ampliar meus conhecimentos.

Aos meus irmãos Tamara e João Luiz, pelas conversas e força, fazendo-se presentes mesmo que distantes.

Aos meus tios Joel e Angélica e aos primos Jéssica, Alisson e Rafael por me receberem em suas casas, como se fossem a minha, e por sempre me incluírem em seus meios com tanto carinho.

Aos meus amigos de Viçosa: Edvaldo, Elisa, Priscilla, Vitor, André Luiz, Wellington, Roseli, Caio, Nathália, Carol, Ândrea, Érica, Carmem, Verônica, Isabella, Tuane e a tantos outros que compartilharam comigo este período de estudo e esforço.

Aos técnicos do laboratório de materiais de construção (LMC) da Universidade Federal de Viçosa: Vicente, Toninho, José Carlos, José Dias, Wellington, Dedé e Marcelo, que muito contribuíram na realização de cada experimento.

Ao minha orientadora, Rita de Cássia e aos meus coorientadores, Leonardo e José Luiz, pela paciência, atenção, profissionalismo e, claro, orientação durante toda a realização desse trabalho.

A Capes pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. Introdução.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 JUSTIFICATIVA PARA DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	3
1.3 ESTRUTURA DE DISSERTAÇÃO	4
2. Fundamentação teórica.....	6
2.1 PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS	6
2.2 ARGAMASSAS	7
2.2.1 Classificação.....	7
2.2.1.1 Dosagem	8
2.2.2 Propriedades da argamassa.....	8
2.3 UMIDADE.....	8
2.3.1 Mecanismo de transporte da água em fase de vapor	10
2.3.2 Mecanismo de transporte da água em fase líquida	12
2.3.3 Mecanismo de transporte da água em fase vapor/líquida.....	17
2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS	25

2.5	CRITÉRIOS DE NORMAS NACIONAL E INTERNACIONAIS SOBRE AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE À ÁGUA.....	30
2.6	VELOCIDADE DO VENTO/PRESSÃO PNEUMÁTICA INTERNA DA CÂMARA.....	40
3.	Materiais e métodos.....	45
3.1	CARACTERÍSTICAS DO BLOCO CERÂMICO.....	47
3.1.1	Ensaio de caracterização dos blocos cerâmicos.....	48
3.1.2	Caracterização geométrica, física e mecânica.....	48
3.2	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS.....	48
3.2.1	CP III - Cimento Portland de alto forno.....	48
3.2.2	Cal hidratada.....	49
3.2.3	Areia natural.....	50
3.2.4	Água.....	51
3.2.5	Dosagem das argamassas.....	51
3.2.6	Ensaio de caracterização das argamassas.....	52
3.3	AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE.....	57
3.3.1	Estratégia para a avaliação da estanqueidade em paredes de alvenaria.....	58
3.3.2	Desenvolvimento da câmara de estanqueidade.....	60
3.3.3	Modelos experimentais de paredes.....	72
3.3.4	Aspectos da execução do ensaio de estanqueidade.....	75
3.3.5	Calibração do fluxo de água.....	82
3.3.6	Pressão pneumática interna da câmara.....	83
3.3.7	Fixação da câmara.....	83
3.3.8	Verificação da área úmida.....	84

3.3.9	Análise de erros dos métodos	90
4.	Resultados e discussão	94
4.1	RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE.....	94
4.1.1	Resultado de painéis com características semelhantes.....	95
4.1.2	Resultado das diferentes pressões pneumáticas	109
4.1.3	Resultado dos diferentes traços de argamassa.....	111
4.1.4	Discussão dos resultados	113
4.2	RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ARGAMASSAS E O DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE	117
4.2.1	Variação das características físicas dos traços de argamassas em função do índice de consistência.....	118
4.2.2	Variação das características físicas para diferentes tipos de traço de argamassa	121
5.	Conclusões.....	123
5.1	CONCLUSÕES GERAIS.....	123
5.2	CONCLUSÕES ESPECÍFICAS.....	124
5.2.1	Câmara de estanqueidade	124
5.2.2	Ensaio de estanqueidade.....	124
5.2.3	Verificação da área úmida	125
5.2.4	Relações entre as características das argamassas e a estanqueidade	125
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
	referências bibliográficas.....	127
	ANEXO A	134
	APÊNDICE A	135
	APÊNDICE B.....	137

APÊNDICE C.....	148
APÊNDICE D	160
APÊNDICE E.....	177
APÊNDICE F.....	185
APÊNDICE G	189
APÊNDICE H	194
APÊNDICE I.....	201

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da difusão do vapor d'água.....	10
Figura 2 - Curva típica da permeabilidade de vapor d'água como uma função exponencial da umidade relativa.	11
Figura 3 - Pressão capilar exercida em um poro capilar.....	13
Figura 4 - Ângulos de contato entre superfícies de gota d'água e sólido para materiais hidrófilos (à esquerda) e materiais hidrófugos (à direita).	14
Figura 5 - Altura da ascensão capilar em relação a diferentes diâmetros do poro.	15
Figura 6 - Penetração da água provocada pela gravidade.	16
Figura 7 - Penetração da água exercida por pressão de vento.	16
Figura 8 - Efeito do arrefecimento do ar em relação à umidade.	18
Figura 9 - Condensação Superficial.	19
Figura 10 - Diagrama de Glaser (a) não há ocorrência de condensação ($p_w < p_s$) e (b) há ocorrência de condensação.	20
Figura 11 - Diagrama de Glaser sob efeito de isolamento térmico: (a) na face externa e (b) na face interna.	21
Figura 12 - Comportamento higroscópico de um material poroso em função da umidade relativa ambiente.	22
Figura 13 - Processo de fixação da umidade: (a) adsorção monomolecular; (b) adsorção plurimolecular; (c) condensação capilar.....	23
Figura 14 - Umedecimento de um revestimento pela penetração da água de chuva: (b) Secagem por evaporação de um revestimento, eliminando a água de chuva.	24
Figura 15 - Curva típica de secagem por evaporação de materiais porosos.....	25
Figura 16 - Representação numérica de uma imagem ampliada de 10x10 pixels com 255 tons de cinza.	26
Figura 17 - Cálculo da média do filtro de média.	29

Figura 18 - Máscara 5x5 com desvio padrão 1.....	29
Figura 19 - Esquema de dispositivos para medidas de vazão e pressão.....	35
Figura 20 - Esquemático do equipamento para verificação da estanqueidade instalado em um svve.....	36
Figura 21 - Projeção isométrica da câmara de ensaio.	36
Figura 22 - Disposição geral do sistema de câmara de ensaio de penetração de água.....	37
Figura 23 - Exemplo de sistema de pulverização de água – dimensões em milímetros.....	38
Figura 24 - Detalhes da câmara de estanqueidade e seu acoplamento aos corpos de prova, reproduzindo a ASTM E 514:2011, pelo ITP.	39
Figura 25 - Apresentação dos equipamentos envolvidos no ensaio de estanqueidade, reproduzindo a ABNT NBR 15757:2013: A – câmara simuladora de chuva; B – calha coletora da vazão do aspersor, propiciando uma aferição da vazão (detalhe em uso); C – calha coletora (detalhe do encaixecom o aspersor); D – manômetro diferencial.	40
Figura 26 - Condições de exposição conforme regiões brasileiras.	41
Figura 27 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).....	42
Figura 28 - Fluxograma da metodologia.	46
Figura 29 - Esquema do bloco cerâmico de vedação (14x19x29).....	47
Figura 30 - Composição granulométrica da areia.....	50
Figura 31- Verificação do espalhamento da argamassa através do ensaio de índice de consistência.....	53
Figura 32 - Queda do recipiente à altura aproximada de 3 cm como parte do ensaio de densidade de massa.....	53
Figura 33 - Etapas do ensaio da moldagem dos corpos de prova: (a) acionamento da mesa de adensamento; (b) condicionamento dos corpos de prova em sacos plásticos.	55
Figura 34 - Absorção de água por capilaridade: (a) no primeiro min, (b) em 10 min e (c) em 90 min.	55
Figura 35 - Medida de comprimento no ensaio de massa aparente.....	56

Figura 36 - Equipamento de medição da resistência (a) à tração na flexão e (b) à compressão.	56
Figura 37 - Realização do ensaio de resistência de aderência à tração.	57
Figura 38 - Combinações geradas a partir da pressão pneumática interna da câmara de 144 Pa e dos traços 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6.....	58
Figura 39 - Combinações geradas a partir da pressão pneumática interna da câmara de 400 Pa e dos traços 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6.....	58
Figura 40 - Vista frontal - dimensões em milímetros.....	60
Figura 41 - Detalhes frontais das distâncias entre furos: (a) na vertical e (b) na horizontal- dimensões em milímetros.	61
Figura 42 - Vistas laterais (a) esquerda e (b) direita - dimensões em milímetros.	61
Figura 43 - Vista superior - dimensões em milímetros.	62
Figura 44 - Vista inferior - dimensões em milímetros.....	62
Figura 45 - Corte A-A - dimensões em milímetros.....	62
Figura 46 - Perspectiva da câmara de estanqueidade - dimensões em milímetros.....	63
Figura 47 - Vista posterior - dimensões em milímetros.	64
Figura 48 - Planta baixa do fluxo de água (dimensões em milímetros).	65
Figura 49 - Corte A-A com posição da linha d'água (dimensões em milímetros).	66
Figura 50 - Mesa de distribuição – bolas alaranjadas mostram o nivelamento da água, com distância de aspersão testada a 150 mm do alvo.	66
Figura 51- Bomba d'água.	67
Figura 52 - Transformador de energia.....	67
Figura 53 - Compressor de ar.	68
Figura 54 - Sensor de fluxo de água de 1/2".	68
Figura 55 - Arduino tipo UNO R3.....	69
Figura 56 - Arduino protegido em caixa transparente.....	69

Figura 57 - Sensor de temperatura e umidade tipo AM2302 DT22.	69
Figura 58 - Manômetro tipo coluna líquida (água) em “U”: (a) manômetro utilizado no ensaio; (b) imagem explicativa do funcionamento do manômetro tipo “U”.	70
Figura 59 - Tarugos de madeira posicionados no lado interno da parede.	70
Figura 60 - Câmera fotográfica e caixa prismática de controle de luz e distância focal para registros fotográficos.	71
Figura 61- Esquema geral das disposições dos equipamentos acoplados à câmara de estanqueidade.....	72
Figura 62 - Planta baixa típica dos modelos de paredes (dimensões em milímetros).	73
Figura 63 - Vista frontal do modelo de parede composto de três unidades experimentais (dimensões em milímetros).	73
Figura 64 -Processo de construção das paredes: (a) com chapisco e taliscas e (b) com argamassa de revestimento de traço 1:2:9 em um dos painéis.....	74
Figura 65 - Fluxograma da execução do ensaio de estanqueidade.....	76
Figura 66 - Aplicação de feixes de silicone nas bordas da câmara.	77
Figura 67 - Fixação da câmara na parede.	77
Figura 68 - Aparelhagem conectada à câmara.....	78
Figura 69 - Caixa prismática e câmera fotográfica.....	79
Figura 70 - Área correspondente à aspersão de água e à pressão pneumática interna da câmara ou retângulo balizador.	81
Figura 71 - Disposição dos vasilhames e aspersor para o registro da perda de água (dimensões em milímetros).....	82
Figura 72 - Distância focal de 1 metro.	85
Figura 73 - Fotografias da evolução das áreas de manchas úmidas do ensaio no painel de traço 1:3:12 da Parede 2 adotando 144 Pa de pressão pneumática: (a) 1 h de ensaio – surgimento da 1ª mancha, (b) 3 horas, (c) 5 horas e (d) 7 horas de ensaio.	85
Figura 74 - Seleção e segmentação da imagem.....	87
Figura 75 - Sobreposição de imagens.....	87

Figura 76 - Melhoramento da qualidade da imagem: (a) pelo filtro de média e (b) pelo filtro gaussiano.	88
Figura 77 - A delimitação e a numeração das áreas úmidas e apresentação do resultado da soma das áreas identificadas.	89
Figura 78 - Quadrado com dimensões conhecidas para calibrar método digital de contagem	89
Figura 79 - Método para transformar as elipses em manchas	91
Figura 80 - 12 manchas geradas pelo AutoCAD ®.....	91
Figura 81 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:3:12 com 144 Pa de pressão pneumática	96
Figura 82 - Evolução das manchas úmidas durante o ensaio do painel de traço 1:3:12 - Parede 2 com pressão pneumática de 144 Pa.	98
Figura 83 - Painel de traço 1:2:9 - Parede 2 com pressão pneumática de 144 Pa, sem manchas úmidas.....	99
Figura 84 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:1:6 com 144 Pa de pressão pneumática.	100
Figura 85 - Evolução das manchas úmidas durante o ensaio do painel de traço 1:1:6 - Parede 3 com pressão pneumática de 144 Pa	101
Figura 86 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:3:12 com 400 Pa de pressão pneumática	102
Figura 87 - Evolução das manchas úmidas durante o ensaio do painel de traço 1:3:12 - Parede 2 com pressão pneumática de 400 Pa.	104
Figura 88 - Fotos do painel de traço 1:2:9 – Parede 3 com 400 Pa, sem manchas úmidas. ...	105
Figura 89 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:1:6 com 400 Pa de pressão pneumática.	106
Figura 90 - Percentagem da evolução das manchas durante o ensaio do painel de traço 1:1:6 – Parede 2 submetido à pressão pneumática de 400 Pa.....	108
Figura 91 - Percentagem de áreas úmidas em função do tempo das Parede 1,2, 3 e 4 dos painéis de traço 1:3:12, submetidos à dois níveis de pressão pneumática interna da câmara (144 Pa e 400 Pa).....	109

Figura 92 - Percentagem de áreas úmidas em função do tempo das Parede 2, 3 dos painéis de traço 1:1:6, submetidos à dois níveis de pressão pneumática interna da câmara (144 Pa e 400 Pa).....	110
Figura 93 - Painéis de traço 1:3:12 antes de serem revestido com argamassas: (a) Parede 2 (b) da Parede 3.....	115
Figura 94 - Esquema da evolução da mancha úmida de uma parede ao longo do tempo, iniciando-se pelas juntas argamassadas e espalhando-se pelos blocos.....	115
Figura 95 - Painéis com defeitos - (a) Painel de traço 1:1:6 da Parede 1 de 400 Pa apresentou infiltração desde os primeiros minutos de ensaio (b) Painel de traço 1:2:9 da Parede 4 apresentou a superfície fragmentadas e selada com silicone.....	117
Figura 96 - Relação teor de ar incorporado e densidade de massa com a faixa de IC (mm) obtido na produção das argamassas de revestimento 1:3:12	118
Figura 97 - Relação teor de ar incorporado e densidade de massa com a faixa de IC (mm) obtido na produção das argamassas de revestimento 1:3:12.	119
Figura 98 - Relação teor de ar incorporado e densidade de massa com a faixa de IC (mm) obtido na produção das argamassas de revestimento 1:1:6.	120
Figura 99 - Relações da densidade de massa média e teor de ar incorporado médio com os traços de revestimento externo.....	121
Figura 100 - Isopletas da velocidade básica v_0 (m/s).....	201

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da câmara de estanqueidade.	33
Tabela 2 – Característica das condições de ensaio e corpos de prova.....	34
Tabela 3 – Critérios para apresentação dos resultados do ensaio de estanqueidade.	35
Tabela 4 - Condições do ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas.....	41
Tabela 5 - Ensaio mecânicos nos blocos cerâmicos de vedação.....	47
Tabela 6 - Cimento Portland III – 40 RS.....	48
Tabela 7 – Cal hidratada III.....	50
Tabela 8 – Areia natural do Rio Piranga.	51
Tabela 9- Traços de argamassas em volume.	52
Tabela 10 - Níveis de desempenho para a estanqueidade à água de vedações verticais externas (fachadas) e esquadrias.....	80
Tabela 11 - Áreas diagnosticadas das manchas.....	92
Tabela 12– Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:3:12 com 144 Pa.	96
Tabela 13 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:2:9 com 144 Pa.....	99
Tabela 14 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:1:6 com 144 Pa.....	100
Tabela 15 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:3:12 com 400 Pa.....	102
Tabela 16 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:2:9 com 400 Pa.....	105
Tabela 17 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:1:6 com 400 Pa.....	106
Tabela 18 - Resultados dos ensaios de estanqueidade à água submetidos à 144 Pa.	111
Tabela 19 - Resultados do ensaio de estanqueidade à água submetidos à 400 Pa.	112

Tabela 20 – Valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de materiais de construção em estado seco.....	134
--	-----

RESUMO

SATHLER, Lorena de Melo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Avaliação do desempenho quanto à estanqueidade à água de sistemas verticais de vedação externa (svve) de paredes de blocos cerâmicos.** Orientadora: Rita de Cássia Sant'Anna Alvarenga. Coorientadores: Leonardo Golçalves Pedroti e José Luiz Rangel Paes.

No Brasil, até meados de 2013, não havia parâmetros de desempenho para as habitações, colocando em dúvida a qualidade dos materiais da construção civil. Atualmente, ao se tratar da durabilidade de fachadas quanto à penetração de água de chuva, utiliza-se o ensaio de estanqueidade à água em sistemas verticais de vedação externa da ABNT NBR 15575:2013. Porém, alguns aspectos como o projeto do equipamento (câmara) e o modo de análise dos resultados desse ensaio não são detalhados, podendo levar a análises subjetivas, representando uma lacuna da literatura. Dessa forma, na tentativa de esclarecer essas questões, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma câmara de estanqueidade e de um programa computacional de auxílio na detecção de manchas de umidade. Além disso, e como principal objetivo, utilizaram-se essas ferramentas para uma avaliação comparativa do desempenho quanto à estanqueidade de água em fachadas, revestidas com três traços diferentes de argamassas externas. Acerca dos traços em volume, 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6 (cimento CP III 40 RS; cal hidratada III; areia natural) analisados, concluiu-se que a proporção de 1:2:9 apresentou melhor desempenho. Observou-se também que a ferramenta computacional foi mais eficaz se comparado a um segundo método de análise de resultados, devido à maior precisão e à rapidez, possibilitando seu emprego no ensaio.

ABSTRACT

SATHLER, Lorena de Melo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Evaluation of the watertight performance of vertical systems of external sealing (vses) of ceramics blocks walls.** Adviser: Rita de Cássia Sant'Anna Alvarenga. Co-advisers: Leonardo Golçalves Pedroti and José Luiz Rangel Paes.

In Brazil, until mid-2013, there were no housing performance parameters, putting in doubt the quality of building materials. The waterproofing test in vertical sealing systems of ABNT NBR 15575: 2013 is currently used when dealing with the building facade durability for rainwater penetration. However, some aspects such as the equipment (chamber) design and the form of analysis the test results are not detailed leading to subjective analyzes, which represents a literature gap. Thus, in an attempt to clarify these issues, this work presents the development of a waterproofing chamber and a computer program to assist the detection of moisture spots. In addition, as the main work objective, these tools were used to evaluate the watertightness performance in facades, coated with three different external mortars. In relation to the traces analyzed in volume, 1:3: 12, 1: 2: 9 and 1: 1: 6 (CP III 40 RS cement, hydrated lime III, natural sand), it was concluded that the ratio of 1: 2 : 9 presented better performance. It was also observed that the computational tool was more efficient when compared to a second method of results analysis, due to greater precision and speed, allowing its use in this test.

1

INTRODUÇÃO

Há algum tempo o cenário da construção civil brasileira vem sofrendo transformações contínuas. O principal motivo dessa mudança é a exigência da melhoria das edificações para fins habitacionais.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o censo brasileiro de 2010 mostra que a população brasileira cresceu quase vinte vezes desde o primeiro recenseamento realizado no Brasil, em 1872 (IBGE, 2011). O Brasil é o quinto país mais populoso do mundo e tendo em vista o crescimento natural do país, a necessidade em atender à população, os incentivos políticos por meio de financiamentos do Estado, ou ainda devido à exigência dos consumidores por qualidade, aumentou a preocupação com o desempenho construtivo das edificações para fins habitacionais.

Com o intuito de sistematizar as ações do Setor da Construção Civil Brasileira e seguindo uma tendência internacional, foi desenvolvida uma norma de desempenho brasileira, denominada ABNT NBR 15.575:2013, que estabelece critérios e requisitos para se atender o desempenho mínimo em sistemas e subsistemas construtivos de edificações habitacionais.

No Brasil, até o momento da publicação da ABNT NBR 15575:2013, não havia parâmetros de desempenho para as habitações, o que tornava a qualidade dos materiais elementares da construção civil um tanto duvidosa, tanto para o consumidor quanto para o construtor, justificada pela ausência de padrão construtivo, resultando em um produto final de baixa resistência, durabilidade incerta e desconhecimento de suas características técnicas (VARISCO, 2014).

Avaliar o desempenho dos sistemas construtivos é um avanço para o Setor da Construção Civil e demonstra um maior grau de maturidade da engenharia e da arquitetura nacional e a consciência de seu papel na defesa da qualidade da habitação no Brasil (CBIC, 2013).

O presente trabalho trata da avaliação de sistemas verticais de vedação externa (svve) se protegerem contra a penetração da água de chuva.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho quanto à estanqueidade à água de paredes externas, de blocos cerâmicos, sem função estrutural e revestidas com diferentes argamassas.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- i. projetar, detalhar, executar e calibrar uma câmara para a realização do ensaio de estanqueidade, de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 15575-4:2013;
- ii. definir um conjunto de argamassas de revestimento externo;
- iii. definir e produzir um conjunto de modelos experimentais de paredes para efeito de realização dos ensaios de estanqueidade;
- iv. desenvolver uma ferramenta computacional capaz de auxiliar na detecção de umidade do ensaio de estanqueidade;
- v. realizar uma avaliação crítica da penetração de água nas paredes;

1.2 JUSTIFICATIVA PARA DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A ABNT NBR 15575:2013 ainda é uma publicação recente e nota-se que é necessário contribuir com a difusão de seus conceitos e com a viabilização dos ensaios propostos nas suas várias partes.

A fachada ou sistema vertical de vedação externa (svve) é o cartão de visitas do local onde moramos ou trabalhamos. Quando a fachada apresenta manifestações patológicas, causa um grande impacto negativo, tanto para os usuários quanto para os construtores. Deve-se dar devida atenção às fachadas pelo fato de se apresentarem em condições desfavoráveis de exposição, exigindo assim maiores cuidados em seu planejamento.

Em construções habitacionais os blocos cerâmicos são materiais mais comumente usados no planejamento e execução de paredes, tanto internas quanto externas. Algumas vantagens de sua maior utilização em relação aos blocos de concreto, segundo Nascimento (2004), são por apresentar baixas densidade e permeabilidade, facilidade de manuseio e mão de obra convencional.

A avaliação da estanqueidade de sistemas verticais de vedação externa (svve) é de grande relevância, tendo em vista que várias manifestações patológicas nas fachadas e no interior da edificação são provocadas pela penetração de água em suas diversas fases. A incidência direta de chuva é uma das formas mais comuns da água provocar danos às fachadas das edificações em geral.

Com o intuito de contribuir para um melhor entendimento do ensaio de estanqueidade à água em sistemas verticais de vedação externas (svve), método apresentado no Anexo C da Parte 4 da ABNT NBR 15575:2013, esse estudo investiga o processo de construção e funcionamento de uma câmara de estanqueidade e a execução do ensaio em paredes de blocos cerâmicos.

1.3 ESTRUTURA DE DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

No Capítulo 2 foi apresentada uma revisão bibliográfica das características de blocos cerâmicos e das argamassas, dos mecanismos de transferência de umidade e dos princípios utilizados no processamento de tratamento de imagens digitais, a fim de auxiliar nos resultados do ensaio de estanqueidade.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, com realização de ensaios laboratoriais sobre cada material constituinte das unidades experimentais; o procedimento de execução do ensaio de estanqueidade, incluindo a construção dos modelos experimentais de paredes e o desenvolvimento da câmara de estanqueidade; a apresentação de duas metodologias diferentes aplicadas para a verificação dos resultados encontrados nos ensaios de estanqueidade, a fim de comparar a permeabilidade da água do ensaio de estanqueidade.

No Capítulo 4 são apresentados todos os resultados e discussão do trabalho dos ensaios de estanqueidade e das relações entre as propriedades das argamassas e o ensaio de estanqueidade.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões gerais e específicas e as sugestões para trabalhos futuros.

2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PAREDES DE BLOCOS CERÂMICOS

As paredes de blocos cerâmicos sem função estrutural, são formadas por blocos cerâmicos de diversos tipos e dimensões e argamassas de assentamento e revestimento. Essas devem apresentar características como precisão dimensional, boa resistência à compressão, isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo e à penetração da chuva, flexibilidade para a estética, entre outras. As principais características geométricas, físicas e mecânicas dessas paredes são determinadas segundo a ABNT NBR 15270:2005 e a ABNT NBR 13281:2005.

2.2 ARGAMASSAS

2.2.1 Classificação

Segundo a ABNT NBR 13281:2005 (Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos), argamassa é a “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

As argamassas podem ser classificadas de acordo com vários critérios. De modo geral, são classificadas quanto à sua aplicação, que pode ser realizada em assentamento ou em revestimento. As argamassas para assentamento têm a função de ligar os componentes de vedação (como blocos) na produção da parede e as argamassas para revestimento têm como função cobrir ambientes internos e externos da edificação, caracterizando-se como camada reguladora.

Além de possibilitar a constituição de um elemento monolítico, a principal função da argamassa de assentamento é contribuir na resistência dos esforços laterais, distribuir de modo uniforme as cargas atuantes na parede pela área resistente dos blocos e absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e higroscópica. O revestimento, por sua vez, tem como principal função proteger a edificação contra a ação do intemperismo: isolamento térmico (~30%), isolamento acústico (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais (CARASEK, 2007).

Os outros critérios de classificação são: quanto à natureza do aglomerante (aérea ou hidráulica); ao tipo do aglomerante (de cal, de cimento, de gesso e de cimento e cal); ao número de aglomerantes (simples ou composta); à consistência da argamassa (seca, plástica ou fluida); à dosagem da argamassa (pobre, cheia ou rica); à densidade da massa da argamassa (leve, normal ou pesada); ao ambiente de exposição (paredes externas, internas ou de contato com o solo) e à forma de preparo ou de fornecimento (preparada em obra, semipronta, industrializada ou dosada em central).

2.1.1 Dosagem

A dosagem das argamassas envolve a determinação da proporção de seus componentes, a partir do que se define o traço, o qual varia de acordo com a finalidade de aplicação.

Segundo Carneiro e Cincotto (1999), as quantidades das composições das argamassas, usualmente adotadas no Brasil, são dosadas em massa ou volume e especificadas em normas nacionais e internacionais, adotando-se para argamassa de revestimento traços de dosagem: 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia) em volume, numa proporção aglomerante: agregado de 1:3. Porém, na prática, identifica-se o emprego de traços mais pobres, como 1:6 a 1:9 (aglomerante:agregado) em volume seco, sem garantir a qualidade adequada ao revestimento.

Segundo Sabbatini (1986), a proporção mais utilizada, 1:3 (aglomerante, agregado), garante que os vazios entre os agregados miúdos sejam preenchidos pela pasta aglomerante, melhorando assim a trabalhabilidade.

Quanto à dosagem da argamassa de assentamento para paredes de vedação, de modo geral, adota-se 1:3:12 (cimento:cal:areia) em volume.

2.2.2 Propriedades da argamassa

As principais propriedades da argamassa relacionadas a essa pesquisa são: retração, consistência, plasticidade, trabalhabilidade, coesão, retenção da água, exsudação, aderência, densidade de massa, teor de ar incorporado, resistência mecânica e absorção de água por capilaridade. Por meio dessas, é possível justificar alguns comportamentos em relação à permeabilidade do material construído.

2.3 UMIDADE

A umidade em paredes constitui um dos problemas mais frequentes nas edificações que ocasionam insalubridade e contribuem para uma acelerada degradação dos materiais compostos da alvenaria (NAPPI, 1996). As consequências da umidade são variadas, com o efeito da alternância contínua entre molhagem e secagem, o que propicia o desenvolvimento de fungos e bolores, a corrosão de armaduras, a lixiviação, a eflorescência e até mesmo a redução de seções de alguns materiais, resultando na diminuição da durabilidade. Além de degradar a alvenaria, sua resistência térmica pode diminuir, pois o acúmulo de água nos materiais que

compõe a fachada de um empreendimento torna a alvenaria mais permeável ao calor (KAZMIERCZAK, 1989).

Segundo Torres (1998), a água se apresenta na natureza nos estados sólido, líquido e gasoso, podendo alterar seu estado físico sob certas condições de pressão e temperatura. Tais alterações causam uma variação dimensional nas moléculas de água, proporcionando a penetração. Além disso, a água apresenta grande poder de dissolução e alta mobilidade devido à baixa tensão superficial.

A permeabilidade na argamassa pode ser entendida como a facilidade com a qual os fluidos (gases e líquidos) podem ingressar e se deslocar no interior da argamassa. Para Mehta e Monteiro (1994), permeabilidade é a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso.

Diferente da porosidade, que se refere à totalidade dos poros (vazios), a permeabilidade está relacionada à continuidade destes canais. Segundo Isaia (1995), fatores como dimensões, distribuição, tortuosidade, bem como o tipo de cimento e de adições minerais, relação água/aglomerante e condições de cura, estão diretamente ligados à permeabilidade. Fatores como a temperatura e o tempo (devido à lixiviação causada pela própria água pura), entre outros citados por Mehta e Monteiro (1994), também são determinantes para a formação da estrutura dos poros e capilares e, conseqüentemente, definidores de uma maior ou menor permeabilidade.

Os mecanismos que regem o transporte da água em uma parede são complexos e podem acontecer de diferentes modos. De forma geral, segundo Freitas, Torres e Guimarães (2008), a difusão e os movimentos convectivos são mecanismos que transportam a água em fase de vapor, enquanto que a capilaridade, a gravidade e o efeito do gradiente de pressão transferem a umidade em fase líquida. Na prática, o transporte da água, tanto em fase de vapor, quanto em fase líquida, ocorre simultaneamente e resulta das condições de temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação solar e pressão de vento ambiente, além das características dos materiais compostos da parede.

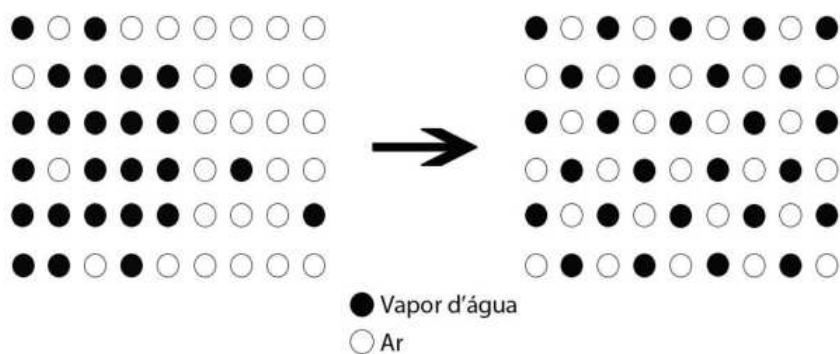
2.3.1 Mecanismo de transporte da água em fase de vapor

2.3.1.1 Difusão

Difusão é um fenômeno espontâneo de transporte de massa, que ocorre por gradientes de concentração iônica, seja entre o meio externo e o interno, seja apenas no interior da argamassa (CASCUDO, 1997). Quanto maior o gradiente, mais intenso é o fenômeno.

Ao tratar especificamente de vapor d'água como íon em materiais porosos, a lei de Fick define que quando um material acaba de ser inserido em um ambiente com umidade relativa diferente da sua, ou seja, existe gradiente de pressão de vapor, o transporte desse vapor ocorrerá no sentido da maior umidade relativa para a menor umidade ou da maior para a menor pressão (Figura 1), uniformizando a concentração de vapor nos dois ambientes (GARBOCZI, 1995; COUTINHO & GONÇALVES, 1994).

Figura 1 - Representação esquemática da difusão do vapor d'água.



Fonte: adaptado de CSTC¹, 1982, p.8 *apud* Rodrigues, 2010.

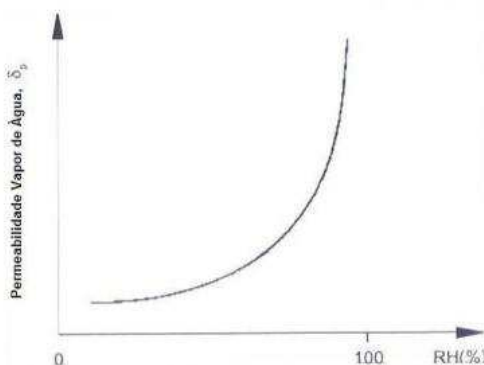
Segundo Turik² (1985 *apud* HATTGE, 2004), os elementos de construção, apresentam tendência de passagem do vapor d'água do ambiente mais quente para o mais frio, pois a pressão de vapor d'água do ar quente, em geral, é superior à do ar frio.

¹ CENTRE SCIENTÍFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. (CSTC). Transport de l'humidite dans lês materiaux poreux. In: CSTC Revue, Centre Scientífique et Technique de la Construcion, Bruxeles, n. 1, mars, 1982, p. 7-12.

² TURIK, N.- Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas: estudo aplicado a casa cohab tipo RS-16-i, 3-42. 1985.223 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ UFRGS, Porto Alegre, 1985.

A curva de permeabilidade de vapor d'água por difusão de um material poroso é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Curva típica da permeabilidade de vapor d'água como uma função exponencial da umidade relativa.



Fonte: VALEN³, 1998 *apud* MUSTELIER, 2004.

Polisseni (1986) cita que o coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) é diferente para cada tipo de material e é medido por meio da comparação entre os graus de dificuldade de difusão do vapor d'água pelo material e pela camada de ar estacionária, com espessura, temperatura e pressão idênticas. No Anexo 1 apresenta-se uma comparação dos valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de alguns materiais de construção.

Em líquidos, a velocidade de difusão molecular é menor, pois as moléculas estão mais próximas, aumentando as colisões e a resistência à difusão.

2.3.1.2 Movimentos convectivos

O mecanismo de transferência de massa através de um fluido em movimento é realizado por convecção, natural ou forçada. A convecção natural é um movimento gerado pela diferenças de concentrações espaciais. Já a convecção forçada ocorre se o movimento for provocado por ação de agentes externos, como uma ventoinha, uma bomba centrífuga, entre outros (PORTAL DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS, 2017).

³ VALEN, M.S. - Moisture transfer in organic coatings on porous materials: the influence of varying environmental conditions, Doctoral Dissertation, Report 1998:86, Department of Building and Construction Engineering, Norwegian University of Science and Technology. 1998.

Costa (1974) define convecção como a mudança de local de moléculas de vapor d'água de um fluido pelo movimento relativo de suas partículas. Esse movimento pode ser influenciado pela diferença de pressão, causado pela diferença de temperatura, gerando grande diferença de massa fluida.

Os movimentos convectivos, em muitos casos, são considerados turbulentos, caracterizados pela formação de turbilhões que escoam rápida e aleatoriamente. Estes turbilhões ou “pacotes” de fluido conseguem transportar moléculas em maior quantidade e rapidez do que a difusão molecular (PORTAL DE LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS, 2017).

Em paredes de alvenaria, se existir diferença de temperatura entre as superfícies internas das partes que confinam camada de ar, por exemplo, septos dos blocos cerâmicos, haverá correntes convectivas, direcionando o vapor d'água da superfície mais quente para a mais fria (POLISSENI, 1986).

2.3.2 Mecanismo de transporte da água em fase líquida

2.3.2.1 Absorção capilar

O transporte de água líquida em materiais porosos ocorre principalmente por capilaridade. Segundo Neville (2016), a absorção capilar consiste na ação de forças de atração dos poros de uma estrutura sobre os líquidos que estão em contato com a superfície.

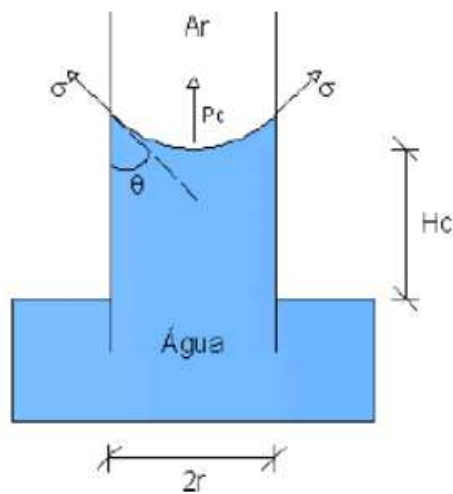
Moléculas de água colocadas próximas às superfícies sólidas porosas ficam submetidas à ação da força de coesão (direcionada para o interior do líquido) e a força de adesão (direcionada para o interior dos sólidos). Quando a força de adesão é maior que a força de coesão pode-se dizer que o líquido molha o sólido e o contrário, o líquido não molha o sólido (POLISSENI, 1986).

Dessa forma, a capilaridade é um processo de progressão de água líquida através dos poros capilares de um material, que ocorre quando as forças de adesão são mais fortes do que as forças de coesão do líquido.

A tensão superficial consiste em forças intermoleculares atrativas que se restringem às moléculas vizinhas, criando uma película elástica (FOGAÇA, 2017). Segundo Rato (2006) as forças de tensão superficial exercidas no perímetro do menisco podem ser transformadas em

uma força resultante que atua de forma perpendicular na superfície da interface desse menisco (Figura 3). Deste modo, a interface está sujeita a uma pressão maior (força de adesão maior que a de coesão) do que a pressão do ar no interior do poro. Essa diferença de pressão na interface (líquido-gás) do menisco, que tende a ascender a água nos capilares, denomina-se pressão capilar, P_c , representada pela expressão 1. Esta pressão ou força de sucção age em sentido contrário ao peso da coluna de água. Haverá equilíbrio quando os vetores de pressão capilar e o peso de coluna d'água tiverem módulos/valores iguais.

Figura 3 - Pressão capilar exercida em um poro capilar.



Fonte: BRITO, 2009 adaptado por Dullien⁴, 1979 *apud* PÁSCOA, 2012.

$$P_c = \frac{2 \times \sigma \times \cos\theta}{r} \quad (1)$$

onde:

P_c é a pressão capilar;

σ é a tensão superficial entre a água e o ar (N/m);

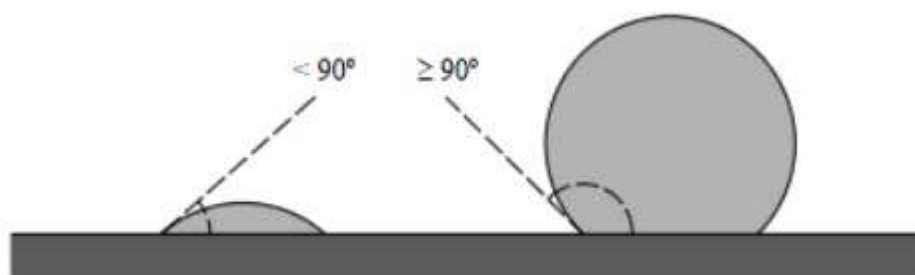
θ é o ângulo de contato da água com o material (°);

r é o raio do capilar (m).

⁴ Dullien, F. - Porous media – fluid transport and pore structure. Second Edition. New York: Academic Press. ISBN 0-12-223650-5. 1979.

O ângulo de contato (θ) é a resultante do equilíbrio de tensões entre as superfícies do líquido e do sólido. Para materiais hidrófilos, o ângulo de contato entre as superfícies da água e do sólido é inferior a 90° , assim o líquido molha o sólido e o menisco terá formato côncavo. Caso o material seja hidrófugo, o ângulo é superior a 90° e origina um menisco de formato convexo, não havendo penetração da água, conforme a Figura 4 (DULLIE, 1979 *apud* PÁSCOA, 2012).

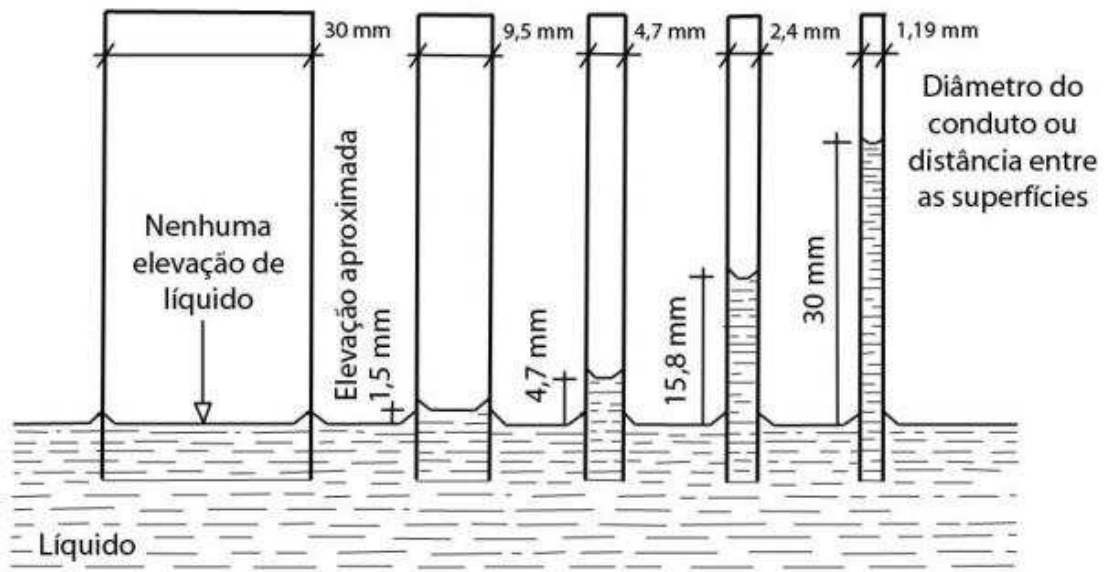
Figura 4 - Ângulos de contato entre superfícies de gota d'água e sólido para materiais hidrófilos (à esquerda) e materiais hidrófugos (à direita).



Fonte: RATO, 2006 *apud* PÁSCOA, 2012.

Segundo Neto (2011), a absorção capilar também depende da viscosidade e densidade do líquido, assim como da saturação, do raio, da tortuosidade e da continuidade dos capilares do material poroso. Poros de menores diâmetros apresentam maior pressão e altura de ascensão capilar que poros de diâmetros maiores (Figura 5), porém isso acontece apenas se houver conexão entre os poros.

Figura 5 - Altura da ascensão capilar em relação a diferentes diâmetros do poro.



Fonte: POLISSENI, 1986, adaptado por RODRIGUES, 2010.

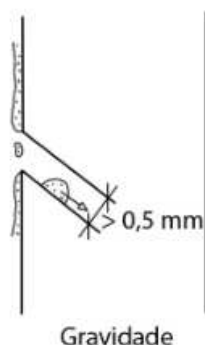
Helene (1993) cita que poros interligados exercem maior influência se comparados a seus diâmetros no processo de absorção capilar. Nesse mesmo estudo, o autor ressalta que a absorção capilar ocorre apenas em poros secos ou parcialmente secos, sendo importante verificar o grau de saturação.

Observando-se, portanto, a grande dificuldade em se controlar o diâmetro e a continuidade dos poros, segundo Freitas (2010), recomenda-se a utilização de aditivos incorporadores de ar para que haja baixa absorção capilar nas argamassas. Eles interrompem a comunicação entre os poros, pela introdução de bolhas de ar, reduzindo a capilaridade do conjunto. De acordo com a ABNT NBR 15259:2005, a absorção capilar em argamassas é medida por meio da diferença de massa de corpos de prova, os quais são pesados com suas massas iniciais e, depois de submetidos a um nível de água constante, são pesados nos períodos de 10 min e 90 min. Essa avaliação é realizada nas argamassas no estado endurecido.

2.3.2.2 Gravidade

Segundo Bauer (1987), a força da gravidade sobre a água agirá sobre as fachadas e seus materiais porosos se esses apresentarem a continuidade dos poros (ou vazios) em posições descendentes (Figura 6). O fluxo da água também pode ser direcionado para o interior de uma fachada através das irregularidades encontradas na superfície.

Figura 6 - Penetração da água provocada pela gravidade.



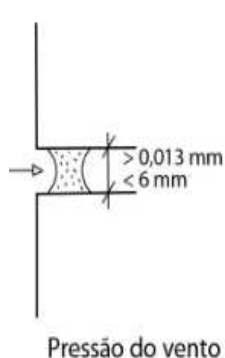
Fonte: GARDEN⁵, 1963 apud BAUER, 1987.

Segundo Kazmierczak (1989), partículas de gotas penetram uma superfície de alvenaria por gravidade quando essas apresentam aberturas maiores que 0,5 mm de diâmetro. Em aberturas com diâmetro menor que 0,5 mm ocorre a ação da sucção capilar.

2.3.2.3 Pressão

Segundo Bauer (1987), as forças de vento sobre as fachadas, atuam no sentido de empurrar a água contida sobre as superfícies externas para o interior das construções através dos poros e fissuras (Figura 7). Geralmente, essa pressão externa devido ao vento é superior à pressão interna, favorecendo, portanto, a penetração da água.

Figura 7 - Penetração da água exercida por pressão de vento.



Fonte: GARDEN, 1963 apud BAUER, 1987.

Segundo Gionavi ⁶(1981 *apud* BAUER, 1987), a diferença da pressão externa e interna do material age sobre poros pequenos, com diâmetros de 0,01 a 6 mm.

⁵ GARDEN, G. H. - Rain penetration and its control. Ottawa, Canadian Building Digest. 1963.

⁶ GIOVANI, B. - Man, climate and architecture. 2ª edição. London, Applied Science Publishers, 1981.

A ABNT NBR 6123:1988, apresenta a expressão 2 para o cálculo da pressão dinâmica (q) exercida por vento, que representa a pressão externa. Porém, deve-se considerar para a ocorrência de infiltração, a diferença entre pressão externa e interna do material (RODRIGUES, 2010).

$$q = 0,613 \cdot v_k^2 \quad (2)$$

onde:

q = pressão dinâmica do vento;

v_k = velocidade característica do vento;

2.3.3 Mecanismo de transporte da água em fase vapor/líquida

2.3.3.1 Condensação

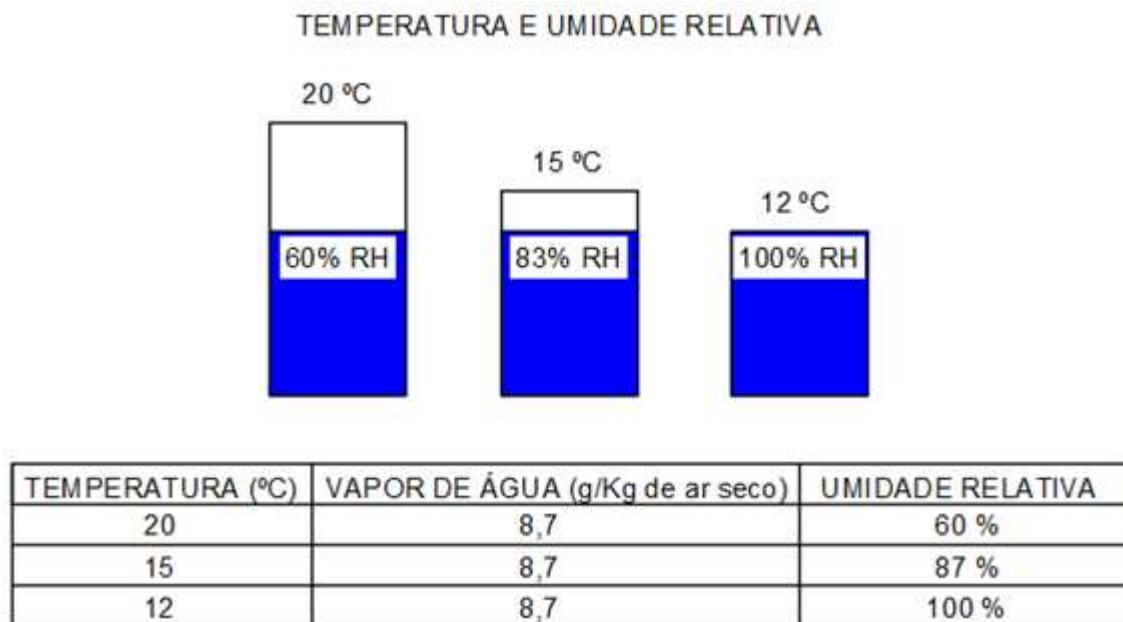
Condensação ou liquefação é o processo em que partículas de uma substância no estado gasoso transitam para o estado líquido, através da perda de calor ou energia.

Umidade relativa (HR) é o quociente da quantidade de vapor de água que o ar contém a uma determinada temperatura, chamado de umidade absoluta (W), pela quantidade máxima que o ar poderia conter a essa mesma temperatura, chamado de limite de saturação (W_s), conforme a expressão 3 (HATTGE, 2004).

$$HR(\%) = \frac{W}{W_s} \quad (3)$$

Sabe-se que os limites de saturação de vapor d'água do ar depende das temperaturas, ou seja, os limites são menores, quanto menores forem as temperaturas (HATTGE, 2004). Assim, a umidade relativa (HR) será baixa para temperaturas elevadas e mais alta para temperaturas baixas. Entendemos isso por meio do processo de arrefecimento do ar, onde a temperatura e o limite de saturação caem, porém a quantidade de vapor d'água permanece a mesma, conforme ilustrado na Figura 8 (COLEMAN, 2003).

Figura 8 - Efeito do arrefecimento do ar em relação à umidade.



Fonte: adaptado de COLEMAN, 2003.

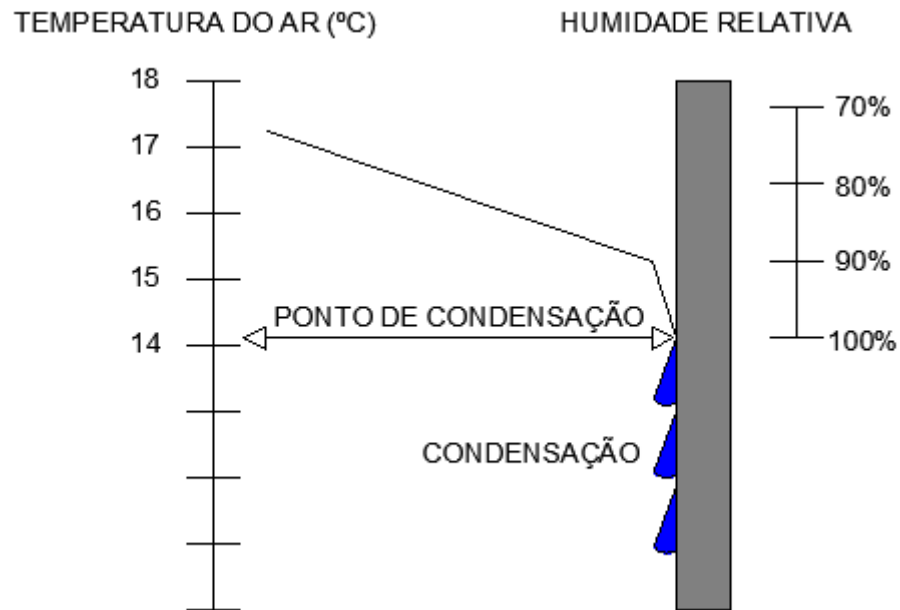
Quando a umidade absoluta (W) se iguala ao limite de saturação (W_s) do vapor d'água, podemos dizer que há condensação, ou seja, quando o vapor de água que está em suspensão no ar começa a gotejar. E chamamos de ponto de orvalho, a temperatura correspondente ao momento da condensação, ou seja, quando há 100% de umidade relativa (COLEMAN, 2003).

A condensação pode ocorrer em elementos construtivos por duas maneiras diferentes: superficialmente ou internamente.

2.3.3.1.1 *Condensação superficial*

A condensação superficial está relacionada ao contato entre a umidade do ar atmosférico e uma superfície fria. Quando um ar carregado de vapor d'água encontra uma superfície fria, a temperatura desse ar cai e a umidade relativa aumenta até atingir o limite de saturação, indicando assim o ponto de condensação, conforme a Figura 9 (COLEMAN, 2003).

Figura 9 - Condensação Superficial.



Fonte: adaptado de COLEMAN, 2003.

Em climas tropicais, para melhorar o conforto dos usuários, costuma-se resfriar o interior das edificações. Já em climas frios, costuma-se aquecê-las. Sendo assim, na primeira situação as condensações ocorrem em superfícies externas das paredes e na segunda situação, nas superfícies internas.

Segundo Polisseni (1986), a água gerada pela condensação que ocorre nas superfícies das alvenarias é absorvida pela própria alvenaria, por ser constituída de materiais porosos, como tijolos, revestimentos argamassados, entre outros, tornando-a úmida. A ocorrência frequente da condensação superficial pode gerar bolores, deteriorando essa alvenaria.

Segundo Polisseni (1986), há quatro processos para evitar as condensações superficiais:

- aumentar o isolamento térmico, reduzindo as perdas térmicas fazendo aumentar ou diminuir a temperatura superficial. Baixar ou aumentar a temperatura da superfície, dependendo do clima local e do lado da alvenaria que se queira analisar (externo ou interno);
- aumentar a ventilação local removendo massas de ar carregadas de vapor d'água. Além disso, contribui para baixar a temperatura ambiente, minimizando o processo de arrefecimento;
- controlar a produção de vapor d'água no interior das edificações;

- controlar a temperatura ambiente no interior das edificações tentando igualá-las, quando possível, com as temperaturas externas.

2.3.3.1.2 Condensação interna

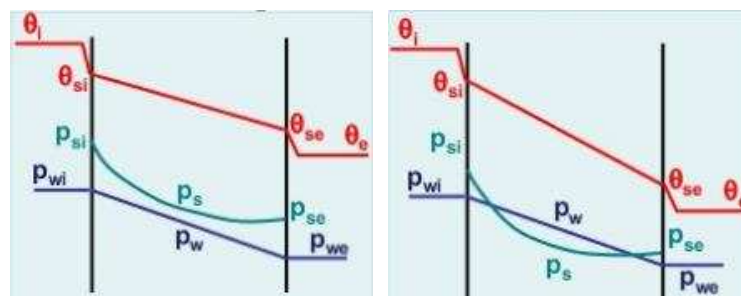
Quando condensações não ocorrem na superfície dos elementos de construção, e sim no interior deles, e sempre que a pressão do vapor de água (absoluta) se iguala à pressão de saturação do material, designam-se condensações internas (FREITAS, TORRES E GUIMARÃES, 2008).

Entretanto, como visto antes, tratando-se de pressões, temperaturas maiores conseguem conter maiores pressões de vapor de água, assim a pressão de saturação é aumentada.

Segundo Freitas, Torres e Guimarães (2008), ao considerar temperaturas e umidades relativas exterior e interior de iguais valores, as pressões de saturação e as pressões de vapor (absolutas) também serão iguais e não haverá condensação. Porém, ao existirem temperaturas diferentes, haverá pressões de saturação também diferentes. Assim, se a curva da pressão de saturação apresentar pontos coincidentes com a curva das pressões instaladas (absolutas), haverá ocorrência de condensações internas.

Para ilustrar esse fenômeno, na Figura 10 apresenta-se o diagrama de Glaser, no qual pode-se observar duas situações: a curva de pressão de saturação (p_s) não interceptar a distribuição parcial de vapor de água (p_w) e assim não ocorrer condensação; ou a curva de pressão interceptar a distribuição de pressão de vapor, havendo condensação (RODRIGUES, 2017).

Figura 10 - Diagrama de Glaser (a) não há ocorrência de condensação ($p_w < p_s$) e (b) há ocorrência de condensação.



(a)

(b)

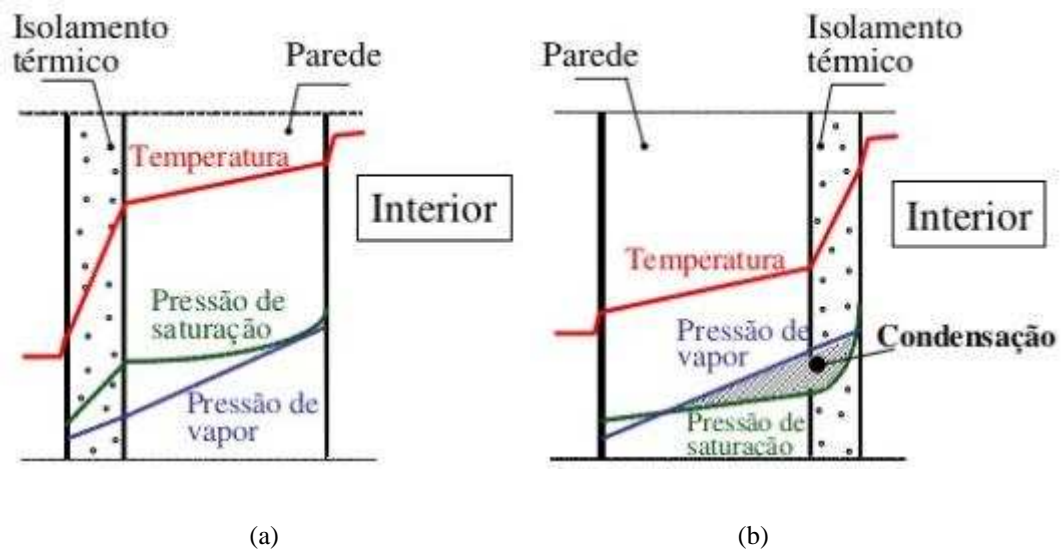
Fonte: RODRIGUES, 2017.

Segundo Hattge (2004), para evitar as condensações internas são necessárias aplicações práticas, como:

- aumentar o isolamento térmico nas superfícies das alvenarias, para que minimize a troca de calor e aumente a pressão de saturação;
- melhorar as características de permeabilidade ao vapor d'água dos materiais.

Considerando-se uma edificação com a temperatura externa mais baixa que a interna e aplicando-se isolantes térmicos nas faces externas e internas de forma separada para efeito de comparação, o diagrama de Glaser ficaria representado conforme a Figura 11 concluído que há maior risco de condensações internas para o caso de isolamento térmico pelo interior das edificações. Para o caso contrário, ou seja, de temperaturas externas mais elevadas que as internas, o isolamento da face externa é que apresentará maior risco de maiores condensações internas.

Figura 11 - Diagrama de Glaser sob efeito de isolamento térmico: (a) na face externa e (b) na face interna.



Fonte: RODRIGUES, 2017.

Importante lembrar que o fluxo de vapor d'água ocorre por difusão, portanto ocorre no sentido de maior para menor pressão. Logo, o fluxo será sempre no sentido da temperatura mais alta para a mais baixa.

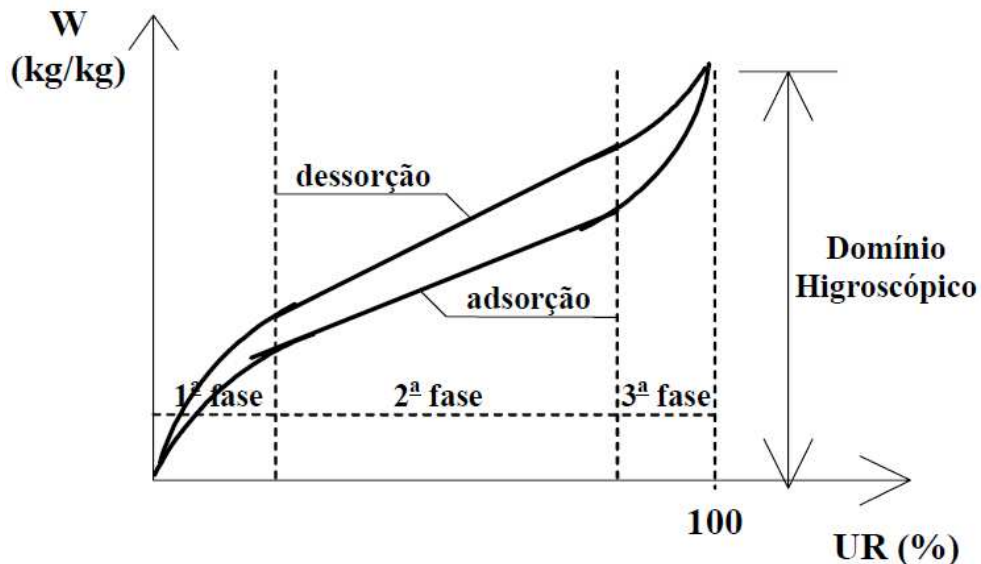
2.3.3.2 Higroscopicidade

Higroscopicidade é a capacidade de materiais fixarem moléculas de água por adsorção e de devolvê-las ao ambiente onde estão, em função das variações de umidade relativa do mesmo (FREITAS, TORRES, GUIMARÃES, 2008).

Usualmente, materiais da construção civil são higroscópicos, ou seja, o seu teor de umidade varia conforme a variação da umidade relativa do meio em que estão (FREITAS, TORRES, GUIMARÃES, 2008), atingindo um estado de equilíbrio com o ambiente (RODRIGUES, s.d.).

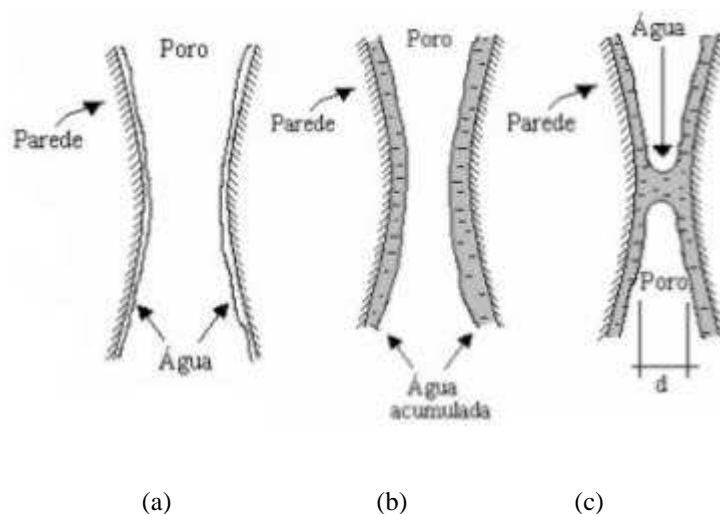
O fenômeno da higroscopicidade ocorre nas interfaces sólido-líquido do interior dos poros, devido às forças intermoleculares. Na primeira fase, ocorre a fixação de uma camada de moléculas de água na superfície interior do poro (adsorção monomolecular). Na segunda, há a deposição de várias camadas de moléculas (adsorção plurimolecular). A terceira fase corresponde à junção de camadas plurimoleculares e isso ocorre quando os diâmetros dos poros são pequenos (FREITAS, TORRES, GUIMARÃES, 2008). As Figura 12 e Figura 13 representam essa higroscopicidade.

Figura 12 - Comportamento higroscópico de um material poroso em função da umidade relativa ambiente.



Fonte: ANDRADE, BAUER, PAES, 2015.

Figura 13 - Processo de fixação da umidade: (a) adsorção monomolecular; (b) adsorção plurimolecular; (c) condensação capilar.



Fonte: RODRIGUES, 2017.

2.3.3.3 Secagem / Evaporação

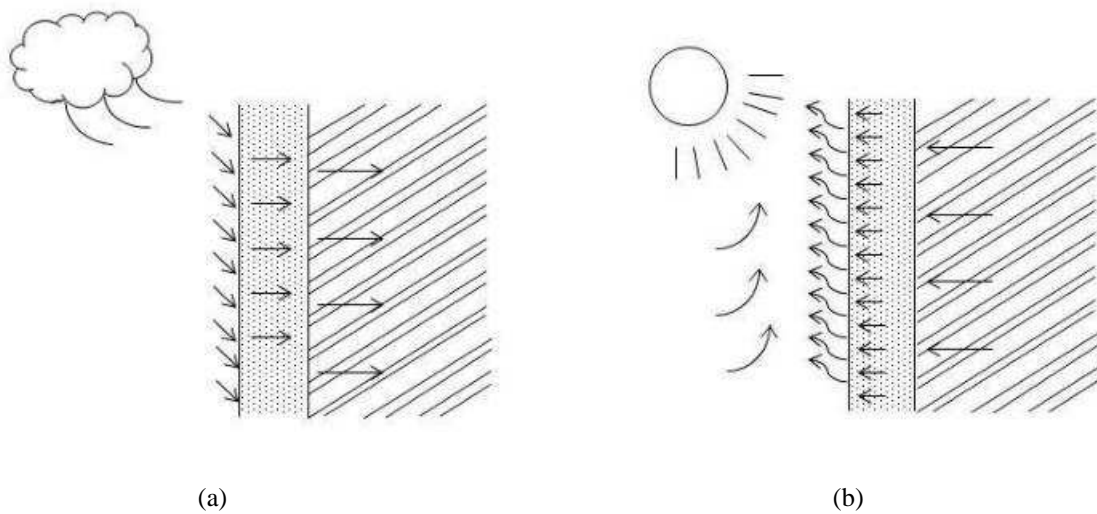
Evaporação também é um mecanismo de transferência de umidade, contudo age principalmente no sentido de expulsar a água contida nos materiais de construção. É o principal meio de secagem das paredes, porque se trata de um fenômeno natural onde o estado líquido da água é transformado em vapor, a qualquer temperatura, num processo lento e gradual.

“De um modo geral, pretende-se que a absorção de água seja lenta, mas que a secagem seja rápida de modo que a água que fica no interior do material não provoque degradação” (PÁSCOA, 2012).

Segundo Lucas⁷ (1990 *apud* PÁSCOA, 2012), as exigências da impermeabilização de revestimentos argamassados em uma edificação só serão cumpridas caso seja proporcionada a evaporação de quantidades pequenas de água durante o intervalo de ocorrência entre duas chuvas, antes de atingir o interior das alvenarias (Figura 14).

⁷ LUCAS, J. - "Exigências funcionais de revestimentos de paredes". ITE 25. Lisboa: LNEC, 1990. 116 p.

Figura 14 - Umedecimento de um revestimento pela penetração da água de chuva: (b) Secagem por evaporação de um revestimento, eliminando a água de chuva.

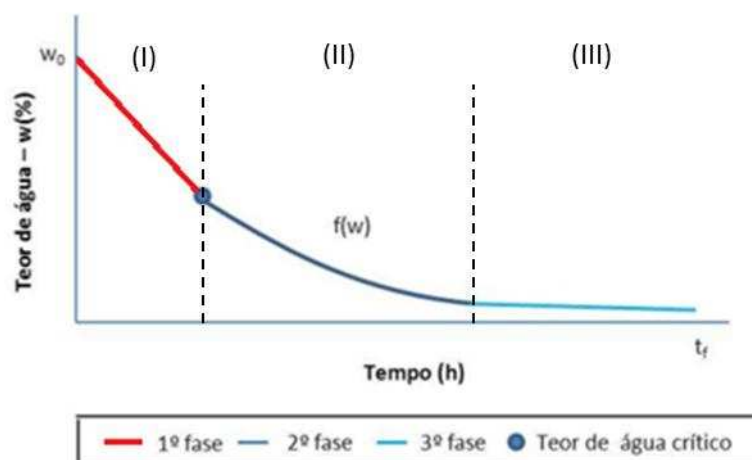


Fonte: VEIGA, 1998.

Para Freitas, Torres e Guimarães (2008), a secagem da água numa edificação pode ocorrer em três fases. Na primeira fase, haverá a evaporação rápida da água superficial; na segunda, ocorrerá uma evaporação mais lenta da água contida nos poros de maior dimensão; e na terceira, ocorrerá a evaporação da água contida nos poros de menor dimensão e se caracteriza por ser muito lenta, podendo durar anos.

Considerada como curva de secagem ou curva de evaporação, a Figura 15 representa as fases de secagem por evaporação de um material poroso obtido pelo registro de evolução do teor de água em função do tempo. Na curva típica de secagem, são representadas três fases. A primeira fase (I) é representada por uma reta linear, significando que a taxa de secagem é decrescente. Nessa fase a água é trazida à superfície por capilaridade. O ponto de teor de água considerado crítico é o ponto de inflexão entre a primeira e segunda fase. Na segunda fase (II), a curva em azul escuro mostra que a taxa de secagem passa a ser decrescente, onde tem a velocidade diminuída. Nessa fase a água é trazida à superfície externa por capilaridade até uma certa altura, dessa altura em diante o transporte é feito por difusão. A terceira fase (III) tem seu início indefinido, representado pela linha em azul claro, e apresenta taxa constante de secagem. Nessa fase o transporte ocorre exclusivamente por difusão (PÁSCOA, 2012).

Figura 15 - Curva típica de secagem por evaporação de materiais porosos.



Fonte: adaptado de BRITO, 2009.

É importante salientar que o traçado inicial (1ª fase) varia para cada material, provavelmente devido às diferentes porosidades e rugosidades da superfície dos materiais e às condições externas do ambiente inseridos (PÁSCOA, 2012).

São fatores que influenciam as condições externas de ambiente, mesmo se esse apresentar climas idênticos, e que estão diretamente ligadas à secagem: a orientação geográfica; a insolação; o coeficiente de absorção da radiação e a ventilação da parede (FREITAS, TORRES, GUIMARÃES, 2008).

2.4 PROCESSAMENTO DE IMAGENS

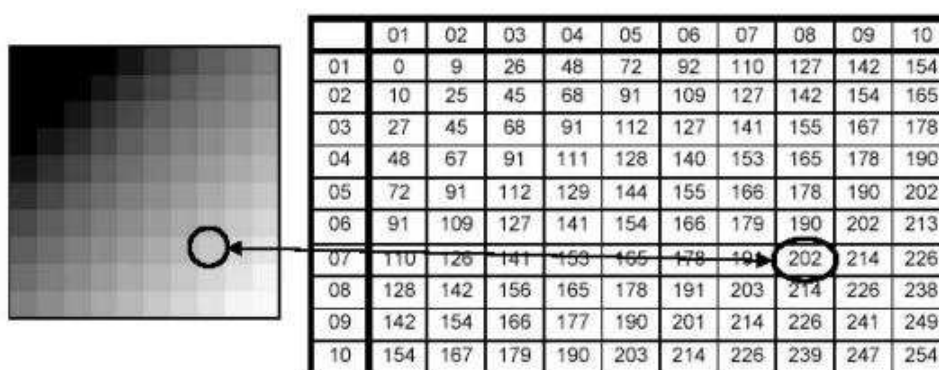
De acordo com o ensaio de estanqueidade à água de sive prescrito no Anexo C da ABNT NBR 15.575-4:2013 deve-se registrar o tempo de surgimento da primeira mancha úmida e a porcentagem de área úmida ao final do ensaio em relação à face oposta à incidência de água sob pressão. Apesar dessas recomendações, nessa norma não são especificados os procedimentos para realização desses registros. Em função disso, neste trabalho optou-se por desenvolver um método digital para detecção das áreas úmidas, que utiliza recursos de tratamento de imagens digitais.

Uma imagem digital é a representação numérica e discreta de um objeto, ou especificamente, é uma função quantificada e amostrada de duas dimensões, geradas por meios ópticos, é disposta em uma grade padrão, retangular igualmente espaçada (SILVA, 2005).

Segundo Gonzales e Woods ⁸(1992 *apud* SILVA, 2005), uma imagem pode ser definida como uma função $f(x, y)$, onde o valor nas coordenadas espaciais x e y corresponde ao brilho (intensidade) da imagem nessa coordenada. A única forma de se representar uma imagem em um computador é quando ela está digitalizada tanto no domínio espacial como no das amplitudes.

A menor unidade de uma imagem digital é denominada *picture element* (pixel). Um pixel é a representação numérica da luminosidade de um ponto da imagem, conforme é mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Representação numérica de uma imagem ampliada de 10x10 pixels com 255 tons de cinza.



Fonte: SILVA, 2005.

Luminosidade também pode ser descrita como o brilho ou intensidade que pode ser medida numa escala de preto (intensidade zero) para branco (intensidade máxima) (AMELIAN, ABATAHI, HEJAZI, 2014).

2.4.1.1 Segmentação de imagens

Segmentar uma imagem consiste em extrair estruturas e conjuntos baseando-se em noções de descontinuidade (contornos) e de similaridade (regiões). Essas estruturas são identificadas a partir de propriedades como: geometria, forma, topologia, textura, cor ou brilho, destas são escolhidas aquelas que possibilitam a melhor identificação. A segmentação de imagens objetiva, portanto, particionar uma imagem em classes (FACON, 2006).

⁸ GONZALES and WOODS - GONZALES, R. C. WOODS, R. E. Digital Image Processing. University of Tennessee Perceptics Corporation, 1992.

No processamento de imagens, qualquer imagem colorida pode ser transformada em imagem com níveis de cinzas. Para o caso de uma imagem em 8 bits, todos os pixels terão um valor que varia entre 0 (preto perfeito) e 255 (branco perfeito).

Com a escala de cinzas, o método de Threshold ou o método da Limiarização permite segmentar uma imagem em quantas classes ou níveis de cinza se determinar, aplicando-se limiares. Assim, Thresholding com um único limiar de separação transforma a imagem em preto e branco, no caso de a propriedade ser o brilho.

Para segmentar uma determinada parte de uma imagem, utiliza-se a técnica de limiarização, em que todos os pixels abaixo do valor de limiar ficarão de cor preta e todos aqueles acima dele ficarão brancos e a imagem será convertida para binário, mostrando apenas preto ou branco (MARION, 1991).

Assim, é possível segmentar uma imagem, chamando o primeiro “plano das imagens” (*foreground*, em inglês), de regiões de interesse e de “fundo” (*background*, em inglês) todas as outras regiões consideradas como não interessantes. Ressalta-se que, em função da imagem processada, essa noção de primeiro plano e de fundo pode mudar (FACON, 2006).

O princípio da binarização, ou ainda chamado de limiarização, consiste em separar o primeiro plano do fundo, gerando o que se chama de imagem binária, que é uma imagem monocromática em preto e branco apresentando somente duas classes, primeiro plano de cor preta sobre o fundo de cor branca ou o contrário (FACON, 2006).

Por ser, a princípio, muito simples, a segmentação por limiarização é provavelmente uma das técnicas de segmentação por área mais tradicional e popular (FACON, 2006).

2.4.1.2 Filtros de suavização

No âmbito deste trabalho há um interesse especial em captar e identificar manchas de umidade em imagens da superfície de paredes.

No processamento digital, diferentes técnicas são utilizadas para garantir a qualidade das imagens, por exemplo com a aplicação de filtros. Filtrar uma imagem é aplicar técnicas de realce. As técnicas de realce de imagens estão relacionadas com a expansão de contraste, o realce de bordas e a eliminação do ruído (FACON, 2006).

O ruído é um dos principais problemas encontrados na imagem, existem vários tipos e são causados em diferentes formas, entre eles destacam-se: *salt and pepper noise* (ruído sal e pimenta) e *gaussian noise* (ruído gaussiano). Para combater tais ruídos, foram criadas técnicas de suavização (SANCHES *et al.*, 2015).

Usados em uma etapa de pré-processamento, os filtros de suavização, segundo Gonzales e Woods (2002), são utilizados tanto para a retirada de pequenos detalhes de uma imagem antes da extração de objetos maiores, como para fazer a conexão de pequenas discontinuidades, em linhas ou curvas.

Ruído gaussiano é um ruído estatístico que tem uma função de densidade e de probabilidade, formado pela má iluminação, por altas temperaturas ou problemas na transmissão da imagem, deixando-a até mesmo extremamente danificada (KLEIN, GALLAGER⁹, 2001 *apud* SANCHES *et al.*, 2015). O ruído de *salt and pepper noise* ocorre a partir de erros na transmissão de dados. Com a transmissão da imagem, algum pixel pode corromper-se, alterando os tons de cinza de cada pixel vizinho, conforme Ribeiro¹⁰ (2006 *apud* SANCHES *et al.*, 2015).

Segundo Sanches *et al.* (2015), os filtros mais adequados para este caso são os filtros de média e filtro Gaussiano.

Filtro de média: é um filtro simples e intuitivo, porém eficiente, pois ele reduz a quantidade de variação de intensidade entre um pixel e seus vizinhos, eliminando ruídos. A ideia é simplesmente substituir cada valor de pixel em uma imagem com o valor médio de seus vizinhos, incluindo ele mesmo, o que produz o efeito de eliminar os valores de pixels que são representativos de seus arredores. O filtro de média é um filtro não-linear, sendo assim é baseado em torno de uma janela ou matriz, que apresenta a quantidade de pixel para ser calculada a média. Observe-se uma matriz 3x3, como mostrado na Figura 17.

⁹ KLEIN, T. E. e GALLAGER, R. G. - Power control for the additive white Gaussian noise channel under channel estimation errors. IEEE International Symposium. 14nd Edition. 2001.

¹⁰ RIBEIRO, B. - Suavização de Imagens. 2006. Disponível em: www.ic.uff.br/aconci/suavizacao.pdf. Acesso em: 26/05/2014

Figura 17 - Cálculo da média do filtro de média.

$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$

Fonte: SANCHES *et al.*, 2015.

A média é calculada a partir da divisão do somatório de todos os elementos pela quantidade total deles. Assim, obtém-se o valor médio da intensidade de pixel em suas respectivas vizinhanças.

Filtro gaussiano: esse filtro tem esse nome por usar a função gaussiana para obter os valores da matriz. Esta função é representada pela expressão 4.

$$G_{(x,y)} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Nesta expressão, σ é o desvio padrão. Quanto maior o seu valor, maior a largura do filtro gaussiano e maior o grau de sua suavização. Na Figura 18 mostra-se a matriz típica para implementar o filtro gaussiano, resultante de um $\sigma = 1$.

Figura 18 - Máscara 5x5 com desvio padrão 1.

	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
$\frac{1}{273}$	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

Fonte: SANCHES *et al.*, 2015.

Neste filtro, assim como no filtro de média, a suavização da imagem é alcançada através da substituição de cada pixel pela média ponderada dos pixels vizinhos. Porém, o filtro gaussiano funciona de forma que o peso dado a um vizinho decresce vagarosamente com a

distância do pixel central. O grau de suavização está relacionado ao tamanho da matriz, pois, quanto maior a sua largura, maior o grau de suavização.

2.5 CRITÉRIOS DE NORMAS NACIONAL E INTERNACIONAIS SOBRE AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE À ÁGUA

Além da ABNT NBR 15.575-4:2013, existem normas internacionais que também tratam da avaliação da estanqueidade à água, podendo-se destacar:

- ASTM E 514:2011 – Método de teste padrão para penetração de água e vazamento através da alvenaria.
- EN 12.865:2001 – Desempenho higrotérmico de componentes e elementos de construção – Determinação da resistência de sistemas de parede externa para condução de chuva sob pressão de ar pulsante.

No Anexo C da ABNT NBR 15.575-4:2013 especifica-se um método para verificar a estanqueidade à água de sistemas de vedação vertical externo (svve). O ensaio consiste em submeter, durante sete horas, a face externa de um modelo experimental de paredes de svve a uma vazão de água igual a $3 \pm 0,3$ l/m².min, criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática de até 50 Pa sobre essa face. O modelo de parede deve apresentar comprimento e largura mínimos de 135 cm e 105 cm, respectivamente. Quanto ao tamanho da câmara, essa deve conter dimensões compatíveis com o modelo experimental de parede.

A ASTM E 514:2011 apresenta um método de teste padrão para determinar a resistência à penetração de água e vazamento através de alvenaria submetida à chuva conduzida pelo vento. Durante o ensaio, deve ser aplicada uma taxa de pulverização de água de 138 l/m².h ou 2,3 l/m².min. Simultaneamente, com a aplicação de água aplica-se uma pressão constante de ar. Caso a pressão não for especificada, a amostra será testada a 500 Pa. A vazão de água e a pressão devem ser mantidas por um período mínimo de quatro horas. O tamanho do modelo experimental de parede deve apresentar comprimento e largura mínimos de 122 cm e 122 cm, respectivamente. Quanto ao tamanho da câmara e a área de aspersão de água e pressão de ar da amostra, essas devem fornecer um mínimo de 1,08 m².

A EN 12865:2001 especifica um método de ensaio para determinar a resistência dos elementos da parede à chuva sob pressão pneumática pulsante. O ensaio determina a aplicação

contínua de aspersão para dois tipos diferentes de água: para a água de escoamento, a vazão deve ser igual a $1,2 \pm 0,3$ l/(m.min) (água aplicada no topo da amostra) e para a água que simula a chuva deve ser igual a $1,5 \pm 0,5$ l/(m².min) (água controlada sobre a superfície externa da amostra). Simultaneamente devem ser aplicadas pressões de ar pulsante e não constante. Os impulsos de pressão são aplicados em ciclos de 15 ± 2 segundos, partindo de 0 Pa até o nível de pressão máxima, com aumentos gradativos de 150 Pa. O tempo de análise da amostra depende do procedimento a se utilizar: se para testes qualitativos, o tempo mínimo de ensaio é de 20 min; se para testes quantitativos, o tempo mínimo é de 60 min. Os tempos máximos não são estabelecidos, porém o teste é interrompido quando se observa a penetração de água. O modelo experimental de parede ou amostra deve ter no mínimo 240 cm de altura e 120 cm de largura, já a câmara não apresenta dimensões específicas.

É importante ressaltar que a ABNT NBR 15575-4:2013 permite avaliar a estanqueidade de água de chuva no conjunto da vedação e não apenas dos seus materiais isoladamente, ou seja, inclui, além da parede (bloco e argamassas de assentamento), os revestimentos e pinturas. Além disso, o presente trabalho trata apenas de paredes de vedação puramente de alvenaria e sem esquadrias contidas, ou seja, não inclui interfaces de alvenaria com materiais metálicos, de alumínio ou de madeira (vigas, colunas ou janelas e portas).

Partindo desse pressuposto, foram pesquisadas normas internacionais que também verificam a estanqueidade quanto à água de chuva em modelos experimentais de paredes de condições parecidas com as deste trabalho; de aparelhagem parecida com a norma brasileira; e que também levam em consideração o vento incidente. Assim, as principais normas adotadas nessa pesquisa foram: a americana e a europeia.

Porém, há outros métodos, como o britânico, o canadense, do Building Research Institute (BRI) e o holandês, que apresentam diferentes métodos para o ensaio de estanqueidade simulando condições de chuva e vento, cujas principais características são apresentadas a seguir.

No método britânico, British Standard Institution (BSI), são aplicados jatos d'água com duração de um minuto, a uma vazão de 25 ml/min, para cada 10 mm de comprimento da área de teste, de dimensões mínimas de 1,0 x 1,0 m. A pressão pneumática constante, aplicada na face de exposição do modelo experimental de parede é de 500 Pa e o tempo de realização do ensaio é de 48 horas. O formato da câmara é quadrado e os materiais sugeridos são perfis de

aço tipo U de dimensões 150 x 75 mm ou 225 x 75 mm. Além da câmara, existe um dispositivo de içamento para pesagem do corpo de prova.

O método canadense trata de uma câmara automatizada ligada a um computador com sistema de pesagem para paredes de dimensões (2,43 x 2,43m), com sensores de clima e sistema de aquisição de dado. A câmara climática é a única norte-americana que pode simular condições climáticas interiores e exteriores controlando variações de temperaturas de 47°C a 48°C e de umidades relativas 10 a 100% durante um longo período de tempo.

No método do Building Research Institute (BRI), a câmara tem dimensões de 2,0 x 2,0 x 0,66 m, com janela de inspeção, capacidades de aspersão de água de 6 l/min.m² e de aplicação de pressão pneumática de até 2500 Pa (MUSTELIER, 2004).

Segundo Goethema *et al.* (2015), a NEN 2778 é um método holandês para determinar o nível de estanqueidade das construções com bases em duas fases diferentes. Na parte um, aplicam-se à amostra de ensaio uma taxa de pulverização constante de água e uma diferença de pressão crescente. A pressão de ar máxima a ser aplicada é de 300 Pa. Uma vez que a taxa de pulverização de água é descrita de 500 l/h ou 8,33 l/min. Na parte dois, não deve ser aplicada pressão de ar e a água é pulverizada num intervalo de 10 min, com uma taxa de pulverização de água de 85 l/h ou 1,4 l/min.

Nas Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3 são apresentadas as diferenças entre as normas brasileira, americana e europeia das características quanto à câmara, condições de ensaio, corpos de prova e expressão dos resultados.

Tabela 1 – Características da câmara de estanqueidade.

Câmara de Estanqueidade			
Características	NBR 15575 - 4	ASTM E 514	EN 12685:2001
Formato	Prismático	Prismático	-
Abertura	Fixa	Fixa	Ajustável
Área mínima	Dimensões compatíveis com o corpo de prova	1.08 m ² (Ex.: 900 x 1200 mm)	-
Orifícios para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão, do manômetro e para a saída de ar	Sim	Sim	-
Dispositivo de pulverização	-	Tubo de diâmetro de 19 mm (3/4") com furos de 1 mm de diâmetro, espaçados de 25 mm cada	Para água extra de escoamento: Uma fileira de bocais planos para grandes ângulos de pulverização, espaçadas horizontalmente a distâncias iguais. / Para água de chuva: Grelha de bocais de cone circulares completos, ângulo de pulverização 120 °, espaçada horizontalmente e verticalmente a distâncias iguais de 820 mm.
Posição do dispositivo de pulverização	-	A linha de aspersão da água deve ficar a uma altura ≤ 75 mm do topo da câmara	Para a água de escoamento: dispositivo no topo / Para a água de chuva: dispositivo sobre a superfície externa da amostra
Dispositivo de injeção de ar / pressão	-	-	Capaz de aplicar mudanças rápidas e controladas da pressão de ar diferencial operando entre limites definidos pela norma.
Entrada de ar	Lateral	Lateral	-
Medidor de vazão	Sim. Resolução igual a 1 % do fundo de escala	Sim	Sim. A altura e a largura do medidor não devem exceder 200 mm.
Medidor de pressão / Manômetro	Conectado afastado da entrada de ar. Resolução de precisão de 0.5 Pa.	Conectado afastado da entrada de ar. Capaz de medir pressão de ar de no mínimo 51 mm de água com uma precisão de 2.5 mm ou 3.6 kPa	Precisão de controle de $\pm 5\%$ da pressão aplicada.
Tubo de drenagem de água na parte inferior da câmara	Sim	Sim	-
Dispositivos para medir a quantidade de água fornecida	-	-	Sim. Com precisão de $\pm 10\%$
Dispositivo para medir a pressão de ar diferencial entre as duas faces da amostra	-	-	Sim. Com precisão de $\pm 5\%$
Balança capaz de determinar a massa da amostra de ensaio	-	-	Sim. Com precisão de pelo menos $\pm 0,1\%$
Fixação da câmara nos corpo de prova	Pelas bordas e com o mínimo de 6 grampos	-	-
Área de contato entre a câmara e o corpo de prova	Vedada por meio de guarnição esponjosa, empregando-se, onde necessário, cera de abelha ou similar	Vedada através de uma junta	-

Fonte: A autora, 2018.

Tabela 2 – Característica das condições de ensaio e corpos de prova.

Condições do Ensaio de Estanqueidade			
Características	NBR 15575 - 4	ASTM E 514	EN 12685:2001
Tempo de realização	7 horas	Mín 4 horas	Mín de 20 min para procedimento quantitativo e mín de 60 min para procedimentos qualitativos
Vazão da água	Constante e igual a 3 ± 0,3 l/m ² .min	Igual a 138 L/m ² .h = 2,3 l/m ² .min	Contínua e igual a 1,2 ± 0,3 l/(m.min) para água de escoamento e igual a 1,5 ± 0,5 l/(m ² .min) para água de chuva
Pressão de ar no interior da câmara	Mín de 10 e Máx de 50 Pa	Se não for especificada utilizar 500 Pa	Variável através da aplicação de ciclos (15 ± 0,2 seg) de pressão, variando de 0 Pa a 150 Pa para cada intervalo de ensaio. A determinação dos intervalos depende se o ensaio é qualitativo ou quantitativo. (Ver Tabela 1 e Figura 1 da norma)
Temperatura ambiente	-	(24 ± 8)°C ou (75 ± 15)°F	(23 ± 5) ° C
Umidade relativa do ambiente	-	(55 ± 25) %	Registrar
Temperatura da água	-	-	Registrar
Condição da água	-	-	Suficientemente limpa, podendo ser necessário usar água desmineralizada ou desionizada para evitar o entupimento dos bicos.
Condições dos Corpos de Prova			
Construção do corpo de prova	Plano e verticalmente no prumo e não há restrição quanto à espessura	Padrões para construção de alvenaria estão contidos nos seguintes documentos: Requisitos de Código de Construção ACI Standard 530 / ASCE 5 / TMS 402 para Estruturas de Alvenaria e Especificações ACI 530.1 / ASCE 6 / TMS602 para Estruturas de Alvenaria.	No prumo, nivelado, quadrado e sem torções ou curvas visíveis induzidas pela fixação. Deve ser construído numa estrutura ou quadro, que não absorve água, para facilitar o transporte. A junta entre a alvenaria a estrutura deve ser selada, mas de forma a não impedir a livre drenagem da água.
Acondicionamento pós construção	-	Os corpos de prova devem ser encapados com um plástico impermeável imediatamente após construção e curados dessa forma por 7 dias. Após 7 dias o plástico deve ser removido e a cura continuar por no mínimo mais 7 dias em condições de laboratório.	De acordo com as especificações do produto ou, na sua ausência, conforme acordado entre as partes.
Quantidade mínima de amostra	2	3	1
Dimensões	Comprimento mínimo de 135 cm e Largura mínima de 105 cm	Comprimento mínimo de 122 cm e Largura mínima de 122 cm	Comprimento mínimo de 240 cm e Largura mínima de 120 cm
Área mínima	-	1.08 m ² expostos ao teste e pelo menos 20 cm a mais em cada extremidade	-
Aplicação de revestimento	Optativo (porém não relata tipos e/ou espessuras)	Aplicar uma espessura mínima de 10 mm de revestimento de argamassa em todas as superfícies expostas do corpo de prova, exceto no lado de trás da parede e na área delimitada pela câmara	-
Aplicação de tinta	Optativo, respeitando o tempo de secagem de no mínimo 7 dias antes da utilização.	-	-
Calha coletora de água	-	Anexar calha de aço no lado interno da parede para que seja coletada água que possa atravessar para o lado oposto da parede	-

Fonte: A autora, 2018.

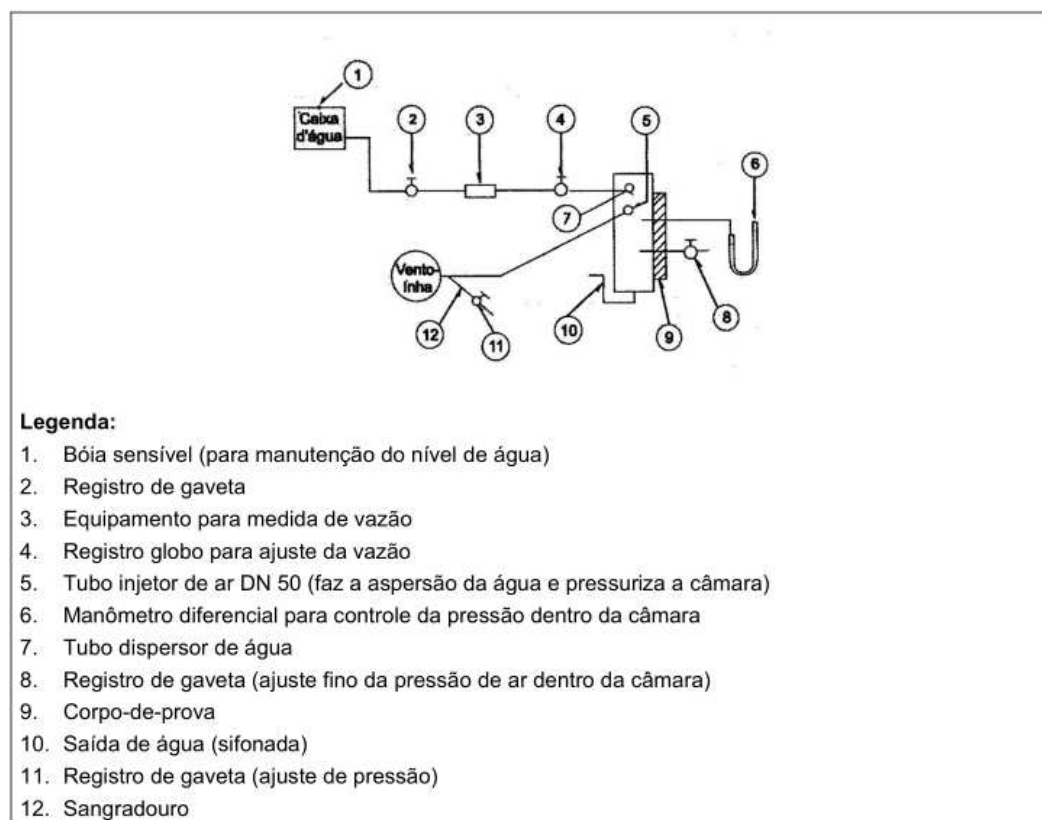
Tabela 3 – Critérios para apresentação dos resultados do ensaio de estanqueidade.

Expressão dos Resultados			
Características	NBR 15575 - 4	ASTM E 514	EN 12685:2001
Intervalo entre observações	-	30 min	Ver Tabela 1 da norma
Observar o tempo de aparição da primeira mancha de umidade na face interna	Sim	Sim	Sim
Observar o tempo de aparição da primeira água visível (gota) na face interna	-	Sim	-
Porcentagem da área da mancha de umidade ao final do ensaio em relação à área total da face interna	Sim	Sim	Sim
Total de água coletada na calha	-	Sim	-
O valor da água absorvida	-	-	Sim. Expresso em kg/m ² , arredondado para 0,1 kg/m ²
Limite de impermeabilidade	-	-	Sim. Expresso em Pa

Fonte: A autora, 2018.

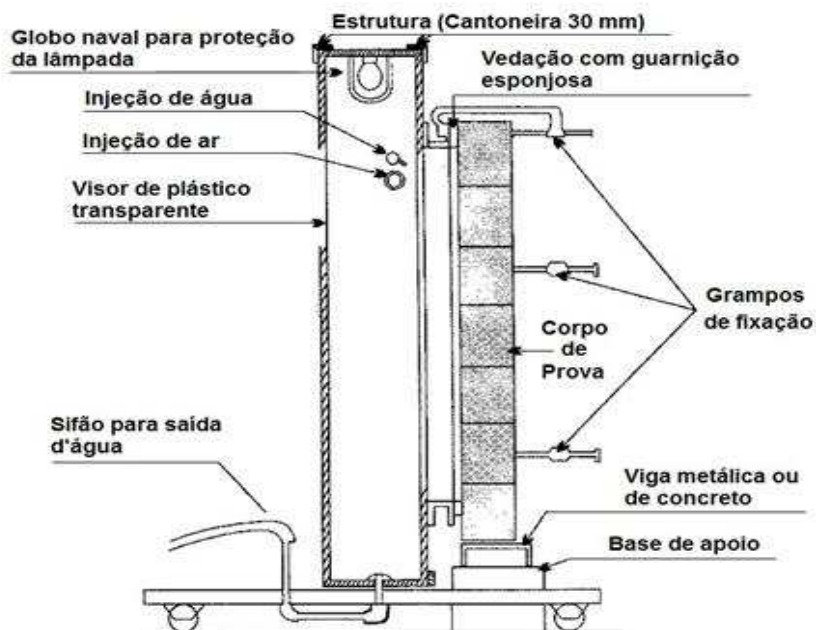
Para um melhor entendimento das características das câmaras de estanqueidade recomendadas nas normas citadas anteriormente, nas Figura 19 a Figura 23 são apresentados esquemas e projeto. A EN 12685:2001 não apresenta uma figura representativa para a câmara e sim um exemplo do sistema de pulverização (Figura 23).

Figura 19 - Esquema de dispositivos para medidas de vazão e pressão.



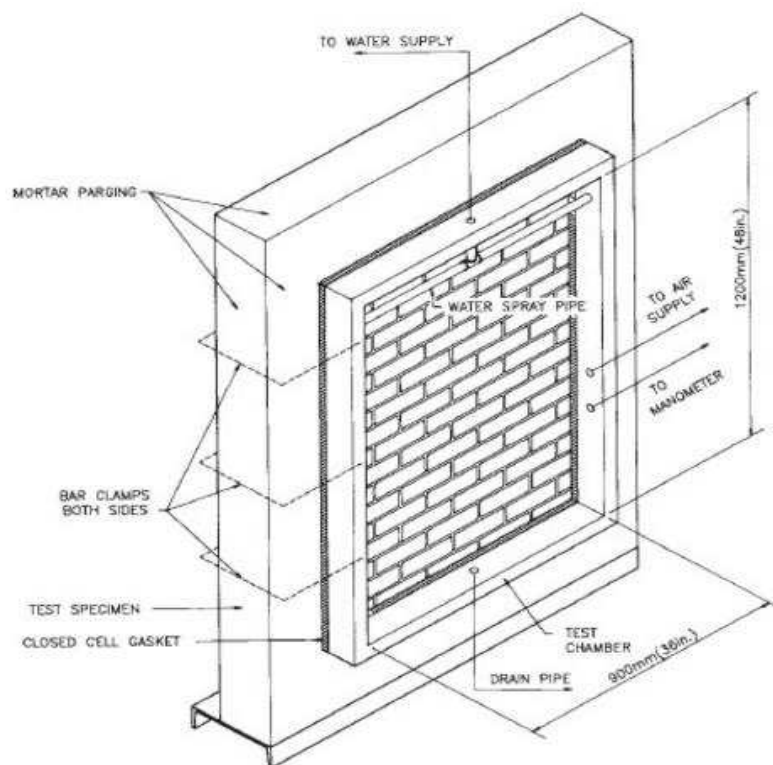
Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

Figura 20 - Esquemático do equipamento para verificação da estanqueidade instalado em um svve.



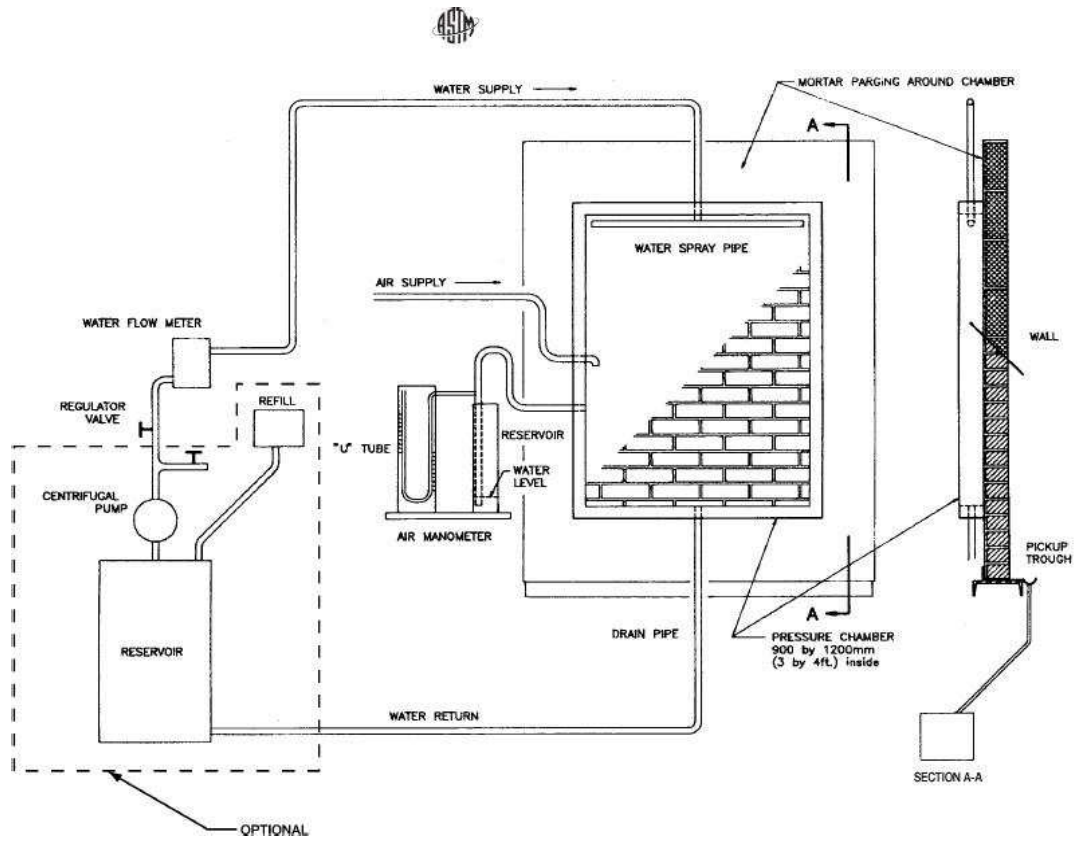
Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013.

Figura 21 - Projeção isométrica da câmara de ensaio.



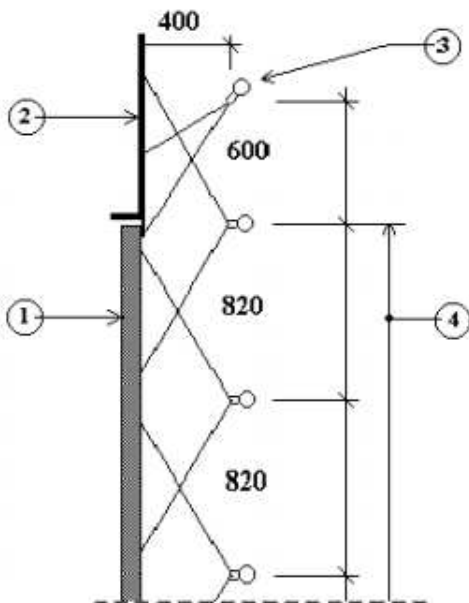
Fonte: ASTM E 514:2011.

Figura 22 - Disposição geral do sistema de câmara de ensaio de penetração de água.



Fonte: ASTM E 514:2011.

Figura 23 - Exemplo de sistema de pulverização de água – dimensões em milímetros.



Fonte: 12685:2001.

Na Figura 23 apresentam-se os itens numerados de 1 a 4, onde:

- 1 - amostra ou corpo de prova;
- 2 - aparato ou moldura circundante;
- 3 - uma fileira de bocais plana para grandes ângulos de pulverização, espaçadas horizontalmente a distâncias iguais para oferecer $1,2 (\pm 0,3)$ l/(m min) de água extra de escoamento;
- 4 - grelha de bocais de cone circulares completos, ângulo de pulverização 120° , espaçados horizontalmente e verticalmente a distâncias iguais de 820 mm para dar $1,5 (\pm 0,5)$ l/(m² min) de chuva.

Para complementar a ilustração das câmaras, a Figura 24 do trabalho de Mustelier (2004) representa as câmaras do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) simulando a ASTM E 514:2011. A Figura 25 contida no trabalho de Varisco M. Q. (2014) representa uma simulação da ABNT NBR 15575-4:2013. Assim, melhora-se a percepção por exemplo, acerca dos tipos de materiais utilizados.

Figura 24 - Detalhes da câmara de estanqueidade e seu acoplamento aos corpos de prova, reproduzindo a ASTM E 514:2011, pelo ITP.



Fonte: MUSTELIER, 2004.

Figura 25 - Apresentação dos equipamentos envolvidos no ensaio de estanqueidade, reproduzindo a ABNT NBR 15757:2013: A – câmara simuladora de chuva; B – calha coletora da vazão do aspersor, propiciando uma aferição da vazão (detalhe em uso); C – calha coletora (detalhe do encaixecom o aspersor); D – manômetro diferencial.



Fonte: VARISCO, 2014.

2.6 VELOCIDADE DO VENTO/PRESSÃO PNEUMÁTICA INTERNA DA CÂMARA

Os ventos se originam, basicamente, pela diferença de pressão entre duas regiões distintas, ou seja, o ar se desloca de uma região de maior pressão para outra de menor pressão (THOMAZINI, 2015).

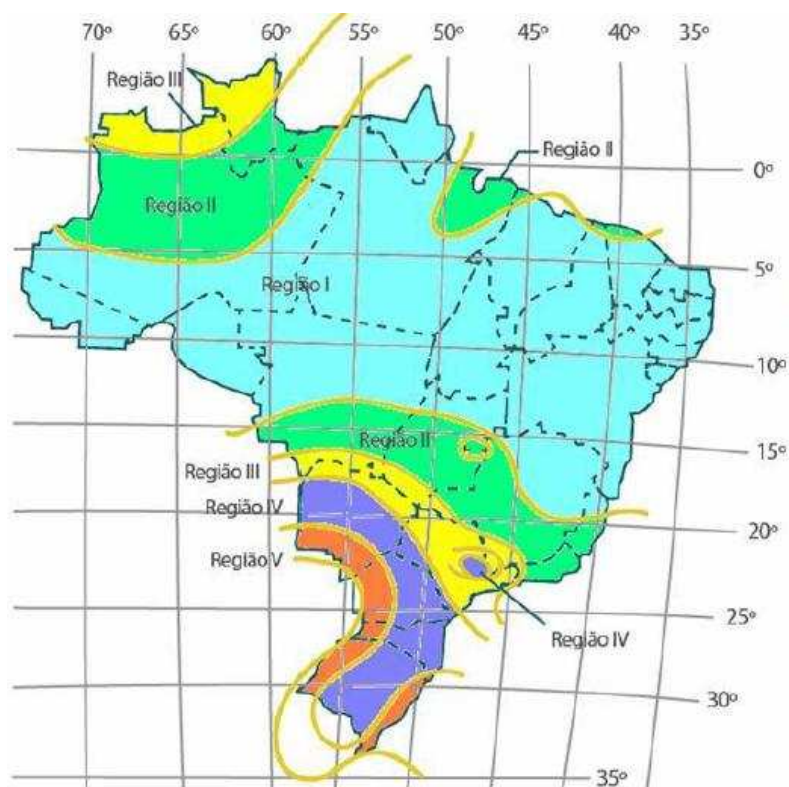
A velocidade do vento influencia diretamente os ensaios de estanqueidade. Quanto maior é essa velocidade, maior é a pressão causada pelo vento e mais rápida torna-se a passagem da água de chuva pela parede. De acordo com o ensaio de estanqueidade da ABNT NBR 15575:2013, foram estipuladas pressões de vento correspondentes às regiões brasileiras, conforme a Tabela 4 e Figura 26. Contudo essa norma não explica de que forma se baseou para definir tais pressões ou como se atribuiu tais pressões para cada região brasileira.

Tabela 4 - Condições do ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas.

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L / m ² min
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Fonte: ABNT NBR 15575:2013.

Figura 26 - Condições de exposição conforme regiões brasileiras.



Fonte: ABNT NBR 15.575:2013, adaptado por VARISCO, 2014.

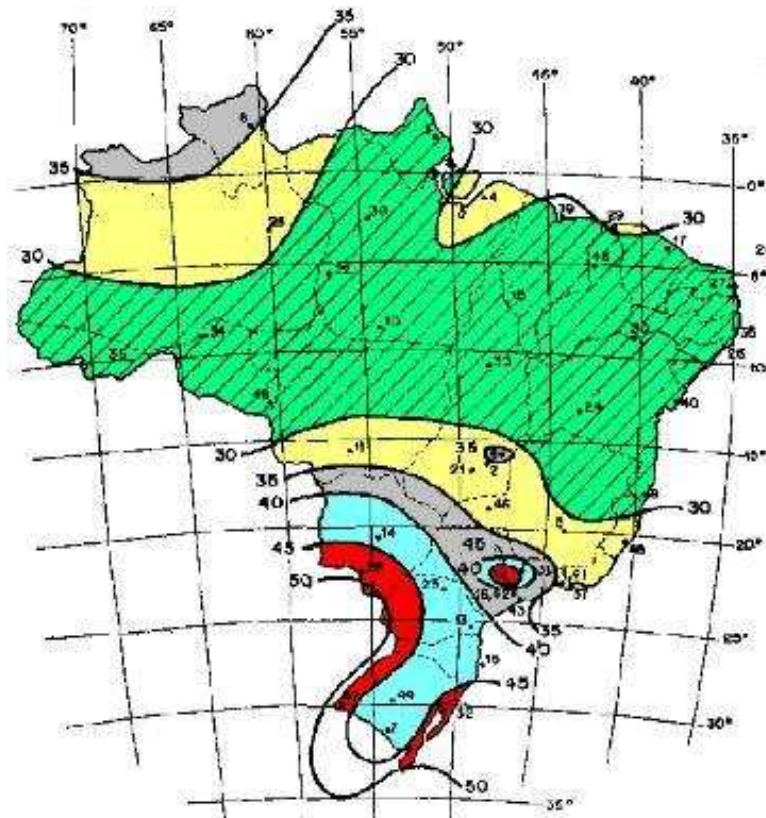
Uma outra forma de se observar e adotar essas pressões de vento seria consultando a ABNT NBR 6123:1988. Essa norma, além de levar em consideração as regiões do território brasileiro. Contudo, também leva em consideração as características dos terrenos onde se localizam as edificações e as dimensões das edificações.

Assim, é possível afirmar que as pressões de vento atribuídas pela ABNT NBR 6123:1988 sejam mais compatíveis com a realidade e ultrapassem os valores estimados das pressões adotadas pelo ensaio de estanqueidade.

O procedimento de cálculo para estimar a pressão do vento pela ABNT NBR 6123:1988 envolve, a priori, as determinações da velocidade básica de vento (v_0) e da velocidade característica do vento (v_k).

A velocidade básica de vento (v_0) é determinada pelas isopletas (Figura 27) conforme a região onde a estrutura é construída.

Figura 27 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

A velocidade característica de vento (v_k) é determinada conforme a expressão 5.

$$v_k = v_0 S_1 S_2 S_3 \quad (5)$$

onde,

v_0 - velocidade básica do vento;

S_1 - fator topográfico;

S_2 - fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

S_3 - fator estatístico.

Através da velocidade característica (v_k), obtém-se finalmente a pressão dinâmica de vento (q), através da expressão 6.

$$q = 0,613(v_k)^2 \quad (6)$$

A velocidade básica do vento (v_0) obtida por meio da ABNT NBR 6123:1988 está associada a um período de exposição ou retorno de 50 anos. Para se considerar um período de exposição menor, a ABNT NBR 6123:1988 requer que seja alterado o fator estatístico (S_3).

Griffis (1993) recomenda considerar um período de retorno menor que 50 anos na verificação dos estados limites de serviço (ELS) de estruturas de edifícios. Segundo este autor, a consideração de uma pressão de vento que pode ocorrer no máximo uma vez durante um período de 50 anos é um critério muito rigoroso. Por esse motivo, Griffins (1993) recomenda considerar uma velocidade de vento para um período de retorno de 10 anos para verificação dos estados limites de deslocamento excessivo e percepção de movimento, o que corresponde a uma probabilidade de 10% da velocidade de vento ser excedida neste período.

Em um estudo comparativo de ações geradas em estruturas, realizado por Loh e Isyumov¹¹ (1985 *apud* CHARNEY, 1990), foram simulados picos de vento ou rajadas em 20 edificações diferentes. As amplitudes e as distribuições da pressão do vento foram baseadas em normas técnicas e em ensaios em túnel de vento. Considerando ventos em qualquer direção, os resultados indicaram que os esforços obtidos nas estruturas em túneis de vento foram equivalentes a 71% dos valores obtidos por meio das normas técnicas. No mesmo estudo relatou-se que a discrepância dos resultados foi principalmente devida à rugosidade do terreno no entorno do edifício e que o formato da edificação teve pouca influência.

¹¹ LOH P. and ISYUMOV N. - Overall Wind Loads on Tall Buildings and Comparisons with Code Values, Proceedings of the Fifth National Conference on Wind Engineering, Lubbock, Texas, 1985.

Para a verificação dos estados limites de serviço (ELS) das estruturas, Charney (1990) sugeriu adotar um período de retorno entre 8 e 10 anos, tendo em vista que as consequências de exceder um ELS não estão relacionadas com a segurança.

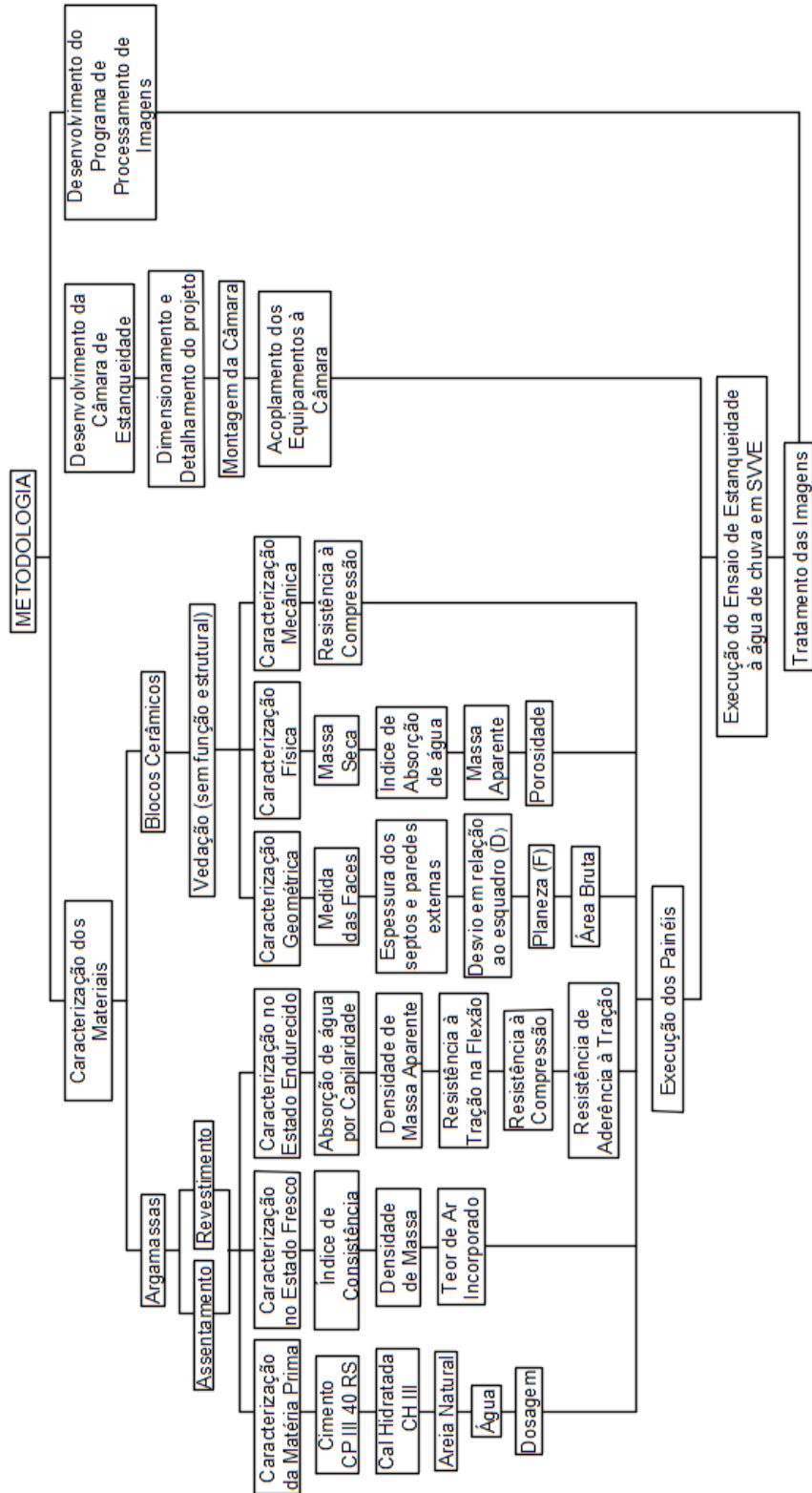
3

MATERIAIS E MÉTODOS

Na primeira etapa deste trabalho foram realizados ensaios de caracterização das argamassas de assentamento e revestimento e dos blocos cerâmicos de vedação. Para as argamassas foram caracterizadas as matérias primas utilizadas e determinadas suas propriedades nos estados fresco e endurecido. Para os blocos cerâmicos foram realizadas caracterizações geométricas, físicas e mecânicas. Após essa caracterização foram executados os modelos experimentais de parede. Paralelamente foram desenvolvidos a câmara de estanqueidade e o programa de processamento de imagens. A câmara foi devidamente fixada nos modelos experimentais de parede e executou-se o ensaio de estanqueidade à água de chuva. Após os registros fotográficos dos resultados de mancha úmida apresentados foi realizado o tratamento das imagens com auxílio do programa

computacional desenvolvido. Na Figura 28 apresenta-se um fluxograma com uma representação esquemática da metodologia empregada neste trabalho.

Figura 28 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: A autora, 2018.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO BLOCO CERÂMICO

Os blocos cerâmicos para parede de vedação analisados apresentaram as seguintes características: dimensões de fabricação 14x19x29 cm (largura x altura x comprimento); nove furos prismáticos (3x3) longitudinais, sendo esses produzidos para a utilização na horizontal (Figura 29).

Figura 29 - Esquema do bloco cerâmico de vedação (14x19x29).



Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 5 apresentam-se os ensaios de caracterização do bloco cerâmico realizados no laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Nota-se que os valores encontrados da resistência média de 13 exemplares do lote avaliado foi de 1,0 MPa e a absorção d'água de 22,4%. Segundo a ABNT NBR 15270- 1:2005, os valores correspondentes para aceitabilidade são: 1,5MPa e 22% respectivamente para resistência à compressão e absorção d'água.

Tabela 5 - Ensaios mecânicos nos blocos cerâmicos de vedação.

Bloco Cerâmico de Vedação			
Ensaio Mecânicos	Resultados		
	Laboratório	Especificações NBR 15570	ABNT
Resistência á compressão média (MPa)	1,0	$\geq 1,5$	NBR 15270
Absorção média de água (%)	22,4	$8,0 \leq x \leq 22,0$	NBR 15270
Porosidade média (%)	38,51	-	
Massa específica aparente média (g/cm ³)	169,26	-	

Fonte: A autora, 2018.

Nota: ver Apêndice A.

3.1.1 Ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos

Foram realizados ensaios de caracterização nos blocos cerâmicos de vedação, no Laboratório de Materiais de Construção Civil no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, a fim de se observar as recomendações exigidas pela norma brasileira. A caracterização é geométrica, física e mecânica.

3.1.2 Caracterização geométrica, física e mecânica

A norma que regue as características geométricas, físicas e mecânicas dos blocos cerâmicos é a ABNT NBR 15270-3:2005. Foram analisadas 13 amostras e todas foram devidamente identificadas por numeração cardinal.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS

A seguir são apresentados as propriedades e os fornecedores de cada matéria-prima ou componentes das argamassas, além dos ensaios de caracterização, tanto no estado endurecido, quanto no estado fresco das argamassas de assentamento e revestimento.

3.2.1 CP III - Cimento Portland de alto forno

O cimento Portland de alto forno utilizado na produção das argamassas para a construção da parede de experimento desse trabalho foi o CP III – 40 RS.

Na Tabela 6 são apresentados os ensaios físicos e mecânicos realizados em laboratório do CP III – 40 RS.

Tabela 6 - Cimento Portland III – 40 RS.

CP III - 40 RS			
Ensaio Físicos e Mecânicos	Resultados		
	Laboratório	Especificações - EB 208 NBR 5735:1991	ABNT
Área específica - Blaine (cm ² /g)	390,77	-	NBR 16372:2015
Tempo de Início de Pega (h:min)	04:10	≥ 1	NBR NM 65:2003
Tempo de Fim de Pega (h:min)	05:30	≤ 12	NBR NM 65:2003
Finura na peneira #200 (%)	1,18	≤ 8	NBR 11579:2013
Expansibilidade a quente (mm)	0	≤ 5	NBR 11582:2016
Expansibilidade a frio (mm)	0	≤ 5	NBR 11582:2016
Consistência normal (%)	32	-	NBR NM 43:2003
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	18,6	≥ 12	NBR 7215:1997
Resistência à compressão 14 dias (MPa)	27,7	≥ 23	NBR 7215:1997
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	38,5	≥ 40	NBR 7215:1997
Massa específica (g/cm ³)	2,934	-	NBR NM 23:2001

Fonte: A autora, 2018.

O cimento foi armazenado em área coberta e em ambiente seco e arejado, respeitando a quantidade de sacos no empilhamento e a altura de afastamento do produto em relação ao piso, utilizando-se estrados, para se evitar contato direto de uma possível umidade.

3.2.2 Cal hidratada

De modo geral, a cal hidratada é a melhor escolha para aplicações em obras, em relação à cal virgem, pois o tempo gasto no preparo da argamassa é menor. A cal virgem precisa descansar por no mínimo 16 horas antes de ser utilizada e corre-se o risco de a hidratação não ser completa e acarretar trincas, quedas e, em consequência, maior desperdício na obra. Por esses motivos a cal hidratada foi a escolhida para esse trabalho.

Assim como para o cimento, a cal foi armazenada em área coberta e em ambiente seco e arejado, respeitando a quantidade de sacos no empilhamento e a altura de afastamento do produto em relação ao piso, com estrados, para se evitar contato direto com a umidade. A ABNT NBR 7175:2003 é a norma que trata de cal hidratada para argamassas.

Na Tabela 7 é apresentada a massa específica do material utilizado na produção das argamassas para a construção da parede do experimento.

Tabela 7 – Cal hidratada III.

CH III			
Ensaio Físico	Resultados		ABNT
	Laboratório	Especificações NBR 7175: 2003	
Massa específica (g/cm ³)	2,315	-	NM 23:2001

Fonte: A autora, 2018.

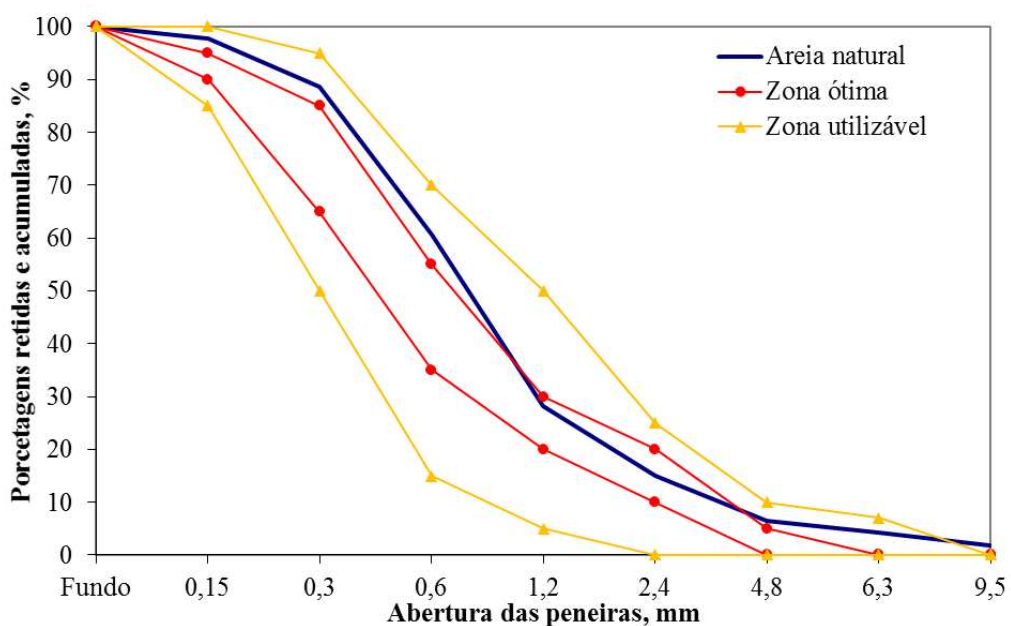
3.2.3 Areia natural

A norma brasileira que trata de agregados para argamassas é a ABNT NBR 7211:2009, que também trata de agregados para concreto. Segundo essa norma, agregados miúdos são aqueles cujos grãos passam pela peneira de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 150 µm. O ensaio é realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

A areia natural utilizada como agregado miúdo para produção das argamassas é proveniente do Rio Piranga, extraída no município de Porto Firme, MG.

Na Figura 30 e na Tabela 8 são apresentados os ensaios de caracterização da areia natural realizados no laboratório de materiais de construção civil da UFV.

Figura 30 - Composição granulométrica da areia.



Fonte: A autora, 2018.

Tabela 8 – Areia natural do Rio Piranga.

Areia Natural			
Ensaio Físicos	Resultados		ABNT
	Laboratório	Especificações NBR 7211:2009	
Massa Unitária no estado Seco e Solto (kg/dm ³)	1,43	-	NBR NM 45:2006
Massa Unitária no estado Compactado (kg/dm ³)	1,49	-	NBR NM 45:2006
Massa Específica Saturada Superfície Seca (g/cm ³)	2,63	-	NBR NM 52:2009
Absorção (%)	0,8	-	NBR NM 30:2001
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	1,07	-	NBR NM 52:2009
Material Pulverulento (%)	0,87	3 a 5	NBR NM 46:2003
Teor de Argila em Torrões e Materias Friáveis (%)	0,055	3	NBR 7218:2010
Impurezas Orgânicas Húmicas - Comparação da Coloração	mais clara	mais clara	NBR NM 49:2001
Dimensão Máxima Característica (mm)	4,8	-	NBR NM 248:2001
Módulo de finura / Zona	2,81 / Ótima	2,20 a 2,90	NBR NM 248:2001
Zona da Distribuição Granulométrica	Utilizável	Ótima ou Utilizavel	NBR NM 248:2001

Fonte: A autora, 2018.

Após a caracterização, todo o agregado miúdo foi separado e passado pela peneira de 4,8 mm. Foi peneirado material suficiente para o emprego em toda a pesquisa, aproximadamente, 2.120 kg desse agregado e armazenados no seu estado úmido em bombonas de plástico devidamente identificadas. É importante ressaltar que, apesar de a areia ter sido guardada úmida, o seu teor de umidade foi coletado a todo o momento.

O teor de umidade da areia foi realizado em todos os momentos que antecederam sua utilização para os devidos ajustes nos traços.

3.2.4 Água

Foi utilizada água potável, distribuída e tratada pela concessionária local Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE, MG).

3.2.5 Dosagem das argamassas

As argamassas mistas utilizadas neste trabalho são compostas por cimento, cal e areia, com diferentes traços em volume, identificadas por este trabalho como fraca (1:3:12), intermediária (1:2:9) e forte (1:1:6).

Os traços adotados em argamassas de assentamento e de revestimentos internos foram constantes e os traços das argamassas de revestimento externo foram variados em três tipos diferentes, como apresentados na Tabela 9, conforme utilizado na região de Viçosa –MG.

Tabela 9- Traços de argamassas em volume.

Aplicação	Cimento	Cal	Areia
Assentamento de tijolos e blocos de alvenaria	1	3	12
Revestimento de Paredes Internas	1	2	9
Revestimento de Paredes Externas	1	3	12
	1	2	9
	1	1	6

Fonte: A autora, 2018.

3.2.6 Ensaios de caracterização das argamassas

Foram realizados ensaios de caracterização nas argamassas de assentamento e de revestimento (interno e externo) para cada um dos traços propostos no programa experimental (1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6). A caracterização foi feita no estado fresco e no estado endurecido da argamassa. Todos os ensaios foram desenvolvidos no laboratório de materiais de construção civil da UFV e encontram-se nos Apêndices B, C, D e E.

Foram encontrados resultados esperados quanto aos diferentes traços de argamassas, ou seja, aqueles traços de argamassas considerados mais ricos (1:1:6) foram os quais apresentaram maiores resistências mecânicas (flexão, compressão, aderência à tração), menores relações água/cimento e menores absorções de água por exemplo se comparados às argamassas intermediárias (1:2:9) e pobres (1:1:6).

3.2.6.1 Caracterização no estado fresco

3.2.6.1.1 Preparo da mistura e determinação do índice de consistência

Cada argamassa foi preparada conforme o item 5.2.2.2 da ABNT NBR 13276:2005 (Preparo de mistura e determinação do índice de consistência), referente às argamassas dosadas em obra à base de cimento e cal hidratada.

O índice de consistência foi medido através do espalhamento da argamassa, como mostra a Figura 31 conforme o item 5.3 da mesma norma. Os ensaios de índice de consistência foram realizados todas as vezes que se produzia uma argamassa por betoneira. Para os traços 1:3:12 correspondentes às argamassas de assentamento foram realizados 19 ensaios e para os traços 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6 correspondentes às argamassas de revestimentos, foram realizados 8, 15 e 6 ensaios, respectivamente.

Figura 31- Verificação do espalhamento da argamassa através do ensaio de índice de consistência.



Fonte: A autora, 2018.

3.2.6.1.2 *Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado*

A ABNT NBR 13278:2005 é a norma que rege o ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado para argamassas. A Figura 32 apresenta uma das etapas do ensaio, representando a queda do recipiente com argamassa.

Figura 32 - Queda do recipiente à altura aproximada de 3 cm como parte do ensaio de densidade de massa.



Fonte: A autora, 2018.

Conforme as faixas de valores apresentados pelos índices de consistência, de cada traço de argamassa, foram pré-estabelecidos os índices nos quais se realizariam tanto os ensaios de densidade de massa, quanto os ensaios de teor de ar incorporado. Para determinar quais seriam

esses índices dentro de uma faixa de valores, foram adotados os índices extremos, ou seja, o maior e o menor índice encontrado e dividiu-se o em intervalos iguais o restante da faixa de valores, na tentativa de abordar todos os índices encontrados.

Assim, para o caso da argamassa de assentamento 1:3:12, que apresentou uma faixa de valores variando de 180 a 280 mm de espalhamento no índice de consistência (IC), foram realizados 6 ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado correspondentes aos índices 180, 200, 220, 240, 260 e 280 mm. Da mesma maneira, para as argamassas de revestimento de traços 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6 apresentaram faixas de IC correspondentes a 205 a 235, 190 a 280 e 160 a 220, sendo realizados 4, 5 e 4 ensaios para cada argamassa, respectivamente.

3.2.6.2 Caracterização no estado endurecido

3.2.6.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram preparados conforme a ABNT NBR 13276:2005 e moldados conforme a ABNT NBR 13279:2005, a fim de se realizar os ensaios de caracterização no estado endurecido da argamassa.

As argamassas permaneceram nos moldes somente entre às (48 ± 24) primeiras horas em condições ambientais de temperatura e umidade de (23 ± 2) °C e (60 ± 5) %. Após a retirada dos corpos de prova dos moldes, esses permanecem sob as mesmas condições ambientais.

Foram moldados no total 15 corpos de prova para cada traço de argamassa, a fim de realizar os ensaios propostos a seguir, totalizando portanto 60 confecções de corpos de prova. Após moldagem no local da construção dos corpos de prova, esses foram revestidos com sacos plásticos e levados para a câmara úmida do laboratório de condições ambientais descritas anteriormente. A Figura 33 demonstra a moldagem e condicionamento dos corpos de prova no local de construção.

Figura 33 - Etapas do ensaio da moldagem dos corpos de prova: (a) acionamento da mesa de adensamento; (b) condicionamento dos corpos de prova em sacos plásticos.



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2018.

3.2.6.2.2 *Absorção de água por capilaridade*

Segundo a ABNT NBR 15259:2005, norma que determina a absorção de água por capilaridade em argamassas, os corpos de prova produzidos conforme a ABNT NBR 13279:2005 devem ser ensaiados aos 28 dias de idade, com tolerância de 24 horas e assim foram realizados nessa pesquisa. Para cada traço de argamassa foram feitos 3 corpos de provas para serem ensaiados aos 28 dias de idade.

A Figura 34 mostra a absorção de água por capilaridade no primeiro minuto e aos 10 e 90 minutos de ensaio.

Figura 34 - Absorção de água por capilaridade: (a) no primeiro min, (b) em 10 min e (c) em 90 min.



(a)

(b)

(c)

Fonte: A autora, 2018.

3.2.6.2.3 *Densidade de massa aparente*

A ABNT NBR 13280:2005 estabelece a determinação da massa aparente da argamassa no estado endurecido. Foram confeccionados 3 corpos de prova pra cada traço de argamassa e aos 28 dias de cura foram realizadas as medidas de comprimento largura e espessura, conforme exemplifica a Figura 35.

Figura 35 - Medida de comprimento no ensaio de massa aparente.



Fonte: A autora, 2018.

3.2.6.2.4 *Resistência à tração na flexão e à compressão*

A norma que estabelece a determinação da resistência das argamassas à tração na flexão e à compressão é a ABNT NBR 13279:2005. Segundo essa norma a ruptura dos corpos de prova devem ser realizados no mínimo na idade de 28 dias, contudo para essa pesquisa também foram realizadas paras as idades de 3 e 7 dias. A norma estabelece também que para cada idade devem ser moldados 3 corpos de prova. Assim foram produzidos 9 corpos de prova para cada traço de argamassa, totalizando portanto 36 corpos de prova. Todos esses corpos de prova foram utilizados para ambos os ensaios.

A Figura 36 mostra os equipamentos de ruptura utilizados, bem como o posicionamento dos corpos de prova para a efetivação dos ensaios.

Figura 36 - Equipamento de medição da resistência (a) à tração na flexão e (b) à compressão.



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2018.

3.2.6.2.5 Resistência potencial de aderência à tração

Com a parede construída, o ensaio da determinação da resistência potencial de aderência à tração foi realizado sob as argamassas de revestimento, segundo a ABNT NBR 15258:2005.

Conforme a norma, a ruptura deveria ser realizada aos 28 dias e 10 vezes em cada substrato. Considerando como substrato cada painel argamassado externo e interno, teríamos no total 160 ensaios de aderência, sendo 120 nos painéis externos e 40 nos painéis internos. Contudo, para essa pesquisa foi estabelecido considerar 6 ensaios para cada painel, logo foram realizados no total 96 ensaios, sendo 72 nos painéis externos e 24 nos painéis internos. Todos os ensaios foram realizados próximo aos 180 dias de cura.

A Figura 37 representa a execução do ensaio no local da área experimental.

Figura 37 - Realização do ensaio de resistência de aderência à tração.



Fonte: A autora, 2018.

3.3 AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE

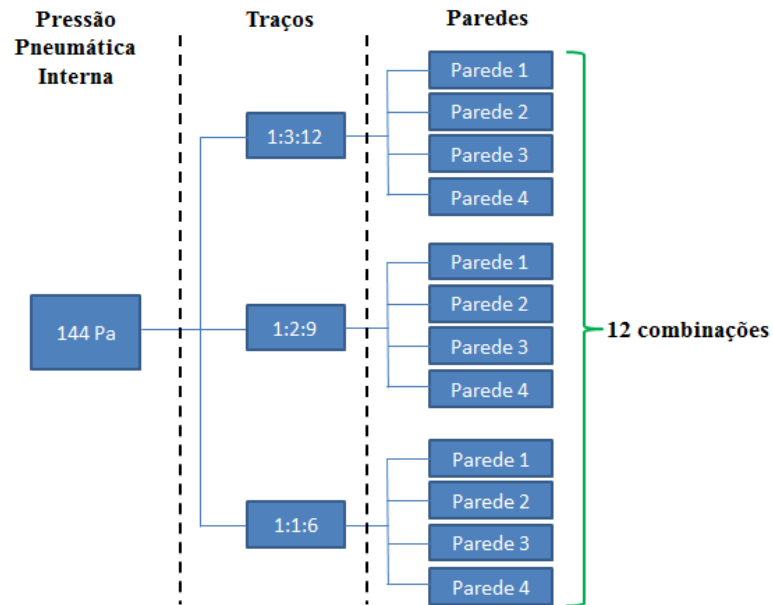
Com os materiais definidos e os traços caracterizados, foi possível a construção dos modelos experimentais de paredes utilizados na presente pesquisa.

Apresenta-se a seguir o método de avaliação da estanqueidade realizado no presente trabalho no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do DEC/ UFV.

3.3.1 Estratégia para a avaliação da estanqueidade em paredes de alvenaria

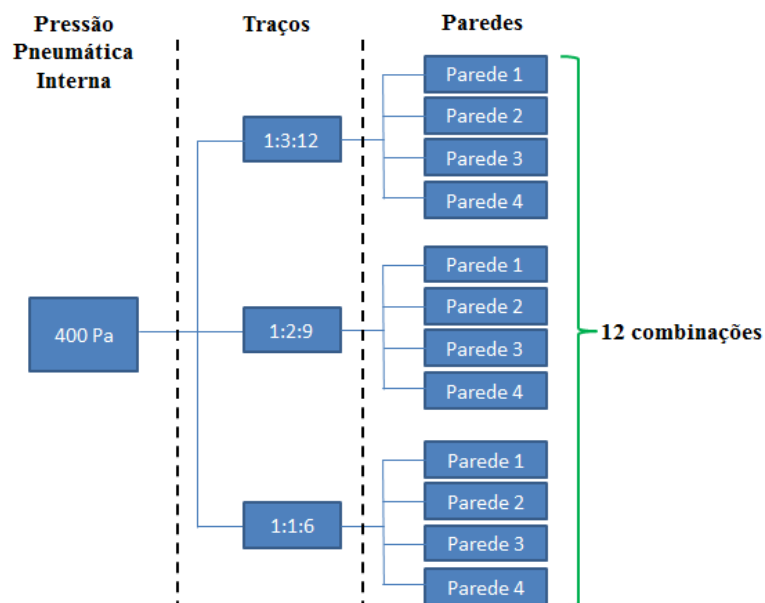
A metodologia adotada para a realização dos ensaios de estanqueidade foi representada pelos fluxogramas das Figura 38 e Figura 39.

Figura 38 - Combinações geradas a partir da pressão pneumática interna da câmara de 144 Pa e dos traços 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 39 - Combinações geradas a partir da pressão pneumática interna da câmara de 400 Pa e dos traços 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6.



Fonte: A autora, 2018.

Os parâmetros variáveis utilizados nos experimentos dessa pesquisa correspondem às pressões pneumáticas internas, atribuindo duas pressões diferentes (144 Pa e 400 Pa) e aos traços de argamassas, adotando três tipos diferentes (1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6). Assim, para cada tratamento (mesma pressão e traço) foram realizadas 4 repetições (paredes), totalizando em 24 combinações ou experimentos, sendo 12 com 144 Pa de pressão (Figura 38) e mais 12 adotando 400 Pa de pressão (Figura 39).

Com base na metodologia apresentada optou-se por adotar o delineamento inteiramente casualizado, chamado também de experimento inteiramente casualizado ou experimento inteiramente ao acaso. Segundo Kronka (2015), as principais características deste delineamento são:

- a) utiliza apenas os princípios da repetição e da casualização (não utiliza o controle local);
- b) os tratamentos são distribuídos nas parcelas de forma inteiramente casual, com números iguais ou diferentes de repetições para os tratamentos.

Para a implementação desses experimentos no campo, devemos ter certeza da homogeneidade das condições ambientais e do material experimental.

Este delineamento é bastante utilizado em ensaios de laboratório, onde as condições experimentais podem ser perfeitamente controladas.

O delineamento inteiramente casualizado apresenta, em relação aos outros delineamentos, as seguintes vantagens:

- a) é um delineamento bastante flexível, pois o número de tratamentos e de repetições depende apenas do número de parcelas disponíveis;
- b) o número de repetições pode variar de um tratamento para outro, embora o ideal seja utilizar o mesmo número de repetições para todos os tratamentos;
- c) a análise estatística é simples, mesmo quando o número de repetições por tratamento é variável;
- d) o número de graus de liberdade para estimar o erro experimental (que é dado pelo desvio padrão residual) é o maior possível.

Em relação aos outros delineamentos, o delineamento inteiramente casualizado apresenta as desvantagens:

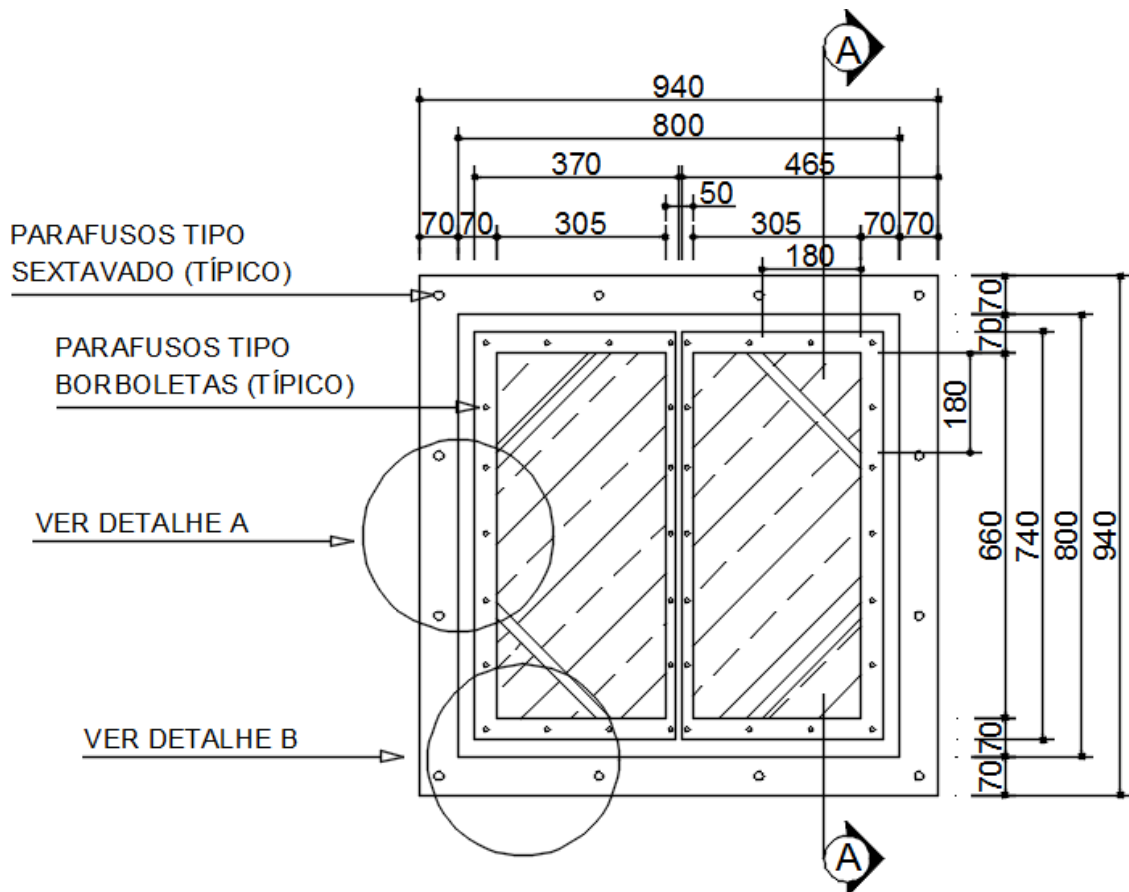
- a) exige a homogeneidade de todas as parcelas experimentais;
- b) pode conduzir a uma estimativa bastante alta para a variância residual, pois, não utilizando o controle local, todas as variações entre as unidades experimentais (exceto as devidas aos tratamentos) são consideradas como variação do acaso.

3.3.2 Desenvolvimento da câmara de estanqueidade

A câmara de estanqueidade do presente trabalho foi projetada e executada de acordo com as recomendações do Anexo C da ABNT NBR 15575-4:2013, através do laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

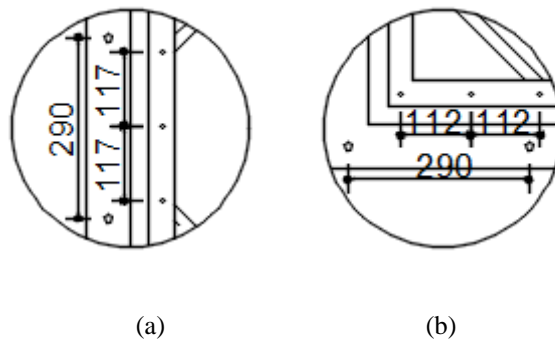
Nas Figura 40 a Figura 46 são apresentados detalhes do projeto da câmara de estanqueidade de desenvolvimento no presente trabalho.

Figura 40 - Vista frontal - dimensões em milímetros.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 41 - Detalhes frontais das distâncias entre furos: (a) na vertical e (b) na horizontal- dimensões em milímetros.

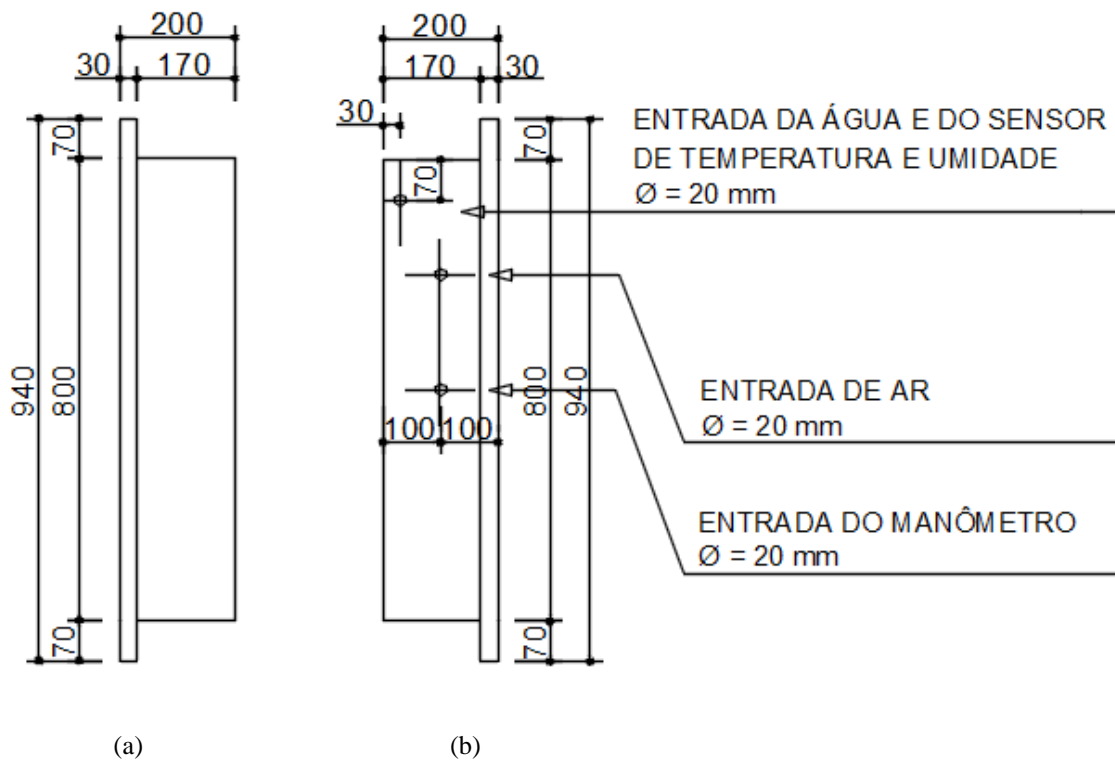


(a)

(b)

Fonte: A autora, 2018.

Figura 42 - Vistas laterais (a) esquerda e (b) direita - dimensões em milímetros.

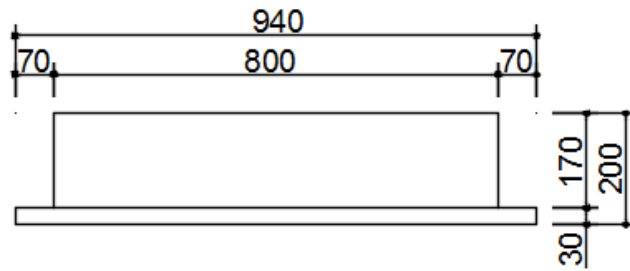


(a)

(b)

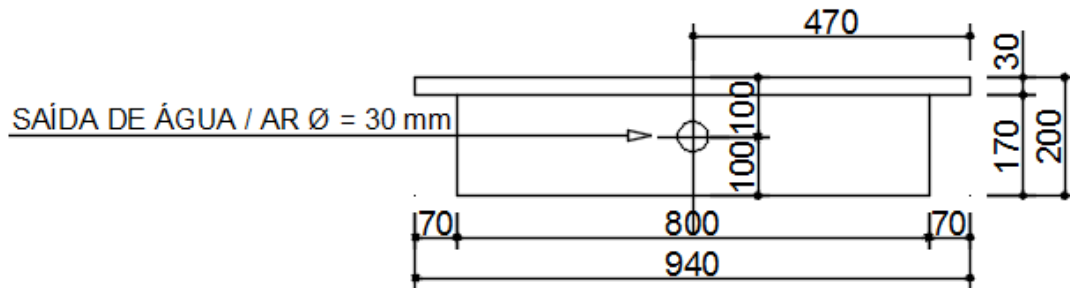
Fonte: A autora, 2018.

Figura 43 - Vista superior - dimensões em milímetros.



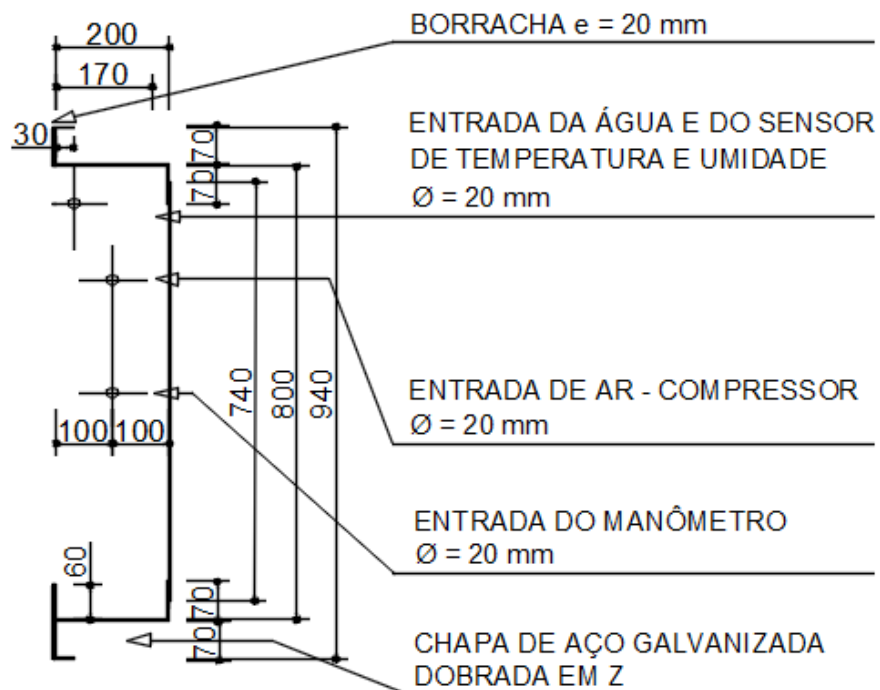
Fonte: A autora, 2018.

Figura 44 - Vista inferior - dimensões em milímetros.



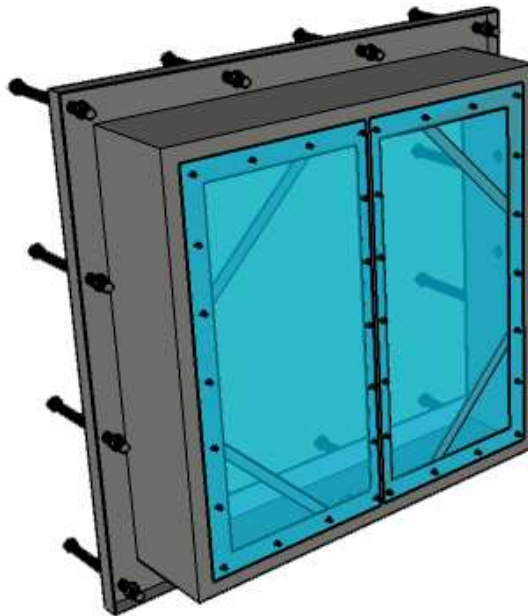
Fonte: A autora, 2018.

Figura 45 - Corte A-A - dimensões em milímetros.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 46 - Perspectiva da câmara de estanqueidade - dimensões em milímetros.

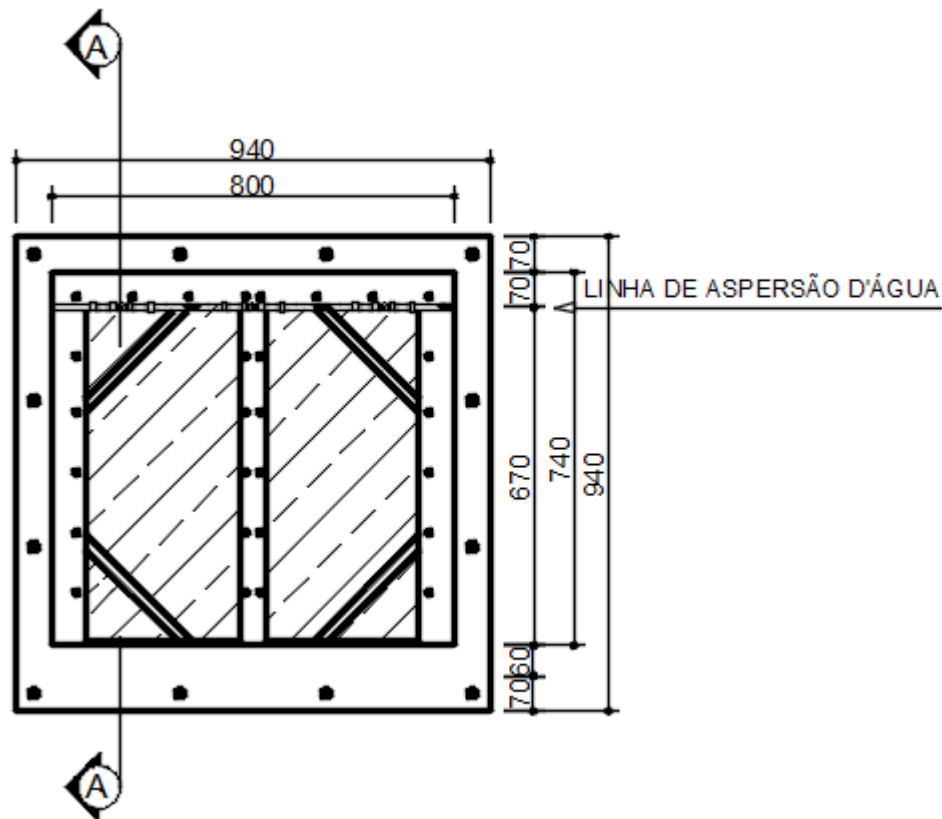


Fonte: A autora, 2018.

A câmara de estanqueidade possui forma prismática, com dimensões totais de 940 x 940 x 200 mm (altura x largura x profundidade), sendo aberta em uma das faces de maior dimensão. Essa face aberta tem dimensões de 740 x 800 mm (altura x largura), o que corresponde a uma área de aproximadamente 0,60 m² e fica em contato com a parede. A câmara desenvolvida no presente trabalho apresenta dimensões intermediárias, mas é grande o suficiente para se abranger maior área possível de teste em relação ao tamanho modelo experimental de parede indicado pela ABNT NBR 15.575:2013 (1050 x 1350 mm – largura x comprimento). Por outro lado, essa câmara é pequena o suficiente para permitir um manuseio e transporte adequados.

Apesar da face aberta apresentar dimensões de 740 x 800 mm (altura x largura), ela não recebe em toda a sua área aberta ($\approx 0,6$ m²) o fluxo constante da água, apenas em 0,536 m² da área (670 x 800 mm – altura x largura). Isso se justifica pela posição da linha de aspersão de água ou pelo fato de o início do escoamento de água se apresentar 70 mm abaixo do topo da abertura. Assim, ao descontarmos 70 mm da abertura (740 mm), obtemos 670 mm dessa altura, conforme mostra a Figura 47.

Figura 47 - Vista posterior - dimensões em milímetros.



Fonte: A autora, 2018.

Quanto ao material, a estrutura da câmara é composta de chapa de aço galvanizada com espessura de aproximadamente 2 mm; a tampa para inspeção é de acrílico; todas as conexões são de plástico. O aço galvanizado foi adotado por ser um material de boa rigidez; o acrílico, devido à transparência e ao menor perigo no manuseio da tampa; e o plástico nas conexões, devido à relação custo-benefício.

Para garantir a rigidez e a estabilidade da estrutura prismática, junto à face oposta à abertura foram soldadas cinco barras de aço galvanizadas: uma de dimensões 660 x 50 x 2 mm (comprimento x largura x espessura mm), soldada verticalmente no centro, e quatro barras de dimensões aproximadas de 255 x 20 x 2 mm (comprimento x largura x espessura mm), uma em cada canto, de modo a travar as arestas (ver Figura 47). A barra vertical não apenas tem como finalidade enrijecer, mas também contribuir para uma possível inspeção de utilização.

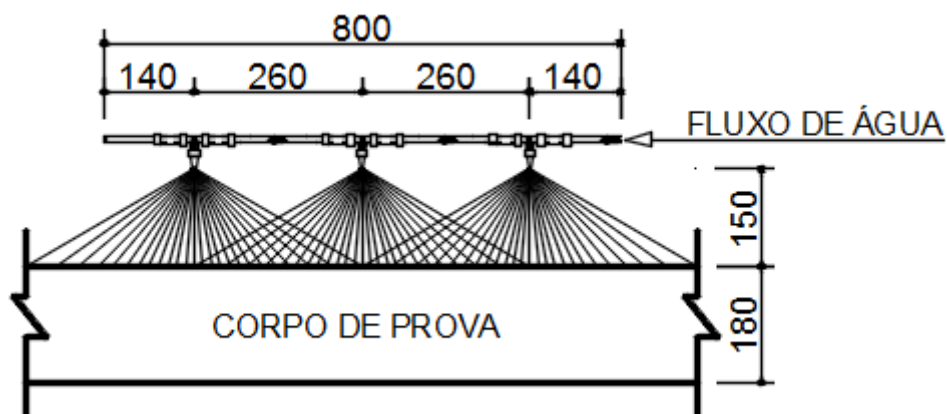
No que se refere à presença de orifícios, a câmara é composta de quatro, sendo três na lateral: um para a entrada da água e do sensor de temperatura e umidade, um para a entrada de ar, um para a entrada do medidor de pressão; e um no fundo que tem como finalidade a saída

de água/ar. Todas as posições dos furos foram colocadas como sugerido pela ABNT NBR 15575-4:2013 (ver Figura 42 e Figura 44).

3.3.2.1 Componentes da câmara de estanqueidade

Quanto à característica do dispositivo de pulverização, foi adotada uma tubulação de cobre de 800 mm de comprimento e 7 e 10 mm de diâmetros, interno e externo respectivamente, composta de três bicos aspersores do tipo leque formando uma linha horizontal e nivelada de água. Teve-se como preocupação aspergir a água a 90° do plano da parede, pois assim testaríamos a chuva na sua pior condição, ou seja, quando simultaneamente à chuva, ocorressem ventos a 90°. Essa linha de aspersão de água também foi posicionada a 70 mm abaixo do topo da câmara e a 150 mm afastada da parede, distribuindo de maneira uniforme e constante água limpa a uma vazão de $3 \pm 0,3$ l/m²/min. As Figura 48 e Figura 49 representam a distribuição e os posicionamentos longitudinal e transversal da linha de aspersão de água. Adotou-se a distância igual a 150 mm devido a testes na mesa de distribuição, realizados no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, onde observou-se que essa seria a melhor distância do alvo para uma distribuição de água uniforme, ou seja, onde a água estaria mais nivelada entre as aletas da mesa (Figura 50).

Figura 48 - Planta baixa do fluxo de água (dimensões em milímetros).



Fonte: A autora, 2018.

3.3.2.2 Dispositivos auxiliares da câmara de estanqueidade

Alguns dispositivos e ferramentas foram fundamentais para auxiliar o funcionamento da câmara de estanqueidade. Sem eles não seria possível a realização do ensaio. A seguir, tem-se a relação de todos esses equipamentos.

Para a ocorrência da aspersão, foi necessária a utilização de uma bomba d'água. As características da bomba utilizada foram as seguintes: marca ProPumps, modelo XTL-3210, 12 volts, 6 A (amperes) de corrente, 6 L (1 GPM) de capacidade de fluxo e 130 psi (9 bar) de pressão (Figura 51).

Figura 51- Bomba d'água.



Fonte: A autora, 2018.

A fim de controlar a vazão de água, utilizou-se uma fonte transformadora de energia, da marca Dazheng e modelo PS 605D (Figura 52), onde foram controladas a voltagem e a amperagem. Para a realização dos ensaios foram adotados valores aproximados de 5,5 V e 3 A. A fonte era necessária também para modificar os 12 volts da bomba em 110 ou 220 volts e para trabalhar com tomadas usuais de energia.

Figura 52 - Transformador de energia.



Fonte: A autora, 2018.

Quanto ao dispositivo de injeção de pressão pneumática, foi adotado um compressor da marca Chiaperini, modelo MC 7.6, capacidades de 24 litros, 2 hp de potência e 120 libras de pressão, com mangueira de 3/8” (Figura 53). Foi instalado um registro na ponta de sua mangueira para que se pudesse controlar a quantidade de ar inserido.

Figura 53 - Compressor de ar.



Fonte: A autora, 2018.

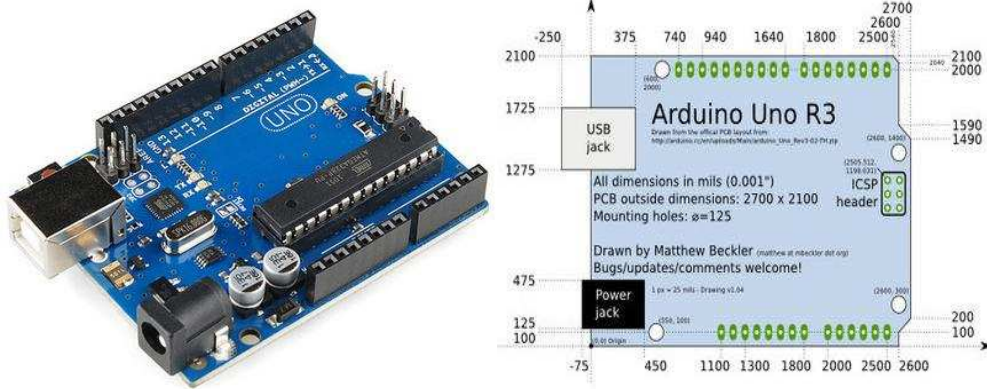
Ao medidor de vazão, foi atribuído um sensor de fluxo d’água da marca Usinainfo de 1/2 de diâmetro (Figura 54), que se conecta a um sistema de aquisição de dados (Arduino), tipo UNO R3 (Figura 55), e faz a leitura através de um visor acoplado. O Arduino foi programado para fazer leituras em l/mim/m² e protegido por uma caixa transparente a fim de permitir a leitura pelo visor (Figura 56).

Figura 54 - Sensor de fluxo de água de 1/2".



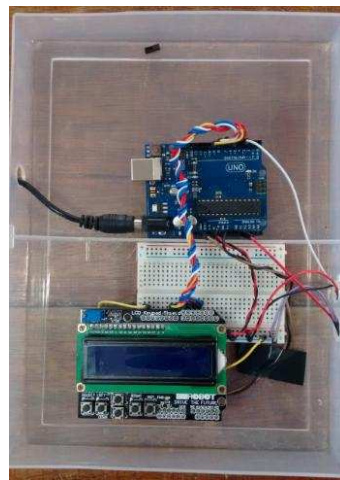
Fonte: <<http://www.usinainfo.com.br>>. Acesso dia 11/04/2017).

Figura 55 - Arduino tipo UNO R3.



(Fonte: <<http://www.filipeflop.com>> Acesso dia 08/04/17.

Figura 56 - Arduino protegido em caixa transparente.



Fonte: A autora, 2018.

Nesse sistema de aquisição de dados, foi instalado também um programa para fazer a leitura de temperatura e umidade, em graus Celsius (°C) e percentagem (%) respectivamente. O sensor de temperatura e umidade do tipo AM2302 DT22 (Figura 57) conecta-se ao Arduino através de jumpers, assim como o sensor de umidade.

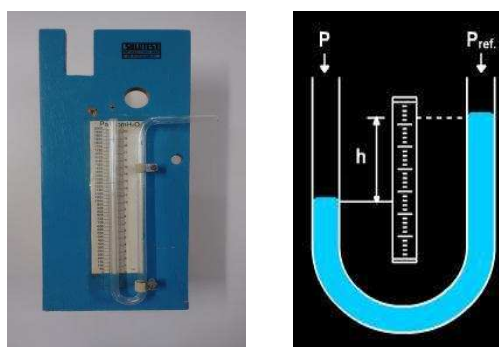
Figura 57 - Sensor de temperatura e umidade tipo AM2302 DT22.



Fonte: <<http://www.filipeflop.com>>. Acesso em 08 de abril de 2017.

Quanto ao medidor de pressão, foi utilizado um manômetro tipo coluna líquida em “U”, com medidas em centímetros de coluna d’água (cmH₂O) e Pascal (Pa) de pressão (Figura 58).

Figura 58 - Manômetro tipo coluna líquida (água) em “U”: (a) manômetro utilizado no ensaio; (b) imagem explicativa do funcionamento do manômetro tipo “U”.



(a)

(b)

Fonte: (a) A autora, 2018 (b) <<http://www.ebah.com.br> – Acesso em 08 de abril de 2017.

Para a fixação da câmara na parede, foram utilizadas 12 barras rosqueáveis de 8 mm ou 5/16” de diâmetro e 300 mm de comprimento; tarugos de madeira de aproximadamente 100 x 60 x 20 mm (altura x largura x espessura) posicionados no lado interno da parede para ajustar a câmara contra a parede (Figura 59) e, por fim, silicone para vedar as juntas da interface parede-câmara.

Figura 59 - Tarugos de madeira posicionados no lado interno da parede.



Fonte: A autora, 2018.

Para a análise dos resultados, porém sem qualquer indicação da ABNT NBR 15575-4:2013, utilizou-se uma câmera fotográfica e uma caixa prismática no lado interno ou no lado oposto ao de fixação da câmara de estanqueidade. Essa caixa é feita de isopor branco revestido

por cartolina preta externamente, composta de uma face aberta e dois orifícios: um centralizado na face superior para a entrada de uma lâmpada fosforescente e outro centralizado na face oposta à face aberta para o posicionamento da lente da câmera fotográfica. Essa caixa tem como dimensões 1 x 1 x 1 m (comprimento x largura x altura) e tem como finalidade padronizar a quantidade de luz e a distância da câmara ao foco (no caso, a alvenaria). A Figura 60 representa o posicionamento da câmera fotográfica e da caixa prismática.

Figura 60 - Câmera fotográfica e caixa prismática de controle de luz e distância focal para registros fotográficos.

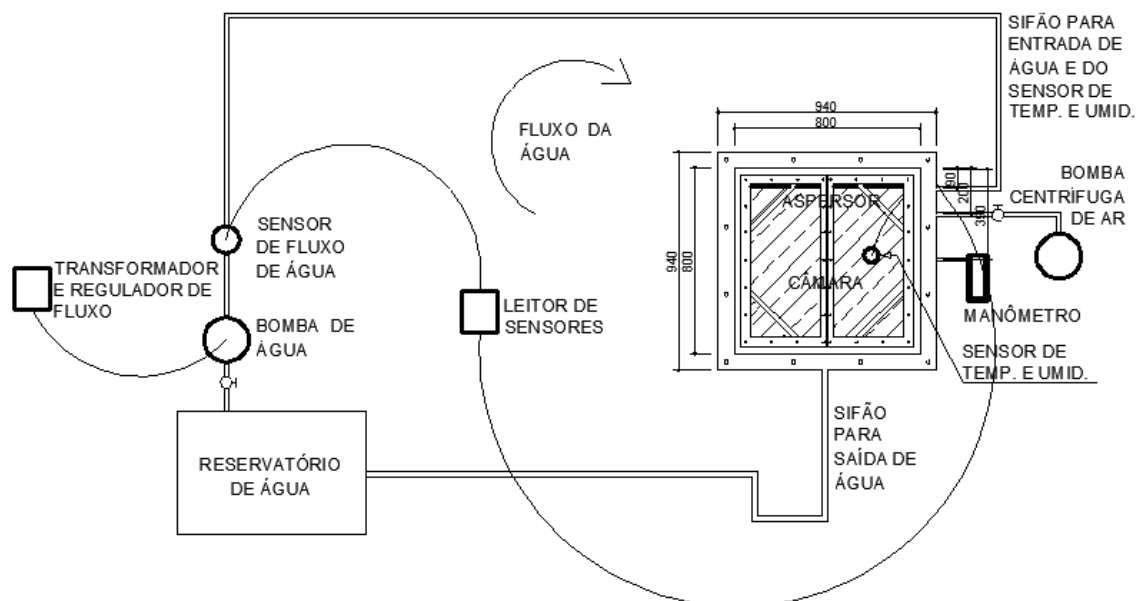


Fonte: A autora, 2018.

Outra ferramenta utilizada no ensaio de estanqueidade e não menos importante, foi o reservatório de água.

Por fim, na Figura 61 mostra-se o esquema geral dos dispositivos aparelhagens acoplados à câmara de estanqueidade.

Figura 61- Esquema geral das disposições dos equipamentos acoplados à câmara de estanqueidade.



Fonte: A autora, 2018.

3.3.3 Modelos experimentais de paredes

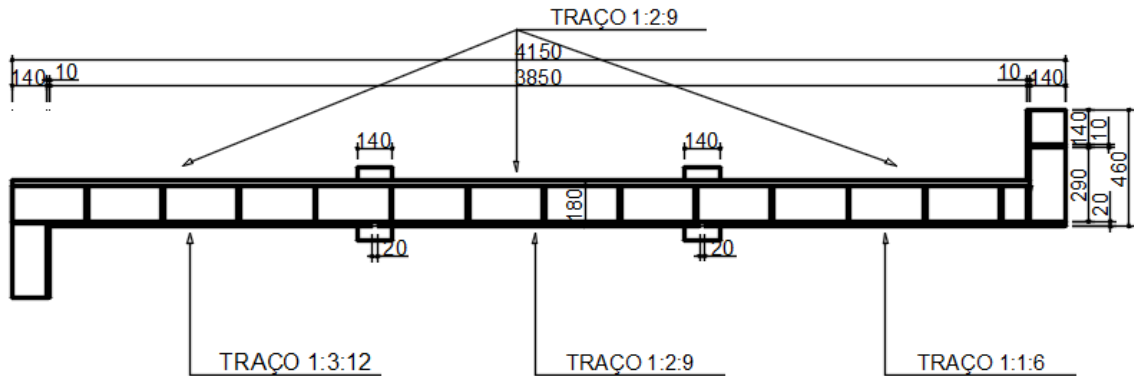
Os modelos experimentais de paredes são representadas por alvenarias de vedação compostas de blocos cerâmicos e revestidas com argamassas, interna e externamente, devidamente dosadas e sem acabamentos finais sobre o revestimento, como pinturas ou azulejos. Essas amostras têm formas prismáticas e foram adequadamente distribuídas entre quatro alvenarias.

A argamassa de assentamento utilizada apresenta traço de 1:3:12 e as argamassas de revestimentos, traços de 1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6. Todos esses traços foram devidamente caracterizados conforme o item 3.2 deste trabalho e aplicados sobre a parede conforme a Figura 62.

Foram construídas quatro paredes planas e verticalmente no prumo contendo, cada uma, três painéis (revestimentos) externos de argamassa, com traços diferentes, totalizando 12 unidades experimentais. As dimensões aproximadas das paredes, contando com os travamentos das extremidades, são de 4,15 x 1,39 x 0,18 m (largura x altura x espessura), e as áreas dos painéis são de 1,77 m², correspondentes a 1,39 x 1,27 m (altura x largura). Nas Figura 62 e Figura 63 apresentam-se em planta baixa e em vista frontal, respectivamente, o detalhamento

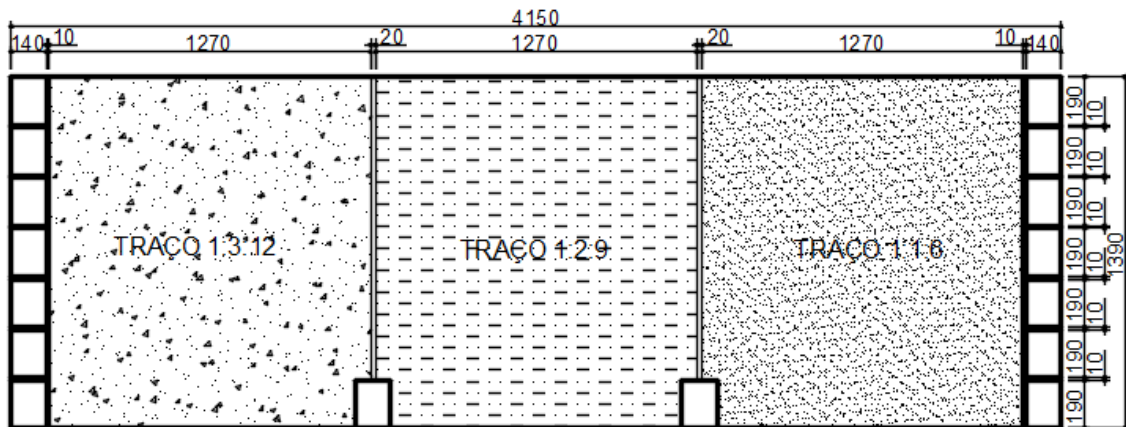
dos modelos experimentais de paredes do presente trabalho e na Figura 64 apresenta-se o processo de construção dessas paredes.

Figura 62 - Planta baixa típica dos modelos de paredes (dimensões em milímetros).



Fonte: A autora, 2018.

Figura 63 - Vista frontal do modelo de parede composto de três unidades experimentais (dimensões em milímetros).



Fonte: A autora, 2018.

Figura 64 -Processo de construção das paredes: (a) com chapisco e taliscas e (b) com argamassa de revestimento de traço 1:2:9 em um dos painéis.



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2018.

Quanto às espessuras dos revestimentos internos e externos, essas foram de 20 mm para os dois tipos. Esse valor está dentro das faixas recomendadas pela ABNT NBR 13749:1996, sendo a espessura entre 5 e 20 mm para revestimentos internos e entre 20 e 30 mm para revestimentos externos.

Quanto à determinação da quantidade de modelos experimentais de paredes, percebe-se que há três variáveis (tratamentos) correspondentes aos traços de revestimentos externos. São eles: o traço 1:3:12, o traço 1:2:9 e o traço 1:1:6 (cimento: cal: areia) em volume. E por existirem quatro paredes replicadas, há, portanto, quatro repetições de cada traço, conforme a expressão 7.

$$4(\text{repetições}) \times 3(\text{tratamentos}) = 12(\text{parcelas}) \quad (7)$$

Segundo o item C.5.3 da ABNT NBR 15575:2013, devem ser realizadas no mínimo duas repetições. Porém, segundo o princípio da repetição da estatística aplicada, em um experimento deve haver no mínimo 20 unidades experimentais ou dez graus de liberdade para o erro experimental ou resíduo (GOMES, 2009), assim para o caso de três variáveis, seriam necessárias pelo menos sete repetições, obtendo 21 unidades experimentais ou parcelas.

Ao se comparar as duas propostas, adotou-se para o número de repetições um valor intermediário igual a quatro. Esse valor é justificado pelo fato de sete unidades ser um número

elevado, inviabilizando a construção, tendo como limitadores os aspectos econômicos (alto custo empregado na fabricação) e o tempo hábil (restrito ao estudo). Em contrapartida, duas repetições não seriam suficientes para um efeito estatístico.

O local de construção e ensaio dos modelos experimentais de parede foi em um galpão da Pró-Reitoria de Administração (PAD). Esse galpão é totalmente coberto e envolto por paredes.

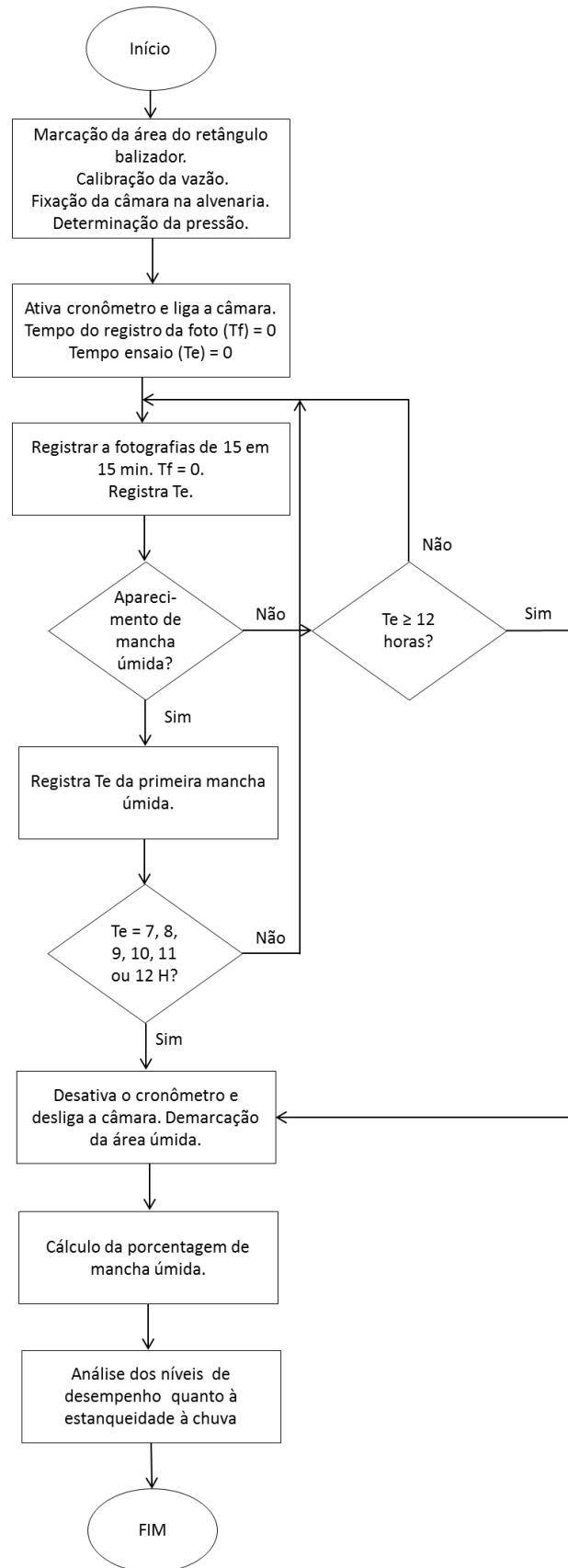
O assentamento dos blocos das paredes ocorreu entre os dias 08 e 15 de julho de 2016. O chapisco, entre os dias 30 de julho e 01 de agosto de 2016. O revestimento das paredes, entre os dias 05 e 12 de agosto de 2016 (para as paredes denominadas 1, 2 e 3) e entre os dias 29 e 31 de agosto de 2016 (para a Parede 4). Todas as datas respeitaram os tempos de cura, segundo a ABNT NBR 7200:1998, com 14 dias de cura para o assentamento de blocos, três dias de cura para o chapisco, além dos 21 dias de cura para o revestimento, à temperatura e à umidade ambiente.

Após a cura, os modelos experimentais de paredes foram protegidos com plástico impermeável e assim permaneceram até a realização do ensaio. Esses modelos não receberam nenhum tipo de tinta nas suas superfícies.

3.3.4 Aspectos da execução do ensaio de estanqueidade

O procedimento para a execução do ensaio de estanqueidade é apresentado de forma resumida, conforme o fluxograma, representado na Figura 65.

Figura 65 - Fluxograma da execução do ensaio de estanqueidade.



Fonte: A autora, 2018.

Antes de iniciar o ensaio de estanqueidade foi necessário realizar alguns procedimentos como a marcação no lado interno de cada painel de alvenaria, a fim de delimitar a área correspondente de aspersão de água e pressão pneumática; a calibração da vazão da água por meio da medição de quantidade de saída de água por minuto de cada bico do aspersor; a fixação da câmara no lado externo dos painéis de alvenaria, com o auxílio de silicone, tarugos de madeira, barras rosqueáveis e porcas (Figura 66 e Figura 67); e determinar a pressão pneumática a ser aplicada.

Figura 66 - Aplicação de feixes de silicone nas bordas da câmara.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 67 - Fixação da câmara na parede.



Fonte: A autora, 2018.

Após a fixação da câmara na parede, todos os equipamentos que auxiliaram no ensaio foram conectados à câmara (Figura 68). Foi instalada também uma caixa prismática para o controle de luz, além da câmera fotográfica no lado interno (ou oposto) da parede, que auxiliaram na avaliação dos resultados do ensaio (Figura 69).

Figura 68 - Aparelhagem conectada à câmara.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 69 - Caixa prismática e câmera fotográfica.



Fonte: A autora, 2018.

O início do ensaio de estanqueidade ocorreu de fato com o acionamento simultâneo da bomba d'água, do compressor de ar e do cronômetro. A partir de então, foram executados registros fotográficos, de 15 em 15 min, do lado oposto da parede a uma distância padronizada de 1 m, a fim de analisar, posteriormente, a área de mancha úmida. Para cada registro fotográfico, era registrado também o tempo de ensaio.

A duração do ensaio, conforme a ABNT NBR 15575:2013, é estipulada em 7 horas. Porém, para esse trabalho foi adotada a tolerância de até 5 horas, caso não houvesse o surgimento de mancha úmida até as sete primeiras horas de ensaio. Dessa forma, o ensaio transcorreu em um intervalo de no mínimo 7 horas a no máximo 12 horas. O máximo de 12 horas seguidas de ensaio foi assim definido, pois não se podia forçar a bomba d'água por um tempo superior a este. A extrapolação adotada teve como função verificar o tempo de aparecimento da primeira mancha úmida.

Após cada registro fotográfico, foi observado se havia surgimento de mancha úmida. Quando não havia manchas e o tempo de ensaio não ultrapassava 12 horas, o ensaio prosseguia normalmente, ou seja, a aspersão de água e ar continuava sendo aplicada. Caso houvesse mancha, era registrada a hora do ensaio em que ocorria a primeira mancha. A partir da segunda mancha úmida detectada, deixava-se o ensaio prosseguir até a hora mínima (7 horas), caso o

surgimento da primeira mancha ocorresse antes das 7 horas, ou até a próxima hora inteira (8, 9, 10, 11 ou 12 horas), caso o surgimento da primeira mancha ocorresse após as 7 horas.

Decorrido o tempo de ensaio necessário, a bomba d'água, o compressor de ar e o cronômetro eram desativados simultaneamente. Logo em seguida, a área úmida era demarcada com giz de cera na própria parede e registrava-se a última fotografia.

Os registros fotográficos durante o ensaio tinham o intuito de mostrar a evolução de mancha e calcular a percentagem de mancha em relação à área de aspersão de água, em momentos distintos e não apenas do final do ensaio. Com as fotografias foi possível desenvolver um método digital de contagem dessas porcentagens de manchas, visto com mais detalhes nos itens 3.3.8 e 3.3.9. Com a demarcação com giz de cera da área úmida ao final do ensaio, foi possível calcular e comparar as porcentagens entre os métodos manual e digital.

Após o cálculo da percentagem das áreas úmidas seguindo as prescrições do Anexo F da ABNT NBR 15575-4:2013, conforme apresentado na Tabela 10 é realizada a análise dos níveis de desempenho quanto à estanqueidade da água de chuva para os sistemas verticais de vedação externa (svve) de diferentes tipos de edificações.

Tabela 10 - Níveis de desempenho para a estanqueidade à água de vedações verticais externas (fachadas) e esquadrias.

Edificação	Tempo de ensaio h	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo-de-prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio	Nível de desempenho
Térrea (só a parede de vedação)	7	10	M
		Sem manchas	I; S
Com mais de um pavimento (só a parede de vedação)	7	5	M
		Sem manchas	I; S
Esquadrias	Atender à ABNT NBR 10821		M

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013.

As siglas M, I e S correspondem aos níveis de desempenho mínimo, intermediário e superior, respectivamente. A mesma norma estabelece que os níveis mínimos (M) de desempenho de cada requisito devem ser atendidos e os níveis intermediário (I) e superior (S) são considerados passíveis de melhoria de qualidade.

A análise da estanqueidade foi realizada por meio do percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área submetida à aspersão da água, conforme o Anexo F da ABNT NBR 15575-4:2013. Chamamos essa área de retângulo de balizador, como mostra a Figura 70. As marcações mais externas serviram apenas de auxílio.

Figura 70 - Área correspondente à aspersão de água e à pressão pneumática interna da câmara ou retângulo balizador.



Fonte: A autora, 2018.

NCMA Research And Development Laboratory (2007) relata a análise feita somente dentro da delimitação, assim como outros tantos autores, que indicam figuras com as marcações das delimitações, apesar de não as relatarem.

Neste trabalho, a resistência à penetração da água de chuva foi avaliada em paredes novas, ou seja, que sofreram pouca ou nenhuma influência do meio ambiente, como a exposição ao calor e ao frio, desde o momento em que foram construídas.

As áreas úmidas, ao final de cada ensaio, foram observadas de hora em hora, apenas com auxílio do método digital.

Após a finalização do ensaio, a câmara era removida da parede e, antes de ser fixada novamente ao próximo painel a ser testado, os bicos do aspersor de água eram lavados a fim de garantir a constância do fluxo d'água previamente estabelecido.

Quanto às condições da água, foi utilizada água limpa, de torneira, distribuída e tratada pela concessionária local, o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE, MG), e não houve registro da temperatura da água.

3.3.5 Calibração do fluxo de água

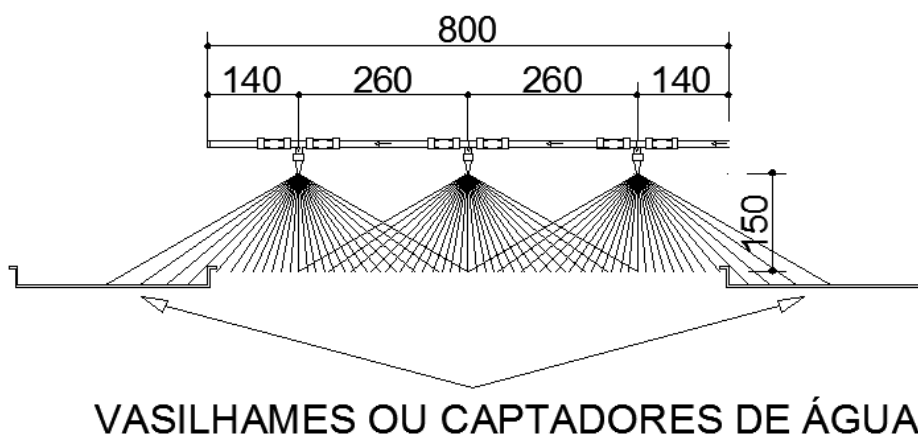
Com a câmara pronta para ser utilizada, antes de iniciar o ensaio, foi necessário calibrar o fluxo de água para verificar se a vazão mostrada pelo Arduino era compatível com a vazão real.

As condições de ensaio exigidas pela NBR 15575:2013 dizem que a vazão deve ser igual a 3 l/min em 1 m². No caso dessa pesquisa, como a área de molhagem constante é de 0,536 m² (justificada e representada no item 3.3.2), a vazão proporcional é igual a 1,61 l/min.

Como citado anteriormente, foram realizados testes com o tubo aspersor de água pela mesa de distribuição e percebeu-se que a uma distância de 150 mm do alvo (parede) a água era melhor distribuída conforme a disposição dos bicos na tubulação construída (Figura 49 e Figura 50 do item 3.3.2.1).

Com essa distância definida, foram realizados novos testes, porém limitando o espaçamento longitudinal a 800 mm, conforme a largura interna da câmara. E como o espalhamento da água ultrapassa essa largura, foi registrada sua perda em ml/min através de vasilhames que captavam além da distância de 800 mm (Figura 71).

Figura 71 - Disposição dos vasilhames e aspersor para o registro da perda de água (dimensões em milímetros).



Fonte: A autora, 2018.

Além dessas perdas, foi averiguado se o somatório dos três bicos subtraído da perda seria próximo da vazão de 1,61 l/min. Simultaneamente, observava-se a vazão marcada pelo Arduino.

Em todos os cinco testes, realizados de igual forma, observou-se que a média da vazão real foi de 1,61 l/min, com o Arduino marcando 2,00-2,18 l/min em todos os testes. Assim, o código do fluxo de água instalado no Arduino foi corrigido aplicando-se um fator multiplicador igual a 0,77, segundo a expressão 8.

$$\text{Fator multiplicador} = \frac{\text{Vazão Real}}{\text{Vazão Arduino}} = \frac{1,61}{2,09} = 0,77 \quad (8)$$

O Apêndice F apresenta o código da vazão de água apresentado no Arduino e o Apêndice G os valores da calibração inicial (com as perdas) e os valores das calibrações periódicas, realizadas após ensaios de estanqueidade.

As alturas da bomba e do aspersor e a abertura do registro devem ser os mesmos do teste de calibragem para não haver diferença por perda de carga, ou seja, diferença de pressões.

3.3.6 Pressão pneumática interna da câmara

Como mostrado no item 2.6, para a realização do ensaio de estanqueidade segundo a ABNT NBR 15575-4:2013 deve-se produzir uma pressão pneumática interna na câmara em função do posicionamento geográfico da obra no Brasil, com um máximo de 50 Pa.

Ao avaliar a norma de vento brasileira (ABNT NBR 6123:1988) e considerando as velocidade básica de vento (v_0) máxima, igual a 50 m/s², para um período de retorno de dez anos, a pressão pneumática (q) adotada foi de 400 Pa, cerca de 8 vezes maior que a pressão máxima estipulada pelo ensaio de estanqueidade (50 Pa). Esse valor elevado se assemelha aos valores estipulados pela ASTM E 514:2011. Da mesma forma, porém considerando a velocidade básicas de vento mínima, igual a 30 m/s², chegou-se a pressão pneumática de 144 Pa, aproximadamente 14 vezes maior que a pressão mínima (10 Pa) estipulada pela ABNT NBR 15.575:2013. Os cálculos e considerações constam no Apêndice I.

3.3.7 Fixação da câmara

Para a fixação da câmara em cada painel externo de alvenaria, foi necessário centralizar e nivelar a câmara para realizar as marcações das posições dos furos contidos nas bordas da câmara.

Com o auxílio de uma furadeira e uma broca longa (250 mm de comprimento), foram feitos 12 furos por painel de alvenaria em 12 painéis, somando um total de 144 furos. Os furos dos painéis têm diâmetros compatíveis com o da câmara (igual a 8 mm).

Antes da fixação da câmara na parede, foram aplicados dois feixes de silicone nas bordas da própria câmara e assim ela foi devidamente fixada ao painel de alvenaria, com o auxílio de tarugos de madeira, arruelas, porcas e chaves de boca. O tarugo garantia maior ajuste da câmara junto à parede, causando inclusive deformação nos tarugos.

Posteriormente, as juntas da interface parede-câmara foram vedadas com silicone, para que não houvesse qualquer tipo de escape, de ar ou de água. Recomenda-se aplicar o silicone no mínimo duas horas antes da realização do ensaio, para garantir sua completa secagem.

A cera de abelha foi preparada, como sugerido pela ABNT NBR 15575-4:2013, no lugar do silicone. Porém, percebeu-se que a cera não foi eficaz.

3.3.8 Verificação da área úmida

Durante o ensaio de estanqueidade à água de chuva em svve, há possibilidade de aparecimento de manchas úmidas no lado oposto da parede. Assim, torna-se necessário verificar a percentagem da área de umidade em relação à área de molhagem constante.

Para essa análise, atribuíram-se dois métodos diferentes: o método manual, onde o operador faz a medição através de uma área conhecida; e o método digital, onde a área é analisada por meio de imagem obtida com uma câmera fotográfica. Os dois métodos foram aplicados para compará-los quanto à eficiência e precisão dos resultados, já que a ABNT NBR 15575-4:2013 não cita nenhuma metodologia para a verificação da área de umidade.

O método manual consistiu em sobrepor uma folha transparente com marcações em centímetros quadrados, onde um operador realizou a contagem dos quadrados compreendidos pela porção da mancha. Nas situações em que o quadrado era parcialmente coberto, era atribuído um valor de fração correspondente, intuitivamente. Assim, por meio do somatório dos quadrados e suas frações determinou-se a área total da mancha. Esse método foi utilizado apenas para efeito de comparação com o método digital.

O método digital consistiu em fotografar o lado oposto ou interno da parede, em determinados intervalos de período, a uma distância de aproximadamente 1 metro da lente da câmera digital Sony de modelo DSC-H200 e com a distância focal (ferramenta de zoom) fixada (Figura 72). Assim, por tratamento de imagens, identificava-se por número de pixels a quantidade de mancha úmida (Figura 73).

Figura 72 - Distância focal de 1 metro.



Fonte: A autora, 2018.

Figura 73 - Fotografias da evolução das áreas de manchas úmidas do ensaio no painel de traço 1:3:12 da Parede 2 adotando 144 Pa de pressão pneumática: (a) 1 h de ensaio – surgimento da 1ª mancha, (b) 3 horas, (c) 5 horas e (d) 7 horas de ensaio.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: A autora, 2018.

O programa desenvolvido deste trabalho para o tratamento de imagens foi realizado no software MatLab ® é apenas uma ferramenta de auxílio e não identifica manchas úmidas automaticamente, tendo que ser operado para gerar resultados. Esse programa tem a finalidade de apenas tornar mais rápida a contagem do somatório de áreas de mancha úmida, tornando-a menos sujeita a erros.

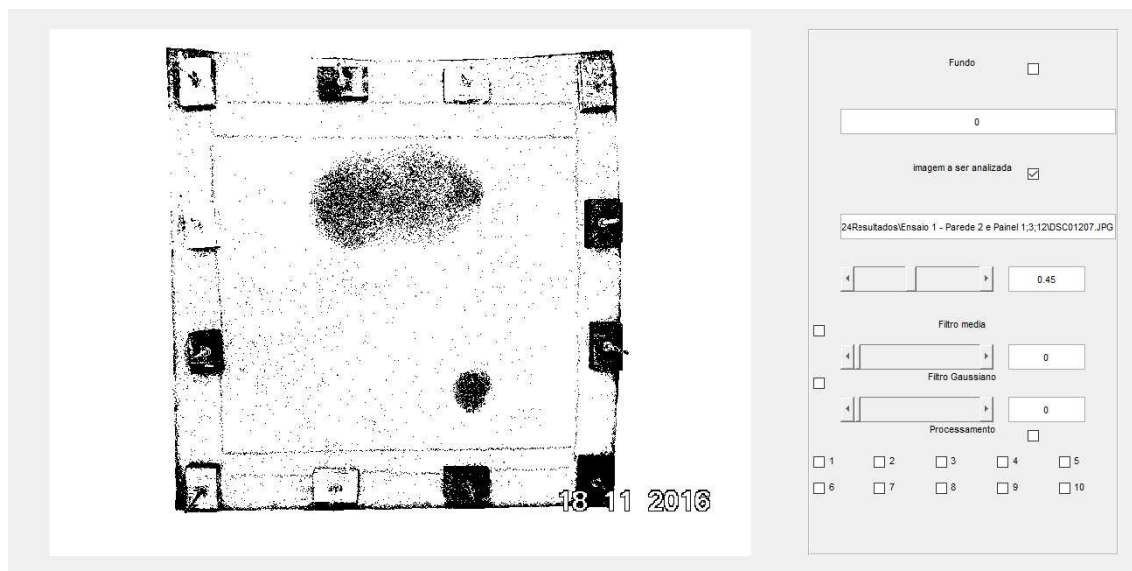
O programa foi desenvolvido em seis etapas: a primeira corresponde à seleção da imagem a ser tratada; a segunda refere-se à transformação da imagem colorida em preto e branco e conseqüentemente a segmentação da imagem; a terceira é opcional e trata-se da sobreposição da imagem a ser tratada sobre a imagem inicial do ensaio; a quarta refere-se ao melhoramento da qualidade da imagem; a quinta etapa corresponde à identificação das manchas úmidas, catalogando-as em números cardiais; e a sexta etapa corresponde ao cálculo da percentagem das áreas identificadas (manchas).

Na primeira etapa, a imagem a ser tratada é selecionada, escolhendo-se o arquivo digital.

Na segunda etapa, há a segmentação pelo método de Threshold, onde foi aplicado apenas um limiar na imagem convertida em níveis de cinza. Esse limiar atribui o valor zero para valores de cada pixel abaixo do limiar e valor 1 para valores acima desse limiar. Neste trabalho, a imagem binária permitiu distinguir duas populações ou classes de pixels: a mancha (simbolizando os pontos úmidos na parede), pela cor preta, e o fundo (simbolizando os pontos secos), pela cor branca. O Threshold é ativado regulando a sua barra correspondente ou digitando valores.

A *interface* do programa é apresentada na Figura 74 representando as etapas correspondentes à seleção e à segmentação da imagem.

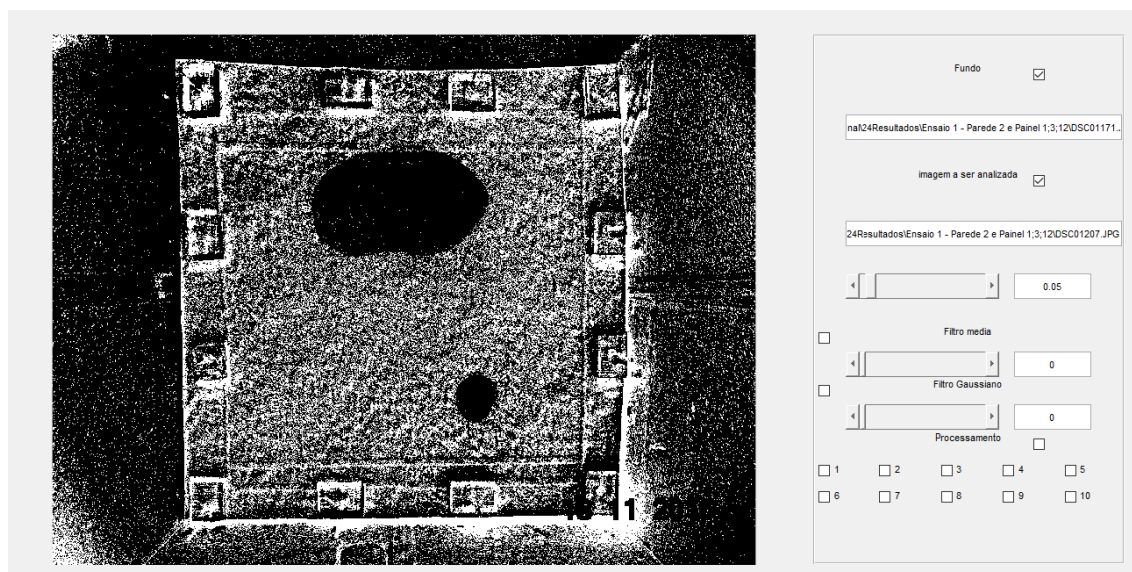
Figura 74 - Seleção e segmentação da imagem.



Fonte: A autora, 2018.

Na terceira etapa, é opcional a sobreposição de imagem final (com manchas úmidas) sobre a imagem inicial (sem mancha úmida) do ensaio de estanqueidade. Contudo faz se necessária essa sobreposição, se a área da parede apresentar manchas mais escuras nas argamassas relacionadas à execução do revestimento. Na Figura 75 apresenta-se a aplicação da sobreposição das imagens.

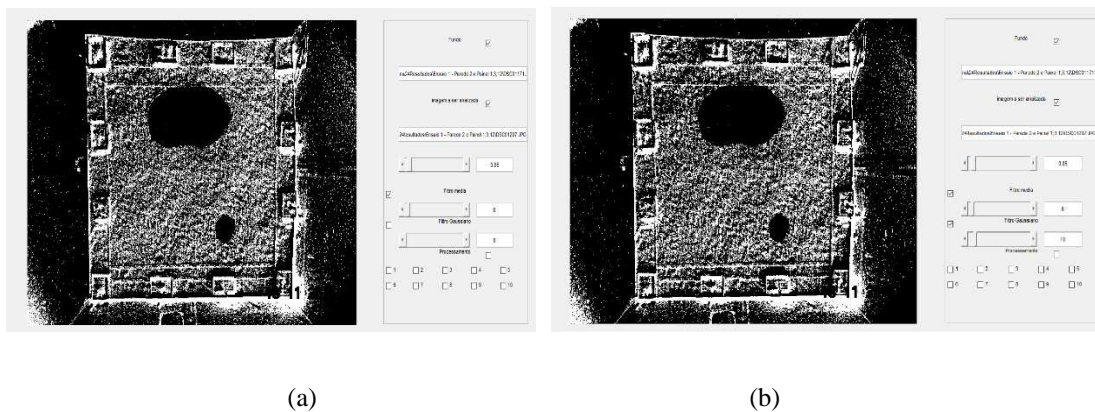
Figura 75 - Sobreposição de imagens.



Fonte: A autora, 2018.

Na quarta etapa, aplicam-se os filtros de média e gaussiano, que calculam a média da intensidade ou o brilho de um pixel entre seus vizinhos. Como a imagem é monocromática, há apenas a cor preta ou a branca, desse modo é mais fácil determinar a cor sobressalente. Assim, na mancha preta são eliminados os ruídos (pontos) brancos e nas regiões brancas são eliminados os ruídos pretos. Na Figura 76 apresenta-se o melhoramento da qualidade da imagem.

Figura 76 - Melhoramento da qualidade da imagem: (a) pelo filtro de média e (b) pelo filtro gaussiano.



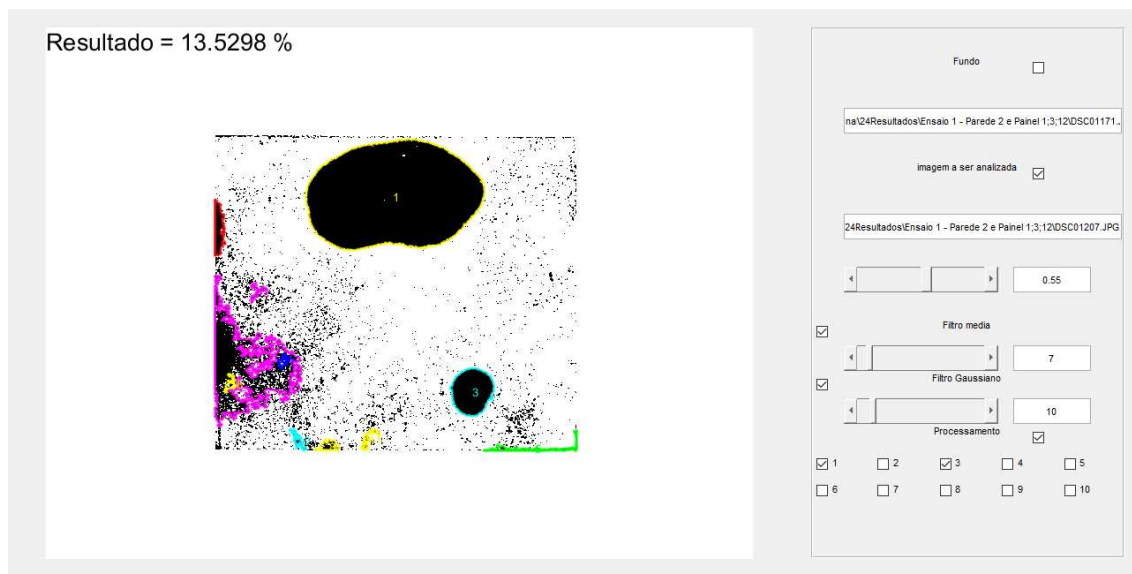
Fonte: A autora, 2018.

A quinta etapa trata da identificação do que realmente é mancha úmida, já que a fotografia não consiste apenas de argamassa seca e argamassa úmida, mas também de sombreamentos causados pelos tarugos de madeira, que acabam sendo identificados como “manchas úmidas”. Assim, ao identificar todas as áreas de manchas pretas (manchas úmidas + sombreamentos), esses são codificados por números. Assim, são selecionados apenas os números que representam as manchas úmidas.

Por último, na sexta etapa, foi realizada a conversão do número de pixels em percentagem de área de mancha úmida. Essa percentagem é calculada sobre a área molhada onde há aspersion constante de água e ar.

Na Figura 77 apresentam-se a delimitação e numeração das áreas úmidas e o resultado da soma das áreas identificadas.

Figura 77 - A delimitação e a numeração das áreas úmidas e apresentação do resultado da soma das áreas identificadas.



Fonte: A autora, 2018.

É importante salientar que foi gerado um quadrado de referência no *software* AutoCad® (versão 2016), com dimensões conhecidas e precisas, a fim de ser utilizado como calibração dos resultados digitais, ou seja, para confirmar se as áreas das manchas detectadas pelo método digital possuem valores compatíveis com a realidade. Esse quadrado foi impresso, colado na superfície da parede e fotografado no final de cada ensaio, juntamente com as manchas, como mostrado na Figura 78.

Figura 78 - Quadrado com dimensões conhecidas para calibrar método digital de contagem



Fonte: A autora, 2018.

Deve-se salientar a necessidade do controle das condições para a realização dos métodos manuais e digitais, uma vez que quaisquer mudanças nessas condições acarretarão em alterações nos resultados. As principais condições observadas e dotadas foram:

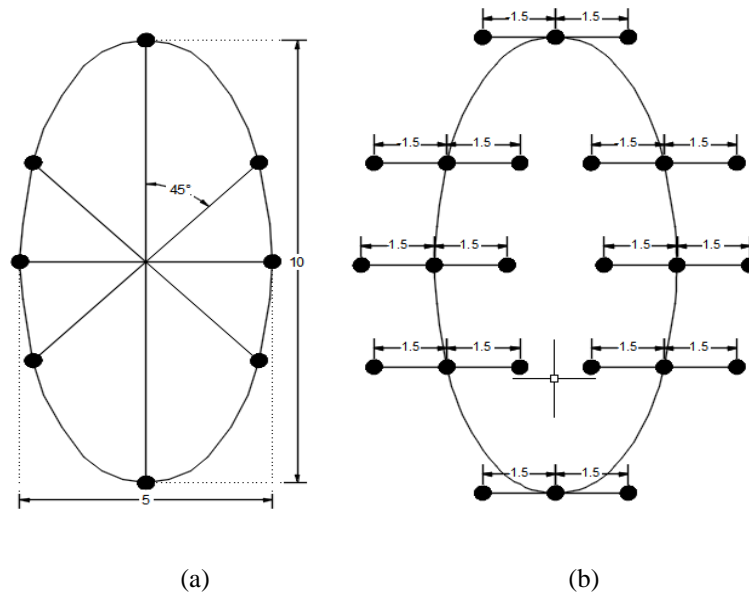
- Realizar as análises do método manual por um único operador, para que as considerações das frações dos quadrados tendem a permanecer as mesmas em todas as análises, já que o método depende da visão e subjetividade de cada operador;
- A câmera fotográfica e o computador utilizados no método digital devem ser os mesmos para evitar erros de medição. Além disso, a distância focal (ferramenta de zoom), bem como uma distância da câmera ao objeto e a lâmpada devem ser os mesmos para evitar diferenças nas imagens;

3.3.9 Análise de erros dos métodos

Com o intuito de investigar a eficiência do cômputo de áreas de manchas úmidas pela metodologia digital junto à manual, realizou-se um estudo comparando esses métodos com a área real. Assim, foi proposto analisar regiões com dimensões conhecidas. Tendo em vista a precisão do *software* AutoCad ® (versão 2016), foi possível considerar as áreas em cm² calculadas como corretas ou exatas, sendo essas utilizadas como base para o cálculo dos erros.

Como se sabe, manchas de água sobre qualquer superfície têm formatos aleatórios com contornos geralmente curvos. Assim, adotou-se deformar elipses, transformando-as em manchas. Foi gerada uma elipse de 5 unidades no menor eixo e 10 unidades no maior eixo e sobreposta em 4 retas defasadas de 45 graus entre elas, como demonstradas na Figura 79-a. Os pontos de interseções da elipse com as retas foram variados randomicamente entre -1,5 e 1,5 unidades na horizontal, como mostrado na Figura 79-b.

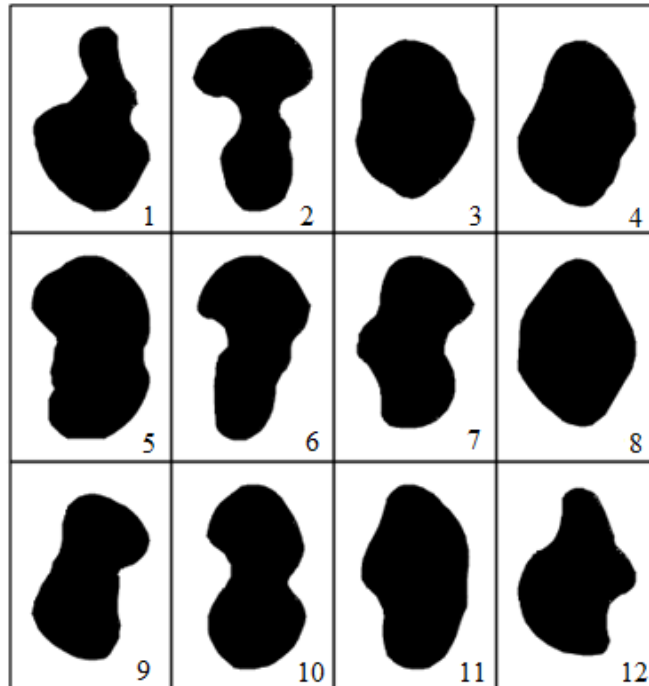
Figura 79 - Método para transformar as elipses em manchas



Fonte: A autora, 2018.

Seguindo esse método foram criadas 12 manchas, como representadas pela Figura 80 as quais foram escalonadas intrinsicamente em um quadrado de 15,0 x 23,7 cm. Além disso, foi gerado um quadrado de referência com essas dimensões para ser utilizado como calibração.

Figura 80 - 12 manchas geradas pelo AutoCAD ®.



Fonte: A autora, 2018.

Posteriormente, essas manchas foram impressas onde se aplicou a metodologia manual e digital de contagem.

De posse dos valores das áreas em cm² consideradas exatas (geradas pelo *software* AutoCad ®, versão 2016) e dos valores dos métodos manual e digital, foi possível compará-los, como apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Áreas diagnosticadas das manchas.

Imagem	AutoCAD ®	Manual (precisão em cm ²)		Digital		Pixels
	Área correta (cm ²)	Área (cm ²)	% erro	Área (cm ²)	% erro	
Ref	355,5	-----	-----	-----	-----	8770602
1	205,24298	203,542	0,82873	205,41626	0,08443	5067860
2	210,05512	230,355	-9,66408	213,99015	1,87333	5279388
3	222,28370	243,32	-9,46372	225,37404	1,39027	5560242
4	225,59782	242,416	-7,45495	228,16301	1,13706	5629049
5	267,07851	291,75	-9,23755	270,56229	1,30440	6675089
6	211,82646	229,783	-8,47704	215,19982	1,59251	5309232
7	214,82674	235,033	-9,40586	215,47439	0,30148	5316006
8	229,82192	238,73	-3,87609	231,49605	0,72844	5711279
9	196,36065	196,045	0,14038	197,29256	0,47459	4867439
10	224,82671	221,613	1,42941	225,30319	0,21193	5558494
11	234,96139	228,506	2,73497	236,44940	0,63330	5833484
12	198,94484	184,907	7,05613	200,64911	0,85666	4950249
		Média	-3,78247	Média	0,882367	

Fonte: A autora, 2018.

De acordo com os resultados acima, a média das áreas encontradas pelo método manual apresentou um erro de 3,782%, enquanto que pelo método digital apresentou um erro de 0,882%, em relação à área considerada como correta. Logo, constatou-se que o erro do método manual é cerca de 2,9% maior em relação ao método digital (SATHLER *et al.*, 2016).

De acordo com ABNT NBR 15.575-4:2013, o percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade encontradas na face oposta à área de incidência de água não deve exceder 5 % para edificações com mais de um pavimento e 10 % para edificações térreas. Tendo em vista que o erro do método manual é cerca de 2,9 % superior ao do método digital, pode-se observar que se trata de um valor relevante se comparado com os critérios estabelecidos pela norma (5 % e 10%). A diferença de precisão entre os métodos de avaliação da área úmida pode

levar a uma interpretação equivocada dos resultados do ensaio de estanqueidade (SATHLER *et al.*, 2016).

O programa de tratamento de imagens foi desenvolvido no Laboratório de Materiais de Construção (LMC), do Departamento de Engenharia Civil, e no Departamento de Engenharia Elétrica, ambos da UFV.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões da investigação das análises dos ensaios de estanqueidade e das relações das propriedades das argamassas com o ensaio de estanqueidade.

4.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA ESTANQUEIDADE

Durante a realização do ensaio de estanqueidade as áreas úmidas foram monitoradas a cada 15 minutos com o processamento das imagens capturadas pela câmera digital. No entanto, para representar de forma sintética a evolução das áreas úmidas nos modelos experimentais de paredes optou-se por registrar o percentual dessas áreas a cada hora. Para atender aos requisitos da ABNT NBR 15.575:2013 foi registrado o tempo de surgimento da primeira mancha úmida e a percentagem do somatório de mancha úmida ao final do ensaio.

Os resultados foram agrupados em função: dos painéis com características semelhantes, indicados no item 4.1.1; das diferentes pressões pneumáticas injetadas no interior da câmara, apresentado no item 4.1.2; e dos diferentes traços de argamassas, mostrado no item 4.1.3.

De acordo com a ABNT NBR 15.575-4:2013 as limitações de 10% e 5%, descritas nos diagramas pelas retas horizontais tracejadas em vermelho e azul, representam a percentagem máxima das somas das áreas úmidas, em edificações térreas e em edificações com mais de um pavimento, respectivamente. A limitação de 7 horas, representada pela reta vertical tracejada em verde, estipula a duração do ensaio.

No presente trabalho foram descartados 3 dos 24 ensaios de estanqueidade, sendo dois desses ensaios correspondentes ao painel de traço 1:1:6 da Parede 4 e submetidos às pressões pneumáticas de 144 Pa e 400 Pa e o terceiro, corresponde ao mesmo traço 1:1:6 da Parede 1, submetido à pressão pneumática de 400 Pa. Isto se deu devido à inconsistência na produção da argamassa e por falha de equipamento.

4.1.1 Resultado de painéis com características semelhantes

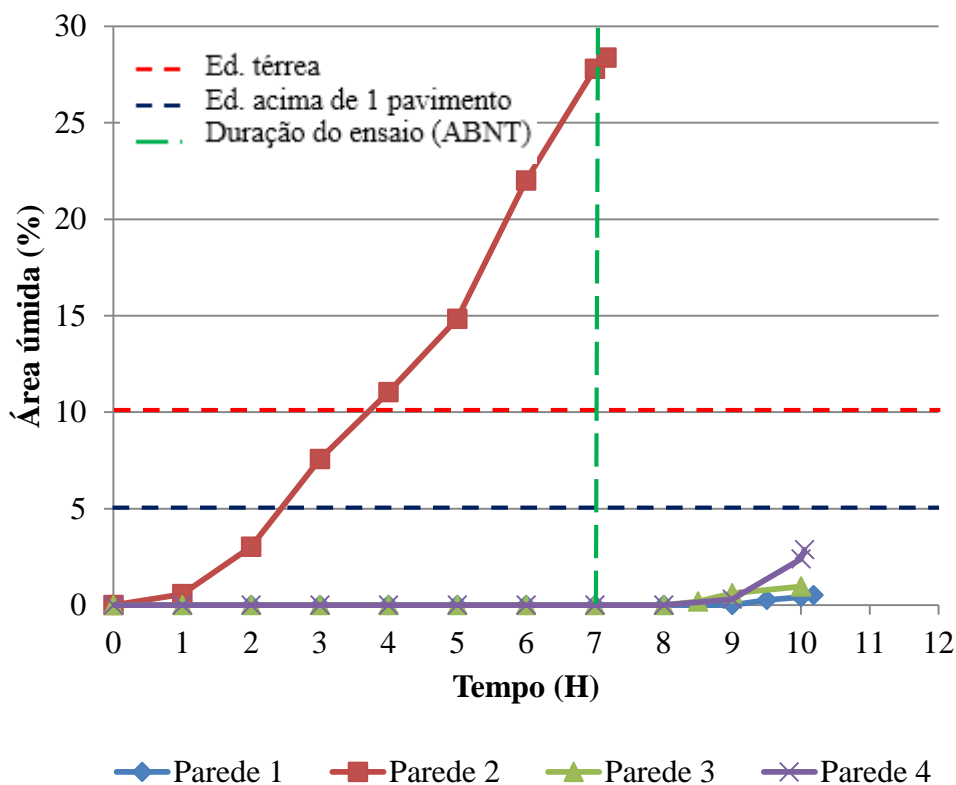
Nos itens 4.1.1.1 a 4.1.1.3 são apresentados os resultados dos modelos de paredes submetidos à pressão pneumática de 144 Pa e nos itens 4.1.1.3 a 4.1.1.6 são apresentados aqueles submetidos à pressão pneumática de 400 Pa.

Após a finalização de cada ensaio foi possível observar um avanço da mancha de umidade na superfície da parede, ou seja, um aumento de área úmida. Como mencionado no item 3.3.4, o registro fotográfico foi realizado no instante do desligamento da câmara de estanqueidade e após a demarcação com giz de cera, a fim de permitir a comparação com o método manual. Por isso, os gráficos apresentados neste item possuem dois pontos ao final de cada ensaio, que representam esse crescimento da área úmida.

4.1.1.1 Painel de traço 1:3:12 com pressão pneumática de 144 Pa

Na Figura 81 apresenta-se a evolução da percentagem de área úmida em função do tempo para os painéis de traço 1:3:12 submetidos à pressão pneumática de 144 Pa no interior da câmara.

Figura 81 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:3:12 com 144 Pa de pressão pneumática



Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 12 apresenta-se também os tempos de aparecimento da primeira mancha e os tempos de duração dos ensaios para os quatro modelos de paredes.

Tabela 12– Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:3:12 com 144 Pa.

Painéis	Parede	Tempo de ensaio (Tempo mínimo)	Tempo excedido	Tempo do aparecimento da primeira mancha úmida
1:3:12	1	7 h	3 h	9:30 h
	2	7 h	-	1:00 h
	3	7 h	3 h	8:00 h
	4	7 h	3 h	9:00 h

Fonte: A autora, 2018.

Para as quatro paredes ensaiadas com 144 Pa de pressão pneumática em painéis de traço 1:3:12, foi observado que apenas o somatório de manchas úmidas na Parede 2 extrapolou o limite de 10%, correspondente a percentagem máxima das edificações térreas, com menos de 4

horas de ensaio. Observou-se que essa também foi a única parede que apresentou aparecimento da primeira mancha durante a primeira hora de ensaio.

Para as Paredes 1, 3 e 4 não houve aparecimento de manchas úmidas detectadas até às 7 horas de ensaio e por isso os ensaios nessas paredes foram realizados até a próxima hora cheia após o surgimento da primeira mancha.

A fim de exemplificar os resultados obtidos nos ensaios de estanqueidade, na Figura 82 pode-se observar a evolução das áreas úmidas ao longo do ensaio do painel de traço 1:3:12 da Parede 2, com 144 Pa de pressão pneumática, indicando ao final do ensaio aproximadamente 28,0 % de área úmida, referente à área do retângulo interno (retângulo balizador) como citado na metodologia.

Figura 82 - Evolução das manchas úmidas durante o ensaio do painel de traço 1:3:12 - Parede 2 com pressão pneumática de 144 Pa.



a) 0 horas – 0,00%



b) 1 hora – 0,56%



c) 2 horas – 3,02%



d) 3 horas – 7,57%



e) 4 horas – 11,04%



f) 5 horas – 14,83%



g) 6 horas – 22,00%



h) 7 horas – 27,80%

Fonte: A autora, 2018.

4.2.1.2 Paineis de traço 1:2:9 com pressão pneumática de 144 Pa

Não houve manchas úmidas apresentadas nos painéis 1:2:9 submetidos a 144 Pa de pressão pneumática, mesmo extrapolando o tempo de ensaio até 12 horas. Na Tabela 13 observam-se os tempos de duração dos ensaios e a inexistência de mancha úmida para os tempos decorridos.

Tabela 13 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:2:9 com 144 Pa.

Painéis	Parede	Tempo de ensaio (Tempo mínimo)	Tempo excedido	Tempo do aparecimento da primeira mancha úmida
1:2:9	1	7 h	5 h	-
	2	7 h	5 h	-
	3	7 h	5 h	-
	4	7 h	5 h	-

Fonte: A autora, 2018.

Na Figura 83 comprova-se a inexistência dessas manchas.

Figura 83 - Paineis de traço 1:2:9 - Parede 2 com pressão pneumática de 144 Pa, sem manchas úmidas.



a) 0 horas – 0%



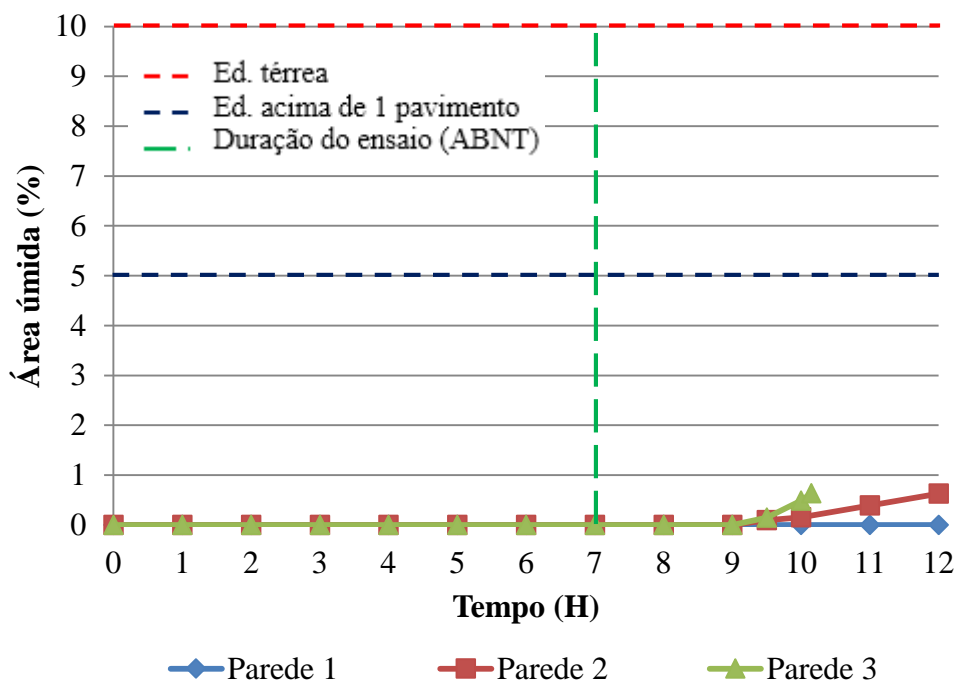
b) 12 horas – 0%

Fonte: A autora, 2018.

4.2.1.3 Paineis de traço 1:1:6 com pressão pneumática de 144 Pa

Na Figura 84 apresenta-se a evolução da percentagem de área úmida em função do tempo para os painéis de traço 1:1:6 submetidos à pressão pneumática de 144 Pa no interior da câmara.

Figura 84 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:1:6 com 144 Pa de pressão pneumática.



Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 14 também observa-se os tempos de surgimento da primeira mancha e os tempos decorridos dos ensaios em cada modelo de parede.

Tabela 14 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:1:6 com 144 Pa.

Painéis	Parede	Tempo de ensaio (Tempo mínimo)	Tempo excedido	Tempo do aparecimento da primeira mancha úmida
1:1:6	1	7 h	5 h	-
	2	7 h	5 h	9:30 h
	3	7 h	3 h	9:30 h

Fonte: A autora, 2018.

Para as três paredes correspondentes ao traço 1:1:6 e submetidas a pressão pneumática de 144 Pa apresentadas na Figura 84 não foi possível observar mancha úmida nas primeiras 7 horas de ensaio (tempo mínimo). Contudo após 9:30 horas apareceu mancha úmida nas Paredes 2 e 3 e não houve surgimento de mancha na Parede 1 até às 12 horas.

A fim de exemplificar os resultados obtidos nos ensaios de estanqueidade, na Figura 85 apresentou-se a evolução das áreas úmidas ao longo do ensaio do painel de traço 1:1:6

da Parede 3, com 144 Pa de pressão pneumática, indicando ao final do ensaio aproximadamente 0,5% de área úmida, correspondente à área oposta à incidência de água.

Figura 85 - Evolução das manchas úmidas durante o ensaio do painel de traço 1:1:6 - Parede 3 com pressão pneumática de 144 Pa



a) 0 horas – 0%



b) 10 horas – 0,49%

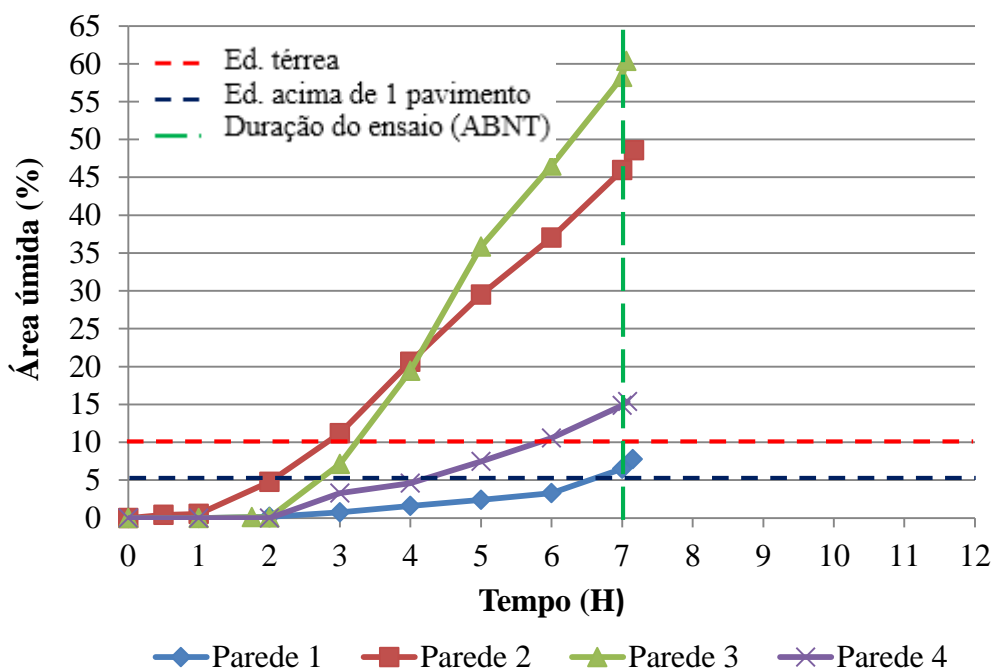
Fonte: A autora, 2018.

4.2.1.4 Painel de traço 1:3:12 com pressão pneumática de 400 Pa

Os resultados referentes à pressão de 400 Pa apresentados pelas Figura 86 a Figura 90 estão mais próximos da metodologia proposta ASTM E 514:2011, por serem realizados com pressão pneumática de 500 Pa da ASTM.

Na Figura 86 apresenta-se a evolução da percentagem de área úmida em função do tempo para os painéis de traço 1:3:12 submetidos à pressão pneumática de 400 Pa no interior da câmara.

Figura 86 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:3:12 com 400 Pa de pressão pneumática



Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 15 observam-se também os tempos de surgimento da primeira mancha e os tempos decorridos dos ensaios em cada modelo de parede.

Tabela 15 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:3:12 com 400 Pa.

Painéis	Parede	Tempo de ensaio (Tempo mínimo)	Tempo excedido	Tempo do aparecimento da primeira mancha úmida
1:3:12	1	7 h	-	3:00 h
	2	7 h	-	0:30 h
	3	7 h	-	1:45 h
	4	7 h	-	3:00 h

Fonte: A autora, 2018.

Para as quatro paredes ensaiadas submetidas a 400 Pa de pressão pneumática em painéis de traço 1:3:12, observou-se que o somatório de manchas úmidas em 7 horas de ensaio das paredes 2, 3 e 4 extrapolaram o limite máximo de 10%, correspondente ao percentual das edificações térreas, sendo as Paredes 2 e 3 as que mais se distanciaram desse limite, apresentando cerca de 46% e 58%, respectivamente, de umidade. Além disso, foi observado que o aparecimento das primeiras manchas ocorreu mais cedo, se comparado às Paredes 1 e 4. Assim, dentre as quatro paredes, a Parede 1 foi a que melhor se comportou quanto à

estanqueidade, apresentando-se com cerca de 6,5 % de umidade e portanto, excedendo o limite mínimo (5%) próximo ao final do ensaio (7 horas).

A fim de exemplificar os resultados obtidos nos ensaios de estanqueidade, na Figura 87 pode-se observar a evolução das áreas úmidas ao longo do ensaio do painel de traço 1:3:12 da Parede 2, com 400 Pa de pressão pneumática, indicando ao final do ensaio aproximadamente 50,0 % de área úmida, referente à área do retângulo interno (retângulo balizador) como citado na metodologia.

Figura 87 - Evolução das manchas úmidas durante o ensaio do painel de traço 1:3:12 - Parede 2 com pressão pneumática de 400 Pa.



a) 0 horas – 0,00%



b) 1 hora – 0,54%



c) 2 horas – 4,75%



d) 3 horas – 11,18%



e) 4 horas – 20,61%



f) 5 horas – 29,51%



g) 6 horas – 37,04%



h) 7 horas – 45,95%

Fonte: A autora, 2018.

4.2.1.5 Painel de traço 1:2:9 com pressão pneumática de 400 Pa

Não houve manchas úmidas apresentadas nos painéis 1:2:9 submetidos a 400 Pa de pressão pneumática, mesmo extrapolando o tempo de ensaio até 12 horas. Na Tabela 16 observam-se os tempos de duração dos ensaios e a inexistência de mancha úmida para os tempos decorridos.

Tabela 16 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:2:9 com 400 Pa.

Painéis	Parede	Tempo de ensaio (Tempo mínimo)	Tempo excedido	Tempo do aparecimento da primeira mancha úmida
1:2:9	1	7 h	5 h	-
	2	7 h	5 h	-
	3	7 h	5 h	-
	4	7 h	5 h	-

Fonte: A autora, 2018.

Na Figura 88 comprova-se a inexistência dessas manchas.

Figura 88 - Fotos do painel de traço 1:2:9 – Parede 3 com 400 Pa, sem manchas úmidas.



a) 0 horas – 0%



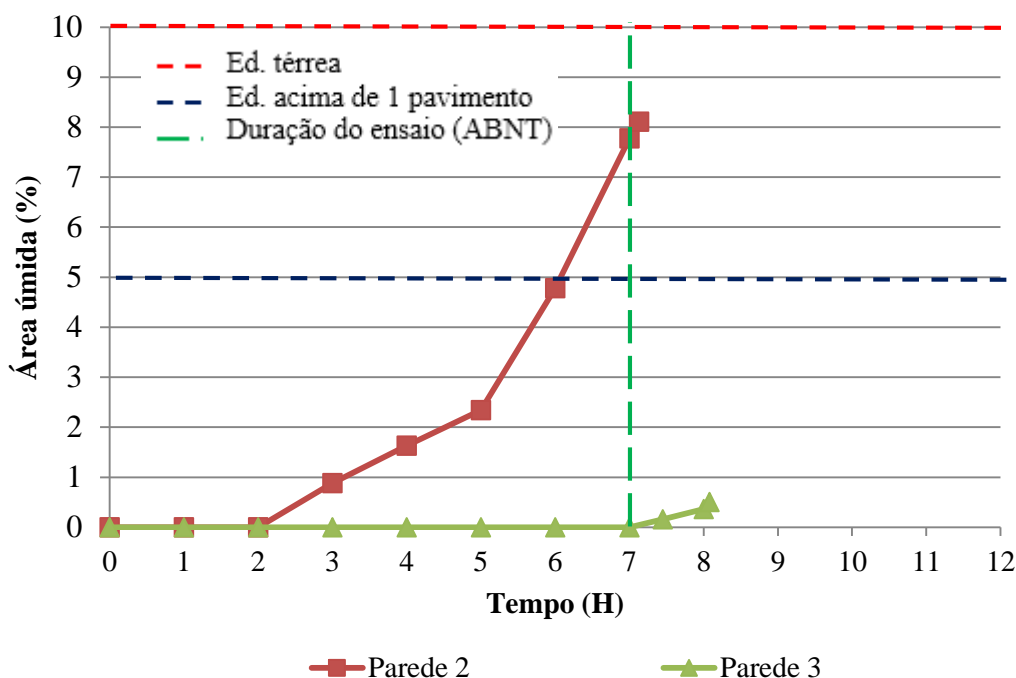
b) 0 horas – 0%

Fonte: A autora, 2018.

4.2.1.6 Painel de traço 1:1:6 com pressão pneumática de 400 Pa

Na Figura 89 apresenta-se a evolução da percentagem de área úmida em função do tempo para os painéis de traço 1:1:6 submetidos à pressão pneumática de 400 Pa no interior da câmara.

Figura 89 - Área úmida durante o ensaio dos painéis 1:1:6 com 400 Pa de pressão pneumática.



Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 17 apresentam-se também os tempos de surgimento da primeira mancha e os tempos decorridos dos ensaios em cada modelo de parede.

Tabela 17 - Tempos observados nos ensaios dos painéis 1:1:6 com 400 Pa.

Painéis	Parede	Tempo de ensaio (Tempo mínimo)	Tempo excedido	Tempo do aparecimento da primeira mancha úmida
1:1:6	2	7 h	-	3:00 h
	3	8 h	1 h	7:45 h

Fonte: A autora, 2018.

Dentre as duas paredes ensaiadas submetidas a pressão pneumática de 400 Pa em painéis de traço 1:1:6, foram observadas duas diferentes situações quanto ao somatório de manchas úmidas em 7 horas de ensaio: para a Parede 2, esse somatório extrapolou o limite mínimo (5%) de área úmida, porém atendeu o limite máximo (10%), enquanto que para a Parede 3 não houve aparecimento de mancha, apresentando assim melhor desempenho se comparado à Parede 2.

Como a Parede 3 não apresentou mancha úmida nas primeiras 7 horas, o ensaio foi extrapolado até a primeira hora cheia após o surgimento da primeira mancha, apresentando-se com o somatório $\leq 0,5\%$ em 8 horas de ensaio.

Na Figura 90 exemplifica-se a evolução da mancha do painel de traço 1:1:6 na Parede 2 com 400 Pa de pressão pneumática, indicando ao final do ensaio aproximadamente 8 % de área úmida, referente à área do retângulo interno (retângulo balizador). Além disso essa mesma figura mostra marcações ao fundo correspondentes ao resultado do somatório de manchas úmidas do ensaio com 144 Pa, realizado anteriormente.

Figura 90 - Percentagem da evolução das manchas durante o ensaio do painel de traço 1:1:6 – Parede 2 submetido à pressão pneumática de 400 Pa.



a) 0 horas – 0,00%



b) 1 hora – 0,00%



c) 2 horas – 0,00%



d) 3 horas – 0,88%



e) 4 horas – 1,63%



f) 5 horas – 2,34%



g) 6 horas – 4,78%



h) 7 horas – 7,78%

Fonte: A autora, 2018.

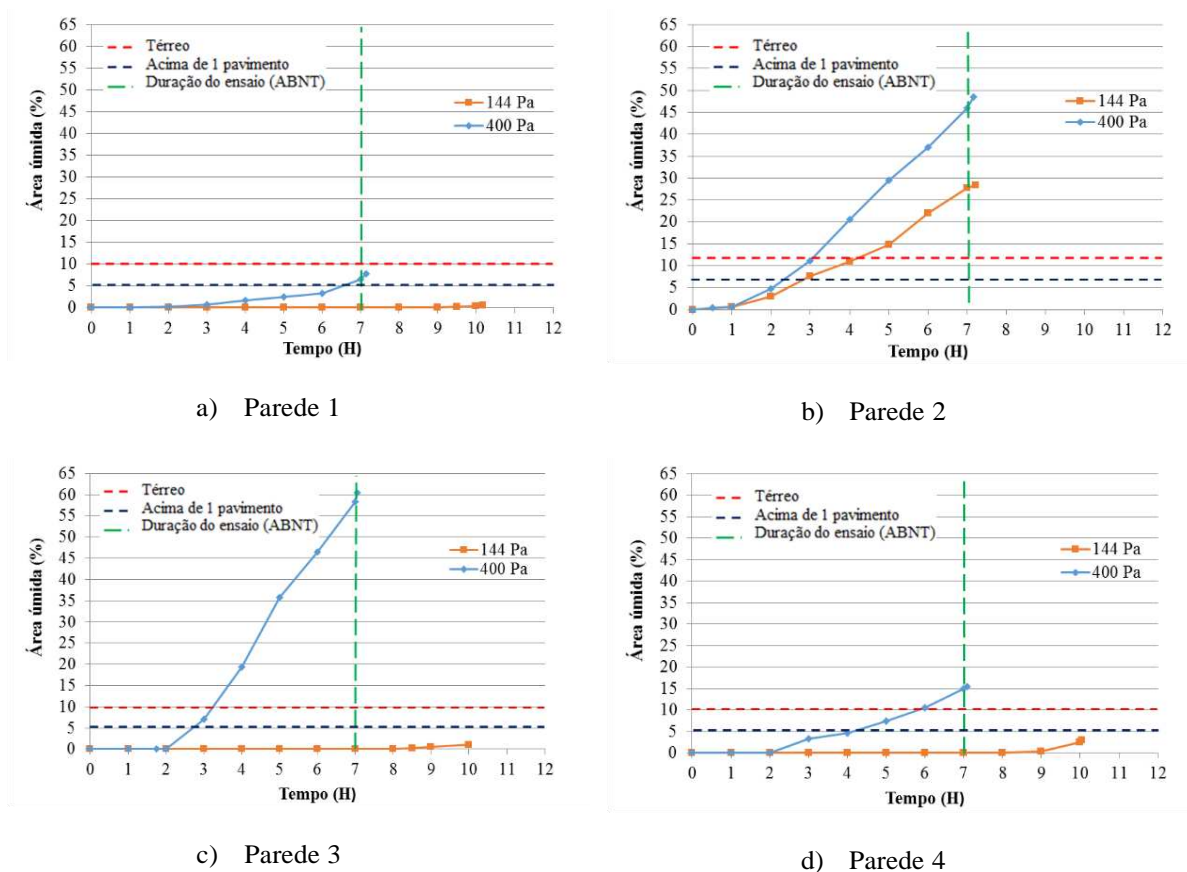
4.1.2 Resultado das diferentes pressões pneumáticas

Nos item 4.1.2.1 são apresentados os resultados dos painéis de traço 1:3:12 e nos itens 4.1.2.2 são apresentados os resultados dos painéis de traço 1:1:6. Como o resultado dos painéis de traço 1:2:9 não apresentou mancha úmida para nos ensaios submetidos às pressões pneumáticas 144 Pa e 400 Pa, logo não foram apresentados.

4.1.2.1 Paredes 1,2,3 e 4 do painel de traço 1:3:12

Na Figura 91 apresenta-se a evolução da percentagem de área úmida em função do tempo para o painel de traço 1:3:12 das Paredes 1, 2, 3 e 4 submetidos à dois níveis de pressão pneumática interna da câmara (144 Pa e 400 Pa).

Figura 91 - Percentagem de áreas úmidas em função do tempo das Parede 1,2, 3 e 4 dos painéis de traço 1:3:12, submetidos à dois níveis de pressão pneumática interna da câmara (144 Pa e 400 Pa).



Fonte: A autora, 2018.

Com base nos resultados obtidos, pode-se observar o crescimento de mancha úmida, com o aumento da pressão em todas as paredes de mesmo traço (1:3:12).

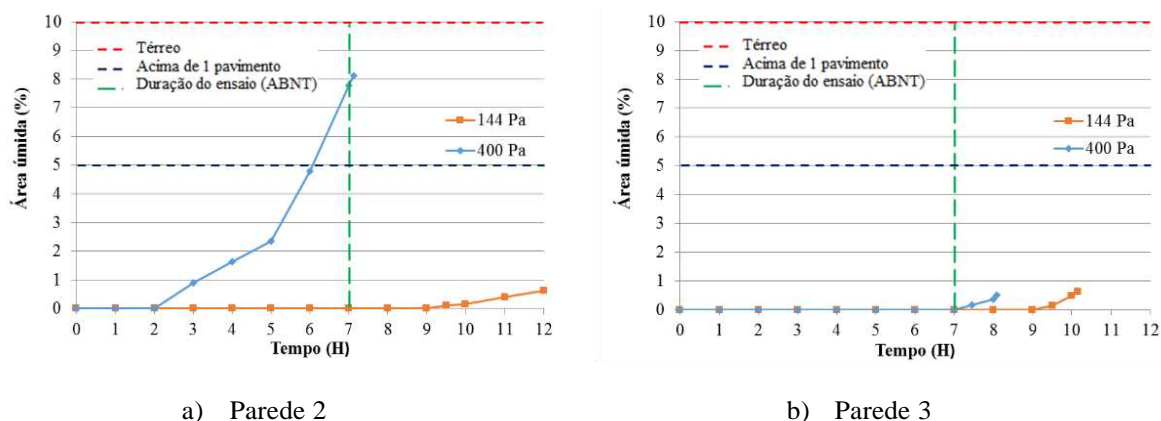
Com a aplicação de 144 Pa de pressão pneumática, observou-se que apenas a Parede 2 apresentou área úmida antes das 7 horas de ensaio (tempo estabelecido pela ABNT NBR 15.575-4:2013). Essa única parede apresentou 28% de umidade.

Com a aplicação de 400 Pa de pressão pneumática, observou-se que todas as paredes apresentam manchas úmidas ao final das 7 horas de ensaio. Observou-se também que em todas as paredes a área úmida superou o limite máximo (10%), exceto a Parede 1 que superou apenas o limite mínimo (5%), apresentando-se com 6,5% de área úmida ao final do ensaio. Os limites máximo e mínimo são estabelecidos pela ABNT NBR 15.575- 4:2013. Para essa mesma pressão pneumática (400 Pa) foi possível notar que as Paredes 2 e 3 apresentaram resultados muito acima do limite máximo (10%), com cerca de 46% e 58% de áreas úmidas, respectivamente. Quanto a Parede 4, essa apresentou percentagem de área úmida ao final do ensaio correspondente a aproximadamente 15%, valor considerado razoável, por representar 1,5 vez maior que o limite máximo (10%).

4.1.2.2 Paredes 2 e 3 do painel de traço 1:1:6

Na Figura 92 apresenta-se a evolução da percentagem de área úmida em função do tempo para o painel de traço 1:1:6 das Paredes 2 e 3 submetidos à dois níveis de pressão pneumática interna da câmara (144 Pa e 400 Pa).

Figura 92 - Percentagem de áreas úmidas em função do tempo das Parede 2, 3 dos painéis de traço 1:1:6, submetidos à dois níveis de pressão pneumática interna da câmara (144 Pa e 400 Pa).



Fonte: A autora, 2018.

Com base nos resultados obtidos, pode-se observar que as primeiras manchas úmidas surgiram anteriormente nos ensaios submetidos à 400 Pa de pressão pneumática e posteriormente nos ensaios submetidos à 144 Pa de pressão pneumática.

Com a aplicação de 144 Pa de pressão pneumática, observou-se que nenhuma parede apresentou área úmida antes das 9 horas de ensaio.

Porém com a aplicação de 400 Pa de pressão pneumática, observou-se que a Parede 2 apresentou foi a única que apresentou percentagem de mancha úmida ao final das 7 horas do ensaio, correspondente à aproximadamente 8%, resultado esse que supera o limite mínimo de 5%, estipulado pela ABNT NBR 15.575-4:2013. No entanto este valor é inferior ao limite máximo (10%).

4.1.3 Resultado dos diferentes traços de argamassa

Com base na Tabela 18 que contém os resultados de todos os ensaios de estanqueidade submetidos à pressão pneumática de 144 Pa, não é possível concluir qual das argamassas apresenta melhor desempenho quanto à estanqueidade à água até às 7 horas de ensaio. Observou-se que a mancha úmida surgiu em apenas um dos modelos de parede de traço 1:3:12.

Tabela 18 - Resultados dos ensaios de estanqueidade à água submetidos à 144 Pa.

Áreas úmidas (%) - Método DIGITAL				
Horas de ensaio	Painel	Parede	% de área	Horário do surgimento da 1ª mancha
7	1:3:12	1	0,00	Sem manchas
		2	28,37	1h de ensaio
		3	0,00	Sem manchas
		4	0,00	Sem manchas
	1:2:9	1	0,00	Sem manchas
		2	0,00	Sem manchas
		3	0,00	Sem manchas
		4	0,00	Sem manchas
	1:1:6	1	0,00	Sem manchas
		2	0,00	Sem manchas
		3	0,00	Sem manchas

Fonte: A autora, 2018.

Na Tabela 19 são apresentados os resultados obtidos para todos os ensaios de estanqueidade submetidos à pressão pneumática de 400 Pa. É possível se observar através das médias dos tempos de surgimento das primeiras áreas úmidas, que os painéis de traço 1:2:9 apresentaram melhor desempenho quanto à estanqueidade à água, por não apresentar manchas em hora nenhuma. Os painéis de traço 1:1:6 apresentaram um desempenho intermediário por apresentar mancha úmida no tempo médio aproximado de 4:23h. Os painéis de traço 1:3:12 têm o pior desempenho por apresentar manchas em média aproximadamente 2:04 h mais cedo durante os ensaios.

Tabela 19 - Resultados do ensaio de estanqueidade à água submetidos à 400 Pa.

Áreas úmidas (%) - Método DIGITAL					
Horas de ensaio	Painel	Parede	% de área	Horário da 1ª mancha	Média do horário da 1ª mancha
7	1:3:12	1	6,50	3 h de ensaio	2:04h
		2	45,95	0:30 min de ensaio	
		3	58,25	1:45 h de ensaio	
		4	15,38	3 h de ensaio	
	1:2:9	1	0,00	Sem manchas	-
		2	0,00	Sem manchas	
		3	0,00	Sem manchas	
		4	0,00	Sem manchas	
	1:1:6	2	7,78	1:45 h de ensaio	4:23h
		3	0,00	Sem manchas	

Fonte: A autora, 2018.

4.1.4 Discussão dos resultados

Com base nos resultados apresentados nos itens 4.1.1 a 4.1.3, pode-se observar que os painéis de traço 1:2:9 apresentaram melhor desempenho, tanto para a pressão pneumática de 144 Pa, quanto para a de 400 Pa. Nesses painéis não surgiram manchas úmidas mesmo para 12 horas consecutivas de ensaio nos quatro modelos de paredes ensaiados.

A princípio, as conclusões obtidas por outros autores gerou a expectativa de que painéis com traço mais forte (1:1:6) apresentariam melhor desempenho quanto à estanqueidade à água. Segundo Yang *et al.* (2008) os traços que apresentam maior proporção de cimento, consequentemente com mais finos, possui menos vazios e bloqueiam a comunicação entre os poros, diminuindo a permeabilidade. Segundo Silva (2006), a maioria dos traços que possuem a mesma relação aglomerante/agregado, o coeficiente de capilaridade aumenta com o aumento da relação cal/cimento.

As afirmações feitas pelos autores citados anteriormente são coerentes com os resultados de dois ensaios realizados nesse trabalho. Nos ensaios de absorção de água por capilaridade, os resultados foram menores para argamassas mais fortes. Nos ensaios de densidade de massa aparente (estado endurecido) os resultados foram maiores para traços mais fortes. Porém, não se pode tirar conclusões quanto à permeabilidade da água sobre paredes, levando em consideração apenas o coeficiente de capilaridade das argamassas (parte da parede), já que existem outros mecanismos de transporte da umidade, como os citados no item 2.3.

Nos estudos realizados por Silva (2006) com traços de argamassas de 1:1:6 com areia natural, foi observada uma maior quantidade de fissuras visíveis aos 84 dias de idade, quando comparados com traços 1:3:12 e 1:2:9, que não apresentaram qualquer fissuração. Esse autor constatou também que a maior incidência de fissuras ocorreu nos revestimentos de argamassa com maior módulo de elasticidade. Quanto maior o módulo de elasticidade, menor será a capacidade do revestimento de absorver deformações.

Traços mais fortes tendem a apresentar maiores quantidade de fissuras, devido ao maior módulo de elasticidade da argamassa. Apesar do traço 1:1:6 apresentar menor volume de vazios, em relação aos outros dois traços considerados no presente trabalho, o mesmo tende a apresentar uma maior ocorrência de fissuras distribuídas, facilitando a passagem da água. Isso pode justificar a maior permeabilidade à água do traço 1:1:6 com relação ao traço 1:2:9.

Outro aspecto que permite compreender o melhor desempenho quanto à estanqueidade da água do traço 1:2:9 sobre o traço 1:1:6 é a proporção de cal hidratada na argamassa. Uma das razões de utilizar a cal nas argamassas é a capacidade de reter água, favorecendo a impermeabilidade e diminuindo a fissuração. Boynton e Gutschick *apud* Guimarães (2002) relacionou a composição de cimento e cal das argamassa entre a retenção de água e verificou que ao diminuir a relação cimento/cal aumenta-se a retenção de água.

Guimarães (2002) também afirma que as partículas de cal hidratada, por possuírem diâmetro menor, penetram nos espaços vazios obstruindo as fendas mais estreitas. Além disso, as partículas de cal hidratada absorvem um filme de água ao seu redor quer pela alta tensão superficial (entre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e a solução saturada no local, quer por exibir um certo grau de cataforese, estreitando mais as passagens e detendo as águas circundantes, alinhados a um maior consumo de cimento.

Ao analisar os resultados dos ensaios de estanqueidade dos quatro modelos de parede de traço 1:3:12 submetidos à pressão pneumática de 144 Pa, observou-se que apenas para a Parede 2 (Figura 91-b), a percentagem de área úmida foi excedida cerca de 3 vezes o valor limite máximo (10%) estipulado pela ABNT NBR 15.575-4:2013. De maneira similar, considerando os resultados relativos à pressão pneumática de 400 Pa (Figura 91-b) a Parede 2 também apresentou uma grande percentagem de área úmida, correspondendo cerca de 4,5 vezes o valor limite máximo (10%). Para a mesma pressão pneumática de 400 Pa, a Parede 3 apresentou uma percentagem de área úmida superior à Parede 2 (Figura 91-c).

O comportamento observado do traço considerado (1:3:12) pode ser explicado pelo fato das zonas de ensaios das Paredes 2 e 3 terem sido construídas com juntas de argamassas mais espessas do que nos demais modelos de paredes (Figura 93), o que facilita a passagem da água. Segundo Hattge (2004), Mustelier (2004) e Piaia *et al.* (2013), a água se infiltra primeiramente pelos meios mais porosos, que correspondem às juntas de argamassas e posteriormente se espalha pelos blocos, conforme esquema apresentado na Figura 94.

Figura 93 - Painéis de traço 1:3:12 antes de serem revestido com argamassas: (a) Parede 2 (b) da Parede 3

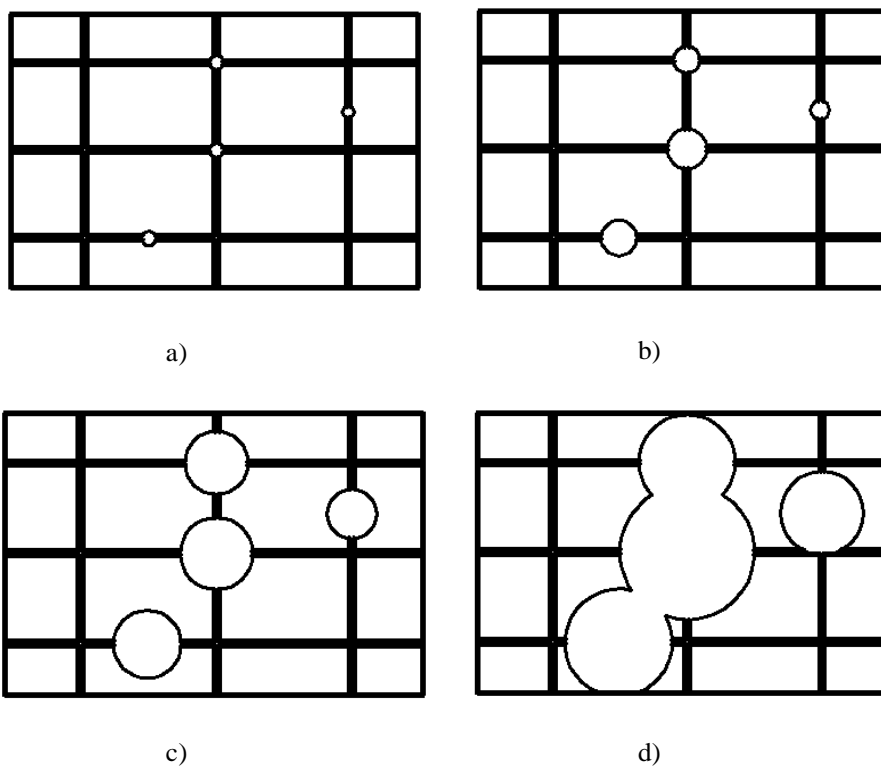


(a)

(b)

Fonte: A autora, 2018.

Figura 94 - Esquema da evolução da mancha úmida de uma parede ao longo do tempo, iniciando-se pelas juntas argamassadas e espalhando-se pelos blocos.



a)

b)

c)

d)

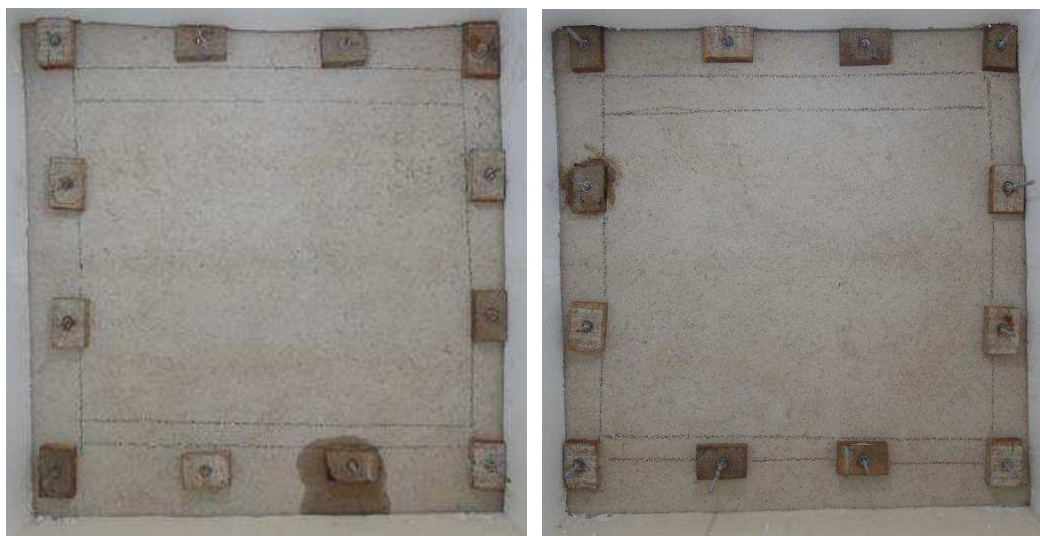
Fonte: A autora, 2018.

Os ensaios dos painéis de traço 1:3:12 submetidos à 400 Pa, tanto da Parede 2 quanto da Parede 3, duraram apenas 7 horas (tempo estabelecido pela ABNT NBR 15.575-4:2013), com o surgimento de mancha antes das duas primeiras horas de ensaio. Isso pode ser relacionado ao uso de um traço mais fraco. No entanto, o fato desse modelo experimental apresentar juntas argamassadas mais espessas, confirma a tendência da água escoar mais rapidamente em meios mais porosos.

Como já descrito, o espalhamento de área úmida continua a ocorrer após o término do ensaio. Como o ensaio de estanqueidade à água de sive da ABNT NBR 15.575- 4:2013 não prevê uma metodologia para a demarcação e contabilização dessa área de umidade, nota-se uma possível inconsistência no método, já que ao decorrer de poucos minutos, o cômputo da porcentagem varia crescentemente. Como exemplo, pode-se destacar a Parede 2 de traço 1:3:12 submetida à 400 Pa de pressão pneumática, que após decorridos 17 min do término do ensaio até a demarcação, foi medido um aumento de área úmida de 2,51% (45,95% para 48,56%) o que representa 5,7% de acréscimo de área sobre a área inicial.

Para a execução dos ensaios, a câmara de estanqueidade foi fixada com auxílio de parafusos presos em furos executados na parede. Alguns desses furos apresentaram infiltrações no momento do ensaio, conforme pode ser visto na Figura 95-a. Para esses casos, as áreas úmidas ao redor desses furos foram desprezadas no cômputo do percentual de área. Na tentativa de recuperar aquelas superfícies mais danificadas próximas ao furo, foi utilizado silicone para o preenchimento das imperfeições (Figura 95–b).

Figura 95 - Painéis com defeitos - (a) Painel de traço 1:1:6 da Parede 1 de 400 Pa apresentou infiltração desde os primeiros minutos de ensaio (b) Painel de traço 1:2:9 da Parede 4 apresentou a superfície fragmentadas e selada com silicone.



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2018.

Para as duas diferentes verificações no cômputo das manchas úmidas adotadas, observou-se que para o método digital há a necessidade de equipamentos eletrônicos e softwares, como o programa de tratamento de imagem sugerido, que podem elevar o valor de custo da análise, porém consomem menor tempo para cada avaliação (aprox. 5 min), enquanto que para o método manual é necessário apenas um gabarito transparente com medidas em cm^2 , ou seja, custos reduzidos, mas consomem um tempo maior (aproximadamente 30 min).

Observou-se também que é necessário atentar para o controle das condições para a realização dos métodos manuais e digitais como citado na metodologia.

4.2 RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ARGAMASSAS E O DESEMPENHO QUANTO À ESTANQUEIDADE

Neste item são apresentadas as relações entre a densidade de massa (ρ) e o teor de ar incorporado com o índice de consistência (IC) e com os três traços de argamassa.

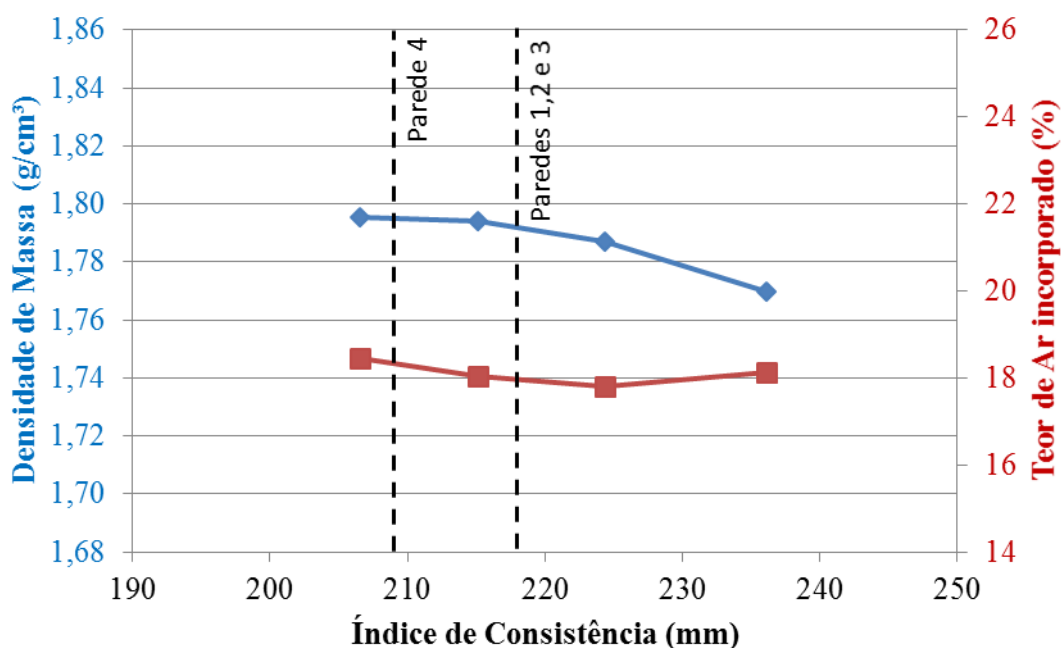
4.2.1 Variação das características físicas dos traços de argamassas em função do índice de consistência

Nos itens 4.2.1.1 a 4.2.1.3 são apresentadas as relações entre a densidade de massa (ρ) e o teor de ar incorporado em função do índice de consistência (IC) de cada traço de argamassa. Cada traço apresentou um intervalo de IC de acordo com suas variações encontradas durante suas produções.

4.2.1.1 Argamassa de revestimento 1:3:12

Na Figura 96 mostra-se a relação entre o índice de consistência (IC) da argamassa de revestimento 1:3:12 com a densidade de massa (ρ) e o teor de ar incorporado.

Figura 96 - Relação teor de ar incorporado e densidade de massa com a faixa de IC (mm) obtido na produção das argamassas de revestimento 1:3:12



Fonte: A autora, 2018.

Com base nesses resultados pode-se observar que a densidade de massa da argamassa alcançou valor máximo de $1,795 \text{ g/cm}^3$ para um IC de aproximadamente 207 mm. A partir desse valor de IC houve diminuição da densidade de massa, apresentando valor mínimo de $1,770 \text{ g/cm}^3$ para um IC de aproximadamente 236 mm.

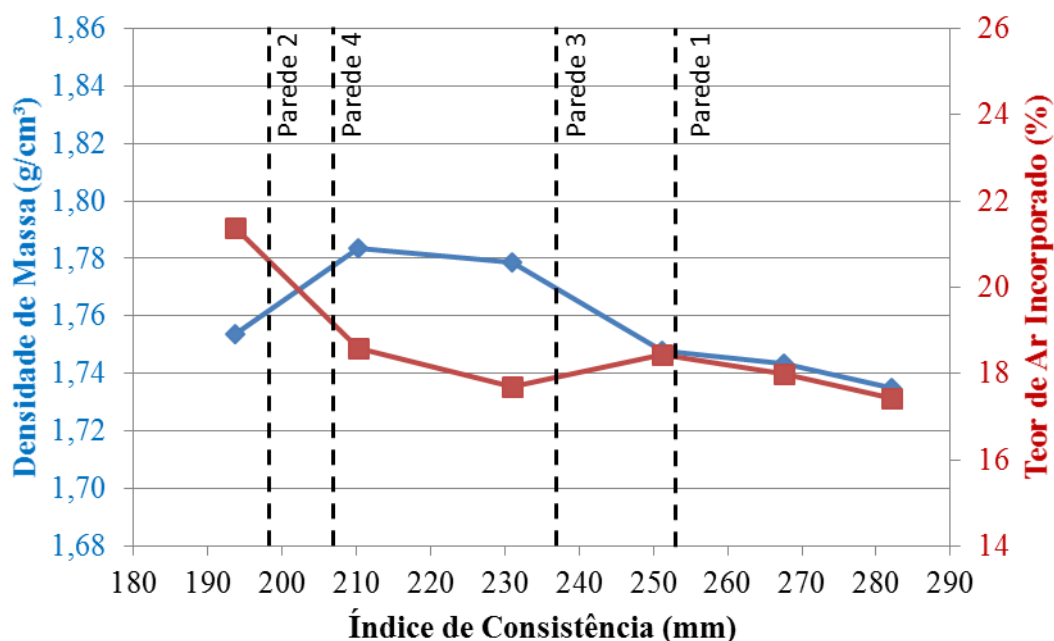
Na Figura 96 pode-se observar também que o teor de ar incorporado também varia com o aumento do IC, alcançando um valor mínimo de 17,8% para um IC igual a 225 mm. A partir desse ponto, com o aumento do IC, as porcentagens dos teores de ar também aumentaram.

Na Figura 96 são destacados também os valores de IC para os quatro modelos experimentais de parede. Para a argamassa de revestimento com traço 1:3:12, a densidade de massa variou na faixa de 1,790 a 1,795 g/cm³ e o teor de ar incorporado, variou na faixa de 17,9 e 18,3%.

4.5.1.3 Argamassa de revestimento 1:2:9

Na Figura 97 mostra-se a relação entre o índice de consistência (IC) da argamassa de revestimento 1:2:9 com a densidade de massa (ρ) e o teor de ar incorporado.

Figura 97 - Relação teor de ar incorporado e densidade de massa com a faixa de IC (mm) obtido na produção das argamassas de revestimento 1:3:12.



Fonte: A autora, 2018.

Com base nesses resultados pode-se observar que a densidade de massa da argamassa apresentou decréscimos e acréscimos com o aumento do IC, alcançando valor máximo de 1,784 g/cm³ para um IC de aproximadamente 208 mm e um valor mínimo de 1,735 g/cm³ para um IC de aproximadamente 282 mm. A partir desse valor de IC, houve aumento da densidade de massa.

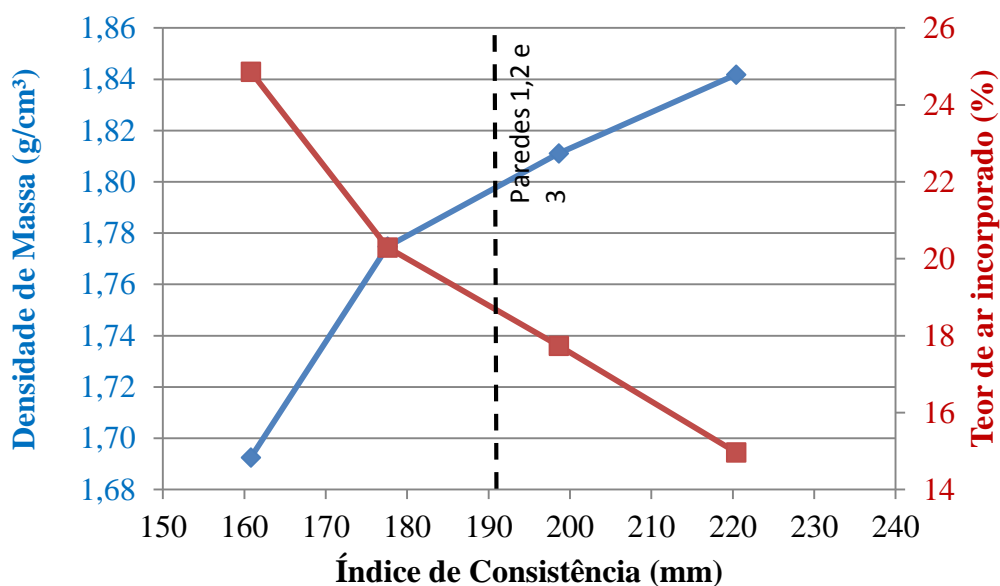
Na Figura 97 pode-se observar também que o teor de ar incorporado apresentou variações decrescentes e crescentes com o aumento do IC, alcançando um valor máximo de 21,4% para um IC de 193 mm e um valor mínimo de 17,7 % para um IC de aproximadamente 230 mm.

Na Figura 97 são destacados também os valores de IC para os quatro modelos experimentais de parede. Para a argamassa de revestimento com traço 1:2:9, a densidade de massa variou na faixa de 1,742 a 1,782 g/cm³ e o teor de ar incorporado, variou na faixa de 17,7 e 20,5%.

4.5. Argamassa de revestimento 1:1:6

Na Figura 98 mostra-se a relação entre o índice de consistência (IC) da argamassa de revestimento 1:1:6 com a densidade de massa (ρ) e o teor de ar incorporado.

Figura 98 - Relação teor de ar incorporado e densidade de massa com a faixa de IC (mm) obtido na produção das argamassas de revestimento 1:1:6.



Fonte: A autora, 2018.

Com base nesses resultados pode-se observar que a densidade de massa aumenta com o aumento do IC da argamassa, apresentando valor mínimo de 1,693 g/cm³ para um IC de aproximadamente 160 mm e um valor máximo de 1,841 g/cm³ para um IC de aproximadamente 220 mm.

Na Figura 98 pode-se observar também que o teor de ar incorporado varia com o aumento do IC, alcançando um valor máximo de aproximadamente 25% para um IC de aproximadamente 160 mm e um valor mínimo de 15% para um IC igual a 220 mm.

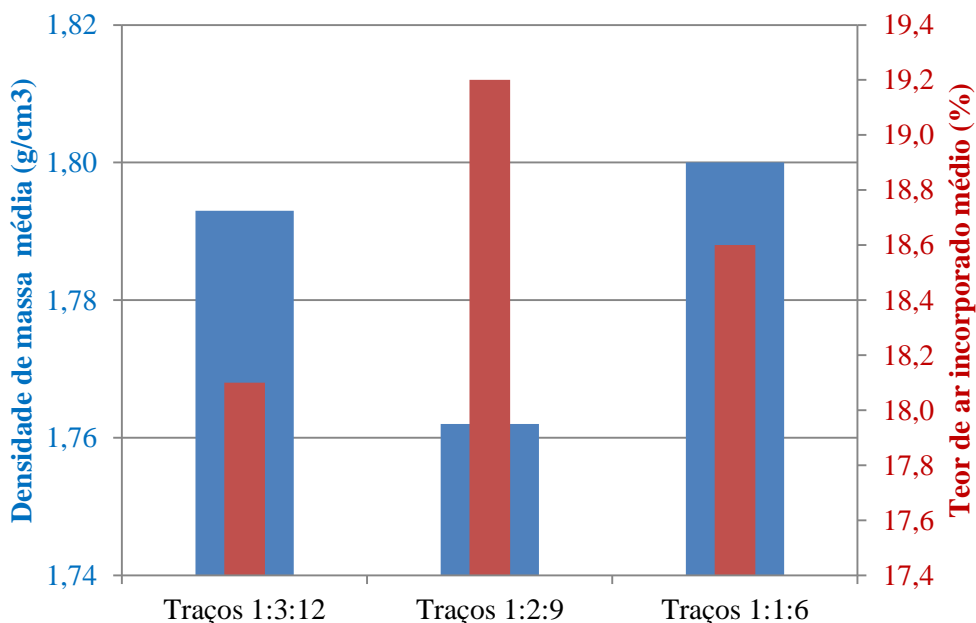
Na Figura 98 são destacados também os valores de IC para os três modelos experimentais de parede. Para a argamassa de revestimento com traço 1:1:6, a densidade de massa corresponde a 1,798 g/cm³ e o teor de ar incorporado corresponde a 18,6%.

O modelo experimental correspondente ao painel de traço 1:1:6 da Parede 4, foi descartado por apresentar erro na produção da argamassa.

4.2.2 Variação das características físicas para diferentes tipos de traço de argamassa

Na Figura 99 mostra-se a relação entre a densidade de massa (ρ) e o teor de ar incorporado, em função dos três traços adotados (1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6). Considerou-se para efeito de relação os valores médios da densidade de massa e do teor de ar incorporado, obtidos das faixas de valores de cada traço mencionados no item 4.2.1.

Figura 99 - Relações da densidade de massa média e teor de ar incorporado médio com os traços de revestimento externo



Fonte: A autora, 2018.

Com base nos resultados, pode-se observar que o traço 1:2:9 apresenta menor valor em relação à densidade de massa e maior valor em relação ao teor de ar incorporado, se comparado aos outros traços.

5

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho quanto à estanqueidade à água de sistemas verticais de vedação externa, sem função estrutural, feito de blocos cerâmicos e revestidos com três diferentes tipos de argamassas. Dentre os traços de revestimentos externos avaliados neste trabalho (1:3:12, 1:2:9 e 1:1:6, confeccionados com cimento CP III 40 RS; cal hidratada III; areia natural), chegou-se à conclusão que o traço 1:2:9 apresentou melhor desempenho quanto à estanqueidade.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário projetar, construir e testar o equipamento de estanqueidade tendo como base os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15.575-4:2013. Essa norma se limita a apresentar um esquema geral para

construção de uma câmara de estanqueidade, mas não fornece um detalhamento executivo que permita a efetiva execução deste equipamento. Portanto, neste trabalho buscou-se oferecer um detalhamento executivo do projeto e de operação de uma câmara de estanqueidade. Além disso, foi desenvolvido um programa computacional para auxiliar a avaliação das áreas úmidas com maior velocidade e precisão.

5.2 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

5.2.1 Câmara de estanqueidade

Como limitação da câmara desenvolvida, destaca-se a necessidade de realizar furos na parede para sua fixação. Além de danificar a parede, permitiu a passagem da água no momento do ensaio, o que pode afetar os resultados. Desconsiderando a área úmida que surgiu na vizinhança dos furos, não é possível identificar se havia outras áreas úmidas próximas aos mesmos.

Em síntese, a câmara de estanqueidade desenvolvida neste trabalho apresenta vantagens como: a facilidade de mobilidade, por ser considerada leve, removível e apresentar dimensões razoáveis para o transporte; a possibilidade de realizar ensaios *in situ*, permitindo a obtenção de resultados em obra; e apresentar baixo custo, possibilitando o seu emprego em construtoras de pequeno e médio porte.

5.2.2 Ensaio de estanqueidade

Os painéis com traço 1:2:9 não apresentaram manchas úmidas para 12 horas de ensaio, mesmo submetidos a uma pressão pneumática de 400 Pa. Isto levou a classifica-los com nível de desempenho intermediário (I) e superior (S) para paredes de vedação, tanto para edificações térreas, quanto para edificações com mais de um pavimento.

O melhor desempenho quanto à estanqueidade apresentado pelas argamassas de traço 1:2:9 pode ser explicado em função do maior teor de ar incorporado em relação aos outros dois traços considerados.

Outro aspecto que ajuda a explicar este melhor comportamento são as relações cimento/cal das argamassas, tendo-se observado que a proporção 1:2 é a mais indicada para se obter uma menor permeabilidade quanto à água.

Quanto às normas internacionais que dispõe sobre o ensaio de estanqueidade, observou-se que a ABNT NBR 15575-4:2013 se assemelha mais à ASTM E 514:2011 do que à EN 12.865:2001, por prover de fato uma câmara e não apenas um sistema de pulverização e de injeção de ar ou por apresentar dimensões semelhantes da câmara e do modelo de parede, ou ainda por apresentar vazões de água com valores próximos. Contudo ao comparar o tempo de ensaio e a pressão pneumática injetada no interior da câmara, a ABNT NBR 15575-4:2013 não apenas se distancia da ASTM E 514:2011, como também se distancia da EN 12.865:2001.

Ao longo dos ensaios de estanqueidade observou-se que a transferência da água pelos painéis se deu primeiramente pelos meios mais porosos, que correspondem às juntas argamassadas e, posteriormente, se espalha pelos blocos.

Apesar da pressão pneumática máxima prescrita pela ABNT NBR 15.575-4:2013 ser de 50 Pa, nos experimentos deste trabalho foram utilizados valores de 144 Pa e 400 Pa, que representaram valores extremos para o território brasileiro, determinados a partir da ABNT NBR 6123:1988. Para a maior velocidade básica de vento (v_0) em todo o território brasileiro chegou-se à uma pressão pneumática de 400 Pa, considerando um menor tempo de retorno, igual a 10 anos. Este valor é próximo ao estipulado pela ASTM E 514:2011, que estabelece uma pressão pneumática de 500 Pa. Observou-se que a ABNT NBR 15.575-4:2013 estipula pressões pneumáticas praticamente insignificantes, quando comparadas às pressões obtidas com base na ABNT NBR 6123:1988.

5.2.3 Verificação da área úmida

Com relação à verificação de áreas de umidade, concluiu-se que o método digital é o mais adequado, por permitir uma maior agilidade e maior precisão dos resultados. Além disso, é possível acompanhar a evolução das manchas em intervalos de tempos. Sendo assim, a ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho, torna-se uma opção viável de tratamento de imagens digitais, já que apresentou melhor precisão em relação ao método manual.

5.2.4 Relações entre as características das argamassas e a estanqueidade

Quanto às relações entre as características das argamassas e a estanqueidade, foi possível observar que as argamassas que possuíam valores mais altos de teor de ar incorporado apresentaram melhor desempenho quanto à estanqueidade.

Dos traços de argamassas analisados verificou-se que o melhor desempenho à estanqueidade foi a do traço intermediário, denotando a importância da cal na estanqueidade. Essa constatação está em consonância com o que foi observado por Guimarães (2002), que relata que as argamassas com cal hidratada opõe sensível deslocamentos da água pelos espaços intergranulares dos revestimentos e das juntas.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no trabalho desenvolvido, apresentaram-se algumas sugestões para trabalhos futuros:

- desenvolver novos traços de argamassas com diferentes percentagens de aditivos incorporadores de ar, a fim de controlar a baixa absorção capilar da água;
- com relação aos níveis de desempenho, mencionados pela ABNT NBR 15.575:2013, intermediário (I) e superior (S), sugere-se que sejam realizados estudos que possibilitem uma melhor diferenciação deste critério;
- avaliar os efeitos da retração plástica da argamassa no estado fresco e no estado endurecido sobre a fissuração dos revestimentos;
- realizar ensaios de módulo de elasticidade a fim de relacioná-los à presença de fissuras em cada tipo de traço de argamassa;
- avaliar a diferença das propriedades de argamassas produzidas com areia artificial;
- avaliar o desempenho quanto à estanqueidade à água para diferentes tipos de blocos (cerâmico e concreto), vazados ou cheios e com espessuras de 9 e 11 cm;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E 514: **Standards test method for water permeance of masonry and leakage through masonry**. Baltimore, 1990. (reapproved 1996)

EUROCODE EN 12.865 **Hygrothermal performance of building components and building elements - Determination of the resistance of external wall systems to driving rain under pulsating air pressure**. Brussels, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735: **Cimento Portland de Alto-forno**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregado para Concreto – Especificações**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218: **Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: **Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 um (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11582: **Cimento Portland - Determinação da expansibilidade Le Chatelier**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749. **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificações.** Rio de Janeiro, 1996.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15261: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270: **Coletânea de Normas Técnicas – Componentes Cerâmicos.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Coletânea de Normas Técnicas - Edificações Habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16372: **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método da permeabilidade ao ar (método de Blaine).** Rio de Janeiro, 2015.

_____. NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. NM 43: **Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. NM 46: **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. NM 49: **Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NM 65: **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NM ISO 310-1: **Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT)**. Rio de Janeiro, 2010

ANDRADE, D. S.; BAUER E.; PAES I.L. **Isotermas de Dessorção de água em argamassas de cimento e cal**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, XI, 2015, Porto Alegre.

AMELIAN, S.; ABATAHI S. M.; HEJAZI S. **Moisture susceptibility evaluation of asphalt mixes based on image analysis**. Journal Construction and Building Materials, v. 63, 30 jul. 2014, p. 294–302.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenarias de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. Dissertação para mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1987.

BRITO, V. P.; **Influência dos Revestimentos por Pintura na Secagem do Suporte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2009.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: G. C. Isaia. (Org.). **Materiais de Construção Civil**. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2007, v. 1.

CARNEIRO, A.; CINCOTTO, M. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas**. Boletim Técnico, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto. Inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini; Goiânia: Editora UFG, 1997.

CBIC. **Desempenho de Edificações Habitacionais - Guia Orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Brasília: Gadiodi Cipolla Comunicações, 2013.

CHARNEY, F. A. **Wind drift serviceability limit state design of multistory buildings**. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 36, p. 203-212, 1990.

COLEMAN, G. R. **Condensações – Fundamentos**. 2001. Tradução por António de Borja Araújo, eng.º civil I.S.T, 2003.

COSTA, E.C - **Física aplicada à construção**. São Paulo. Edgard Blucher. 260p. 1974.

COUTINHO, A.; GONÇALVES, A. **Fabrico e propriedades do betão**. 2ª ed. Lisboa: LNEC, volume III: 368 p. 1994.

FACON, J. **Capítulo 3: Técnicas de Processamento Digital de Imagens Aplicadas à Área da Saúde**. Em: Katia Romero Felizardo. (Org.) ERI2006 – XIII Escola Informática da SBC – PR. 13ed. Bandeirantes - Paraná: Sociedade Brasileira de Computação – PR. 2006. V.1,p. 108-147.

FREITAS, V. P.; TORRES M. I.; GUIMARÃES A. S. **Humidade Ascensional**. Porto: FEUP Edições, 2008.

FREITAS, C. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

FOGAÇA, J. R. V. **Tensões Superficiais da Água**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.ul.com.br/química/tensao-superficial-agua.htm>>. Acesso em 29 de março de 2017.

NCMA RESEARCH AND DEVELOPMENT LABORATORY (Va). **Water Penetration Testing of Stucco on Concrete Masonry Construction**. 5. ed. Herndon: Masonry Information Technologists, 2007. 21 p.

GARBOCZI, E. J. **Microstructure and transport properties of concrete**. In Performance Criteria for Concrete Durability. RILEM Report 12. J. Kropp e H. K. Hilsdorf, editors. London: E & F.N. Spon. IS BN 0-419-19880-6. 1995.

GRIFFIS, A. G. **Serviceability Limit States Under Wind Load**. Engineering Journal. P. 1-15, 1993.

GOETHEMA, S.V; NATHAN, V. D. B.; ARNOLD, J. **Watertightness assessment of blown-in retrofit cavity wall insulation**. Science Direct, 6th International Building Physics Conference (IBPC), Energy Procedia, v.78, p. 883 – 888 2015, nov. 2015.

GONZALES, R.; WOODS, R. **Digital Image Processing**. Prentice Hall, 2nd Edition, 2002.

GOMES P. F. **Curso de estatística experimental**. 15º ed., ESALQ Piracicaba, 2009. 451 p.

GUIMARÃES J. E. **A Cal: fundamentos e aplicações na Engenharia Civil**. Editora PINI, 2002.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2004.

HELENE, PAULO R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese (Livre docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ISAIA, G. C. **Efeitos de Misturas Binárias e Ternárias de Pozolanas em Concreto de Elevado Desempenho: Um Estudo de Durabilidade Com Vistas à corrosão da Armadura**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1995.

IBGE. **Primeiros resultados definitivos do Censo 2010: população do Brasil é de 190.755.799 pessoas.** Disponível em: [Chttp://censo2010.ibge.gov.br/noticiascenso.html?view=noticia&id=3&idnoticia=1866&busca=1&t=primeiros-resultados-definitivos-censo-2010-populacao-brasil-190-755-799-pessoas](http://censo2010.ibge.gov.br/noticiascenso.html?view=noticia&id=3&idnoticia=1866&busca=1&t=primeiros-resultados-definitivos-censo-2010-populacao-brasil-190-755-799-pessoas)>. Acesso em: 17 de novembro de 2015.

KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de paredes de materiais cerâmicos a penetração de água de chuva: uma análise de fatores condicionantes.** 1989. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ UFRGS, Porto Alegre, 1989.

KRONKA, S. N. **Estatística Experimental.** Apostila, s. d. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_1/MINI01.pdf>. Acesso em 20 de novembro de 2015.

MARION, A. **An introduction to image processing.** London: Chapman & Hall; 1991. p. 314

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

MUSTELIER, N. L.; ROCHA, J. C.; SILVEIRA, J. P. **Avaliação do Desempenho à Estanqueidade à Água de Chuva de Protótipos de Blocos E Argamassas com Cinzas de Carvão Mineral.** In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável - X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18-21, 2004, São Paulo.

NAPPI, S. C. B. **Umidade em paredes.** In: CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL, 1996, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Pini, 1996.

NASCIMENTO, L. O. **Alvenarias.** 2ª edição, Rio de Janeiro, 2004. 54p.

NETO, C. Z. M. **Absorção capilar e Resistividade Elétrica de Concretos compostos com Cinzas de casca de Arroz de Diferentes Teores de Carbono Grafítico.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5.ed., Porto Alegre, RS: Bookman, 2016.

NORTON, F. H. **Introdução à tecnologia cerâmica.** Tradução de Jefferson Vieira de Sousa. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

PÁSCOA, L. S. N. **Índice de secagem como parâmetro em serviços dos rebocos aplicados em paredes exteriores.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

PIAIA, J. C. Z.; CHERIAF M.; ROCH J. C.; MUSTELIER N. L. **Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: Experimental results and numerical simulation.** Building and Environment. 61, p. 18-26, 2013.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimento de parede.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

PORTAL LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS. **Transferência de Massas por Convecção**. Departamento de Engenharia Química. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Portugal. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?Itemid=423&id=249&option=com_content&task=view> Acesso em: 11 maio 2017.

RODRIGUES, A. H. **Estanqueidade de Alvenaria Revestida com Diferentes Argamassas e Acabamentos: Aplicação de NBR 15575-4/2008**. Trabalho de Diplomação de Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2010.

RODRIGUES, A. M. **Humidades em Edifícios – Fenômenos de Condensação**. Notas de aula. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/ratosdotecnico/humidades>> Acesso em: 16 de maio de 2017.

SABBATINI, F. H. **Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986, p. 69-76.

SANCHES, C. H.; PAULO J. F.; PHILLYPI, F. V., MARCOS, A. B. **Técnicas de Suavização de Imagens e Eliminação de Ruídos**. In: Encontro Anual de Tecnologia da Informação e Semana Acadêmica de Tecnologia da Informação. 5., 2015, Catalão, Goiás. **Anais...**, Rio Grande do Sul: EATI, 2015, p. 21-30.

SATHLER, L. M.; MENDES A. C.; PEDROTI L. G.; ALVARENGA R. C. S.S.; PAES J. R.; Mendes B.C. **Análise comparativa de avaliação visual e processamento de imagem digital visando ensaio de estanqueidade à água em alvenarias cerâmicas**. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica (60CBC). Águas de Lindóia, SP. 2016.

SILVA, R. R. **Reconhecimento de Imagens Digitais Utilizando Redes Neurais Artificiais**. Monografia de graduação em Ciência da Computação – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Dissertação de mestrado em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

RATO, V. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. Tese de Doutorado. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2006. 294 p.

THOMAZINI, L. F. V. **Estudo do comportamento da temperatura e da umidade relativa no interior de um secador solar misto de ventilação natural**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.

TORRES, M. I. M. **Humidade Ascensional em Paredes**. 1998. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998.

VARISCO, M. Q. **Análise do Desempenho de Blocos de Concreto Celular Autoclavado em um Sistema de Vedação Externa**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento/ Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.

VEIGA, M. R. Comportamento de argamassas de revestimentos de parede – contribuição do estudo de sua resistência à fendilhação. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto –Portugal, 1998.

YANG, Z.; MA W.; SHEN, W.; ZHOU, M. The Aggregate Gradation for the Porous Concrete Pervious Road Base Material. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed., 2008.

ANEXO A

Tabela 20 – Valores do coeficiente de resistência à difusão do vapor d'água (μ) de materiais de construção em estado seco.

	Material	Peso específico (kg/m ³)	Fator (μ)
Materiais de construção	Tijolos (lajotas)	1.360	6,8
		1.530-1.860	9,3 - 10
	Telhas	1.880	37 - 43
	Concreto	2.100	23
		2.300	30
	Telhas de fibro-cimento	1.920	51
		50	5,3
Materiais isolantes	Espuma de poliuretano (sem pele)	20	40 - 100
	Espuma de poliestireno	460	6,8
	Fibra de madeira prensada	100 - 140	5,0 - 30
	Cortiça expandida	100 - 300	1,17 - 1,27
	Lã de vidro		
	Emulsão betuminosa com aplicação de asfalto quente		54.900 - 138.300
	Feltro asfáltico		3.640 - 18.280
Barreira de vapor	Papelão betuminado		11.620
	Filme plástico 2,5g/m ² (0,025 mm)		32.600 - 65.000
	Lâmina de alumínio 40 g/m ²		infinito
	Pinturas de borracha clorada 0,1 mm		24.000 - 77.000
	Pintura com tinta óleo 0,1 mm		9.800 - 24.000
	Mastique asfáltico - base solvente		98.000
	Mastique asfáltico - base emulsão		4.434

Fonte: POLISSENE, 1986.

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
 Campus Universitário, s/n
 36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
 Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

ENSAIOS

Assunto:	Caracterização dos Blocos Cerâmicos		
Data:	02/04/2017	Local:	UFV
Autor (a):	Versão: 01 Lorena de Melo Sathler		

Material:	Bloco cerâmico de vedação	Data do recebimento do lote:	13 e 16/06/2016
Amostra:	32 CPs de 14 x 19 x29	Data dos ensaio:	02/06/2016
Fabricante:	Materias Básicos para Construção LTDA / Visconde do Rio Branco -MG		

Corpos de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Comp. (mm)	Espessura (mm)		DRE (mm)	Planeza das Faces (mm)	Tensão (MPa)
				Par. Ext.	Par. Int.			
01	135,5	189,1	285,9	9,3	5,8	1,1	2,4	0,7
02	136,1	189,9	286,1	9,9	6,1	1,0	2,5	1,3
03	133,8	188,7	285,9	8,9	6,0	2,6	3,4	1,1
04	134,4	188,4	285,6	9,2	5,9	1,3	2,5	1,0
05	135,1	188,4	284,7	9,3	6,1	1,2	2,2	1,1
06	133,6	188,7	283,7	9,3	6,0	0,9	1,8	1,1
07	132,7	186,6	284,2	8,9	6,0	1,6	3,0	1,1
08	135,0	188,2	286,3	9,1	5,8	1,6	1,8	1,1
09	130,7	185,7	282,3	9,1	5,9	2,2	2,0	0,8
10	135,4	189,4	286,9	9,0	6,1	1,9	1,6	0,8
11	134,8	188,2	286,6	8,5	6,1	1,6	2,1	0,6
12	134,7	188,3	285,4	9,2	5,6	1,6	2,3	1,3
13	134,4	186,9	283,5	8,0	5,5	2,2	2,5	1,1
Média	134,3	188,2	285,1	9,1	5,9	1,6	2,3	1,0
Especificação	140 ± 3	190 ± 3	290 ± 3	≥ 7	≥ 6	≤ 3	≤ 3	≥ 1,5 MPa

CP	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Absorção (%)	
			Ind.	Média
14	3513,0	4340,0	23,5	22,4
15	3586,0	4400,0	22,7	
16	3654,0	4437,0	21,4	
17	3649,0	4453,0	22,0	
18	3644,0	4425,0	21,4	
19	3549,0	4370,0	23,1	
Especificação			8 ≤ Ab ≤ 22	

CP	Ms (g)	Mu (g)	Porosidade (%)	Massa Aparente (g/cm ³)
20	3432	4192	38,08	171,94
21	3574	4410	38,87	166,16
22	3696	4524	37,69	168,23
23	3426	4222	39,33	169,27
24	3552	4376	38,40	165,52
25	3520	4348	38,95	165,57
26	3646	4472	38,37	169,35
27	3510	4360	40,36	166,67
28	3638	4450	38,05	170,48
29	3614	4406	37,84	172,67
30	3498	4286	38,44	170,63
31	3492	4300	39,20	169,43
32	3550	4304	37,07	174,53
		Médias	38,51	169,26

APÊNDICE B



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário, s/n
36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

ENSAIOS

Assunto:	Caracterização das Argamassas de ASSENTAMENTO - Traço 1:3:12				
Data:	02/04/2017	Local:	UFV	Versão:	01
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler				

Todas as argamassas de traços 1:3:12 produzidas para assentamento dos tijolos cerâmicos foram distribuídas em 4 (quatro) alvenarias diferentes, porém a maioria dos ensaios foram realizados em apenas 3 (três) alvenarias.

Massas Unitárias dos Materiais (kg/l)

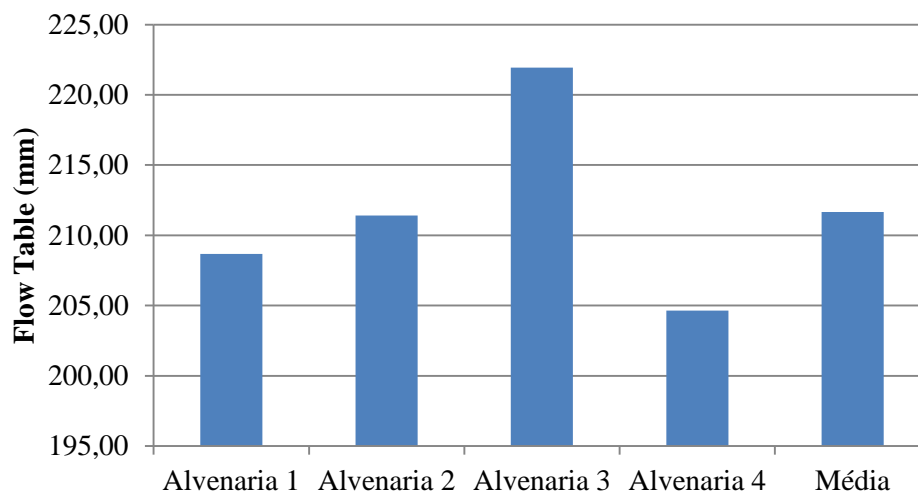
Material	Massas unitárias (kg/l)		
	1ª amostra	2ª amostra	Média
Cimento CP III 40 RS	0,8905	0,8993	0,8949
Cal CH III	0,5056	0,5155	0,5106
Areia Natural	1,4300	1,4330	1,4315

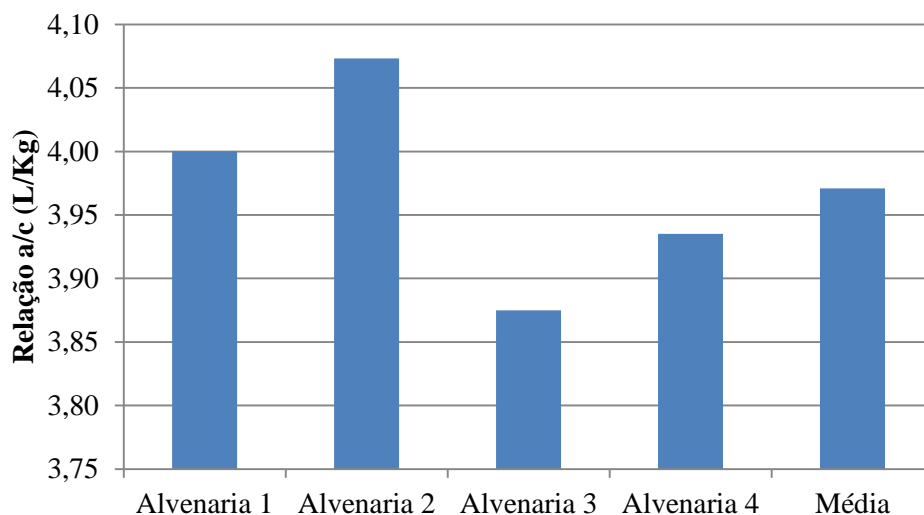
Teor de Umidade da Areia (%)

Alvenaria 2	1ª amostra	
	Peso inicial (g)	500,18
	Peso final (g)	493,35
	Umidade da Areia (%)	1,38
	2ª amostra	
	Peso inicial (g)	500
	Peso final (g)	492
	Umidade da Areia (%)	1,63
	Média	1,51
Alvenaria 3	Amostra	
	Peso inicial (g)	500,16
	Peso final (g)	491,8
	Umidade da Areia (%)	1,7
Alvenaria 4	Amostra	
	Peso inicial (g)	500
	Peso final (g)	484,2
	Umidade da Areia (%)	3,26

Ensaio 1: Índice de Consistência ou Flow Table (mm)

Alvenaria 1	Valores Médios				
	Umid. (%)	0%	Temp. (°C)	0	
	Temp. da Arg. (°C)		19,84	FLOW TABLE (mm)	208,68
	Relação a/c		4,00		
Alvenaria 2	Valores Médios				
	Umid. (%)	53%	Temp. (°C)	25,9	
	Temp. da Arg. (°C)		21,20	FLOW TABLE (mm)	211,41
	Relação a/c		4,07		
Alvenaria 3	Valores Médios				
	Umid. (%)	50%	Temp. (°C)	16,8	
	Temp. da Arg. (°C)		19,80	FLOW TABLE (mm)	221,93
	Relação a/c		3,87		
Alvenaria 4	Valores Médios				
	Umid. (%)	52%	Temp. (°C)	24,9	
	Temp. da Arg. (°C)		20,29	FLOW TABLE (mm)	204,65
	Relação a/c		3,94		





Ensaio 2: Resistência à Tração na Flexão (Mpa)

Alvenaria 2

3 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 01	10,2	4,23	4,27	4,25	4,16	0,09	6,21	0,1320	0,1159	0,0213
CP 02	10,3	4,18	4,22	4,20	4,14	0,08	5,52	0,1211		
CP 03	10,4	4,19	4,15	4,17	4,09	0,06	4,14	0,0946		
7 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 04	10,2	4,21	4,15	4,18	4,11	0,20	13,80	0,3056	0,2889	0,0167
CP 05	10,4	4,17	4,17	4,17	4,16	0,19	13,11	0,2897		
CP 06	10,2	4,19	4,24	4,22	4,12	0,18	12,42	0,2715		
28 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 07	10,4	4,18	4,18	4,18	4,19	0,41	28,29	0,6147	0,6066	0,0341
CP 08	10,4	4,29	4,17	4,23	4,1	0,37	25,53	0,5725		
CP 09	10,3	4,21	4,23	4,22	4,14	0,42	28,98	0,6327		

Alvenaria 3

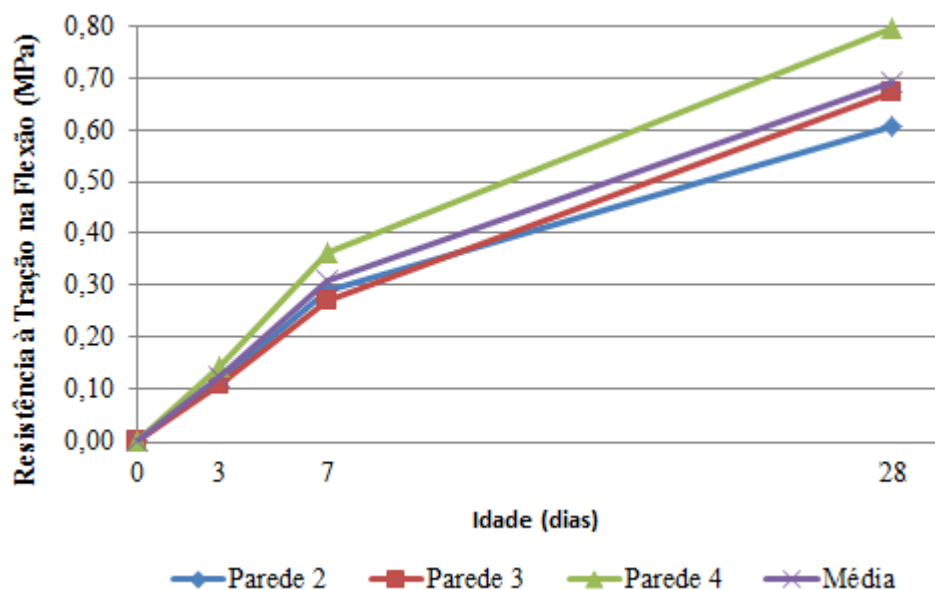
3 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 16	10,3	4,19	4,24	4,22	4,11	0,06	4,14	0,0918	0,1066	0,0161
CP 17	10,2	4,21	4,29	4,25	4,07	0,08	5,52	0,1226		
CP 18	10,3	4,23	4,31	4,27	4,12	0,07	4,83	0,1052		
7 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 19	10,3	4,23	4,27	4,25	4,19	0,19	13,11	0,2775	0,2705	0,0070
CP 20	10,1	4,19	4,32	4,26	4,15	0,19	13,11	0,2770		
CP 21	10,2	4,35	4,3	4,33	4,18	0,18	12,42	0,2570		
28 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 22	10,2	4,23	4,19	4,21	4,25	0,48	33,12	0,6811	0,6719	0,0198
CP 23	10,4	4,19	4,24	4,22	4,24	0,47	32,43	0,6824		
CP 24	10	4,00	4,22	4,11	4,12	0,43	29,67	0,6520		

Alvenaria 4

3 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 31	10,2	4,15	4,27	4,21	4,02	0,10	6,90	0,1586	0,1416	0,0228
CP 32	10,2	4,20	4,32	4,26	4,13	0,08	5,52	0,1188		
CP 33	10,4	4,29	4,14	4,22	4,21	0,10	6,90	0,1473		
7 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 34	10,4	4,37	4,24	4,31	4,15	0,25	17,25	0,3710	0,3645	0,0082
CP 35	10,4	4,29	4,18	4,24	4,04	0,23	15,87	0,3661		
CP 36	10,4	4,16	4,29	4,23	4,10	0,23	15,87	0,3563		
28 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr(kgf)	Rf(MPa)	RfMéd (MPa)	DAM<0,3
CP 37	10,4	4,31	4,21	4,26	4,2	0,53	36,57	0,7760	0,7972	0,0213
CP 38	10,2	4,2	4,24	4,22	4,22	0,57	39,33	0,8184		
CP 39	10,3	4,2	4,29	4,25	4,17	0,54	37,26	0,7971		

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Idade (dias)	Tração na Flexão (MPa)			
	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Média
3	0,1159	0,1066	0,1416	0,1213
7	0,2889	0,2705	0,3645	0,3080
28	0,6066	0,6719	0,7972	0,6919



Ensaio 3: Resistência à Compressão (MPa)

Alvenaria 2

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
01A	0,07	48,72	0,2817	0,2796	0,0477
01B	0,07	48,72	0,2817		
02A	0,08	55,68	0,3273		
02B	0,07	48,72	0,2864		
03A	0,06	41,76	0,2503		
03B	0,06	41,76	0,2503		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
04A	0,17	118,32	0,7039	0,6786	0,0635
04B	0,16	111,36	0,6625		
05A	0,15	104,4	0,6151		
05B	0,16	111,36	0,6561		
06A	0,18	125,28	0,7374		
06B	0,17	118,32	0,6964		

28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
07A	0,33	229,68	1,3404	1,5029	0,2199
07B	0,33	229,68	1,3404		
08B	0,42	292,32	1,7228		
08B	0,41	285,36	1,6818		
09A	0,37	257,52	1,5066		
09B	0,35	243,60	1,4252		

Alvenaria 3

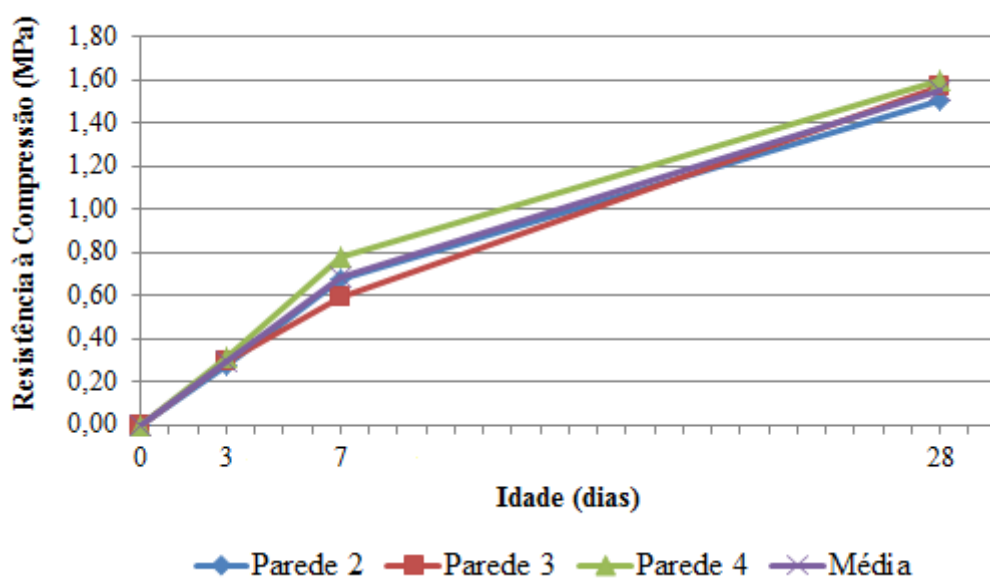
3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
16A	0,07	48,72	0,2875	0,2930	0,0360
16B	0,07	48,72	0,2875		
17A	0,07	48,72	0,2879		
17B	0,08	55,68	0,3290		
18A	0,07	48,72	0,2831		
18B	0,07	48,72	0,2831		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
19A	0,14	97,44	0,5593	0,5977	0,0384
19B	0,15	104,4	0,5992		
20A	0,14	97,44	0,5640		
20B	0,15	104,4	0,6043		
21A	0,16	111,36	0,6296		
21B	0,16	111,36	0,6296		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
22A	0,33	229,68	1,3121	1,5673	0,2552
22B	0,38	264,48	1,5108		
23B	0,40	278,40	1,5922		
23B	0,43	299,28	1,7116		
24A	0,38	264,48	1,5964		
24B	0,40	278,40	1,6805		

Alvenaria 4

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
31A	0,08	55,68	0,3363	0,3131	0,0300
31B	0,07	48,72	0,2942		
32A	0,08	55,68	0,3235		
32B	0,07	48,72	0,2830		
33A	0,08	55,68	0,3207		
33B	0,08	55,68	0,3207		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
34A	0,18	125,28	0,7167	0,7822	0,2483
34B	0,22	153,12	0,8760		
35A	0,18	125,28	0,7484		
35B	0,22	153,12	0,9147		
36A	0,22	153,12	0,9035		
36B	0,13	90,48	0,5339		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
37A	0,37	257,52	1,4711	1,5988	0,0890
37B	0,39	271,44	1,5507		
38A	0,41	285,36	1,6378		
38B	0,40	278,4	1,5979		
39A	0,42	292,32	1,6879		
39B	0,41	285,36	1,6477		

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Idade	Compressão (MPa)			
	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Média
3	0,2796	0,293	0,3131	0,2952
7	0,6786	0,5977	0,7822	0,6862
28	1,5029	1,5673	1,5988	1,5563



Ensaio 4: Absorção (g/cm²)

Alvenaria 2

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 13	468,18	4,18	4,14	478,41	495,50	0,59	1,58
CP 14	496,26	4,24	4,22	506,38	524,6	0,57	1,58
CP 15	493,09	4,05	4,26	503,32	522,57	0,59	1,71
						Média	0,58
							1,62

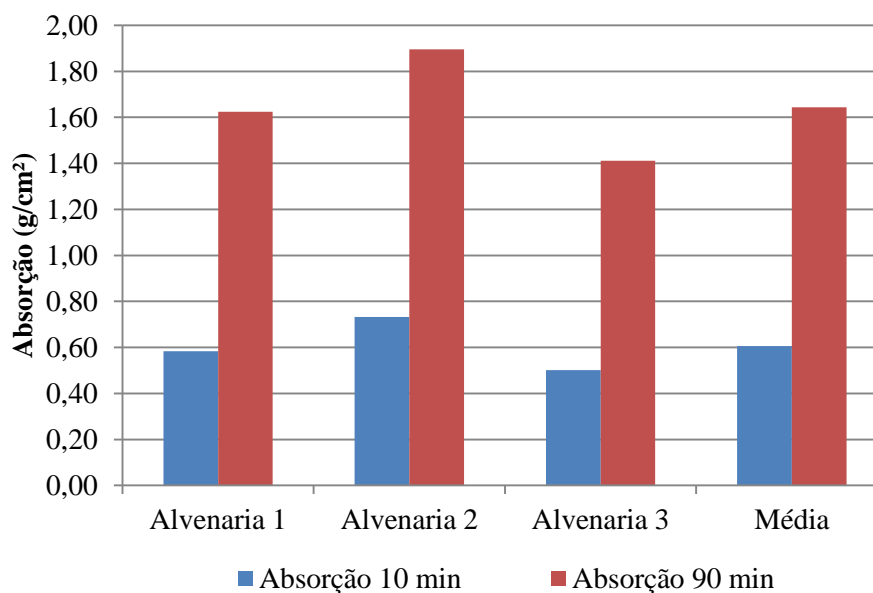
Alvenaria 3

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 28	469,85	4,15	4,20	482,04	500,13	0,70	1,74
CP 29	474,44	4,14	4,26	488,81	511	0,81	2,07
CP 30	452,47	4,19	4,00	463,89	483,92	0,68	1,88
						Média	0,73
							1,90

Alvenaria 3

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 40	518,11	3,9	4,02	526,27	540,23	0,52	1,41
CP 41	516,89	4,16	4,08	525,23	540,04	0,49	1,36
CP 42	505,81	4,00	4,03	513,77	529,3	0,49	1,46
Média						0,50	1,41

Alvenarias	Absorção _{10 min} (g/cm ²)	Absorção _{90 min} (g/cm ²)
2	0,58	1,62
3	0,73	1,90
4	0,50	1,41
Média	0,61	1,64



Ensaio 5: Densidade de Massa Aparente (g/dm³)

Alvenaria 2

CP n	Densidade de Massa Aparente											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 10	4,16	4,22	4,19	4,07	4,08	4,075	16,47	16,48	16,48	510,90	281,30	1816,22
CP 11	4,17	4,19	4,18	4,25	4,21	4,23	16,44	16,43	16,44	517,84	290,59	1782,01
CP 12	4,16	4,13	4,15	4,25	4,22	4,235	16,44	16,43	16,44	523,98	288,50	1816,21
											Média	1804,81

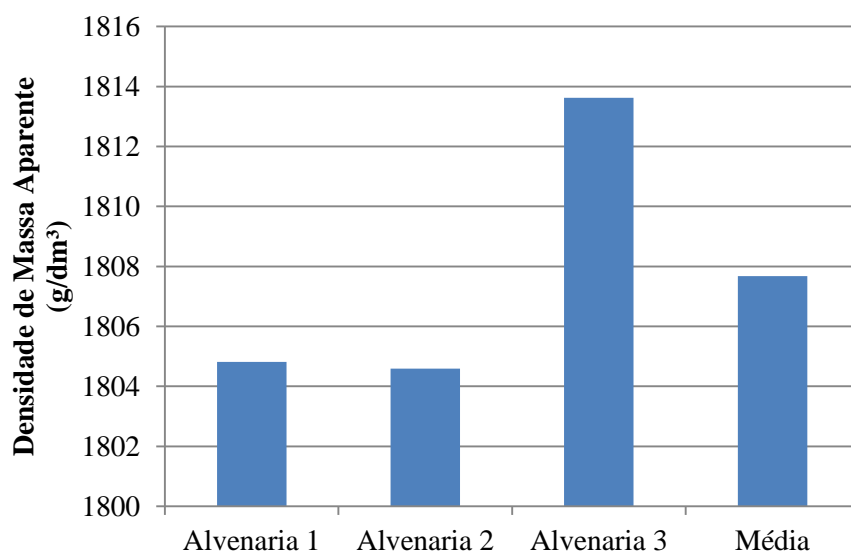
Alvenaria 3

28 dias												
CP n	Densidade de Massa Aparente											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 25	4,25	4,22	4,24	4,22	4,23	4,23	16,41	16,38	16,40	518,16	293,35	1766,33
CP 26	4,19	4,19	4,19	4,21	4,30	4,26	16,34	16,36	16,35	517,09	291,50	1773,92
CP 27	4,00	4,17	4,09	4,14	4,14	4,14	16,11	16,07	16,09	509,81	272,11	1873,53
											Médio	1804,59

Alvenaria 4

28 dias												
CP n	Densidade de Massa Aparente											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 43	4,06	4,05	4,06	4,25	4,28	4,27	16,42	16,40	16,41	508,87	283,80	1793,03
CP 44	4,20	4,23	4,22	4,25	4,18	4,22	16,45	16,40	16,43	532,55	291,81	1824,99
CP 45	4,17	4,10	4,14	4,17	4,24	4,21	16,38	16,40	16,39	519,48	284,98	1822,84
											Média	1813,62

Alvenarias	Densidade de Massa Aparente (g/dm ³)
1	1804,81
2	1804,59
3	1813,62
Média	1807,68



Ensaio 6: Teor de Ar Incorporado (%)

Dados de laboratório									
Traço em volume (cm³) 1: 3: 12: x									
Traço em massa (g) 0,8800: 1,8507: 17,16 x									
		Cimento		Cal		Areia (seca)		Água	
Massa seca (g)		83,941		176,53		1636,833		x	
Massa específica (g/cm³)		2,934		2,315		2,630		1,000	
Temp. argamassa (°C)	20	Temp. ambiente (°C)			21	Umidade ambiente			75%
Umidade da areia	0,79%	Volume do recipiente, v _r (cm³)			459,87	Massa do recipiente, m _v (g)			878,23
Índice de Consistência	IC ₁ (mm)	IC ₂ (mm)	IC ₃ (mm)	IC Média (mm)	x (mL)	m _c (g)	d (g/cm³)	d _r (g/cm³)	A (%)
(180 ± 5) mm	179,3	179,4	183,4	180,7	250	1705,42	1,80	2,20	18,14
(200 ± 5) mm	204,6	202,5	204,7	203,9	270	1708,14	1,80	2,17	16,96
(220 ± 5) mm	220,6	219,9	220,2	220,2	285	1706,12	1,80	2,16	16,5
(240 ± 5) mm	240,6	237,1	237,2	238,3	300	1699,77	1,79	2,14	16,48
(260 ± 5) mm	259,9	258,5	256,4	258,3	320	1687,03	1,759	2,12	16,93
(280 ± 5) mm	276,4	275,1	275,6	275,7	342	1675,54	1,734	2,09	17,21

APÊNDICE C



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
 Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
 Departamento de Engenharia Civil
 Campus Universitário, s/n
 36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
 Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

ENSAIOS

Assunto:	Caracterização das Argamassas de REVESTIMENTO - Traço 1:3:12		
Data:	02/04/2017	Local:	UFV
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler		
		Versão:	01

Todas as argamassas de traços 1:3:12 produzidas para revestimento dos tijolos cerâmicos foram distribuídas em 4 (quatro) alvenarias diferentes. Segue os ensaios realizados:

Massas Unitárias dos Materiais (kg/l)

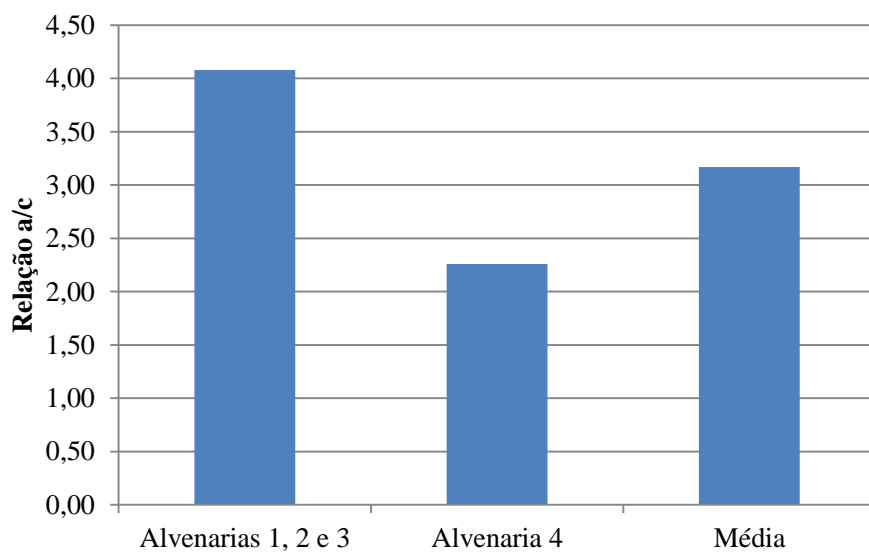
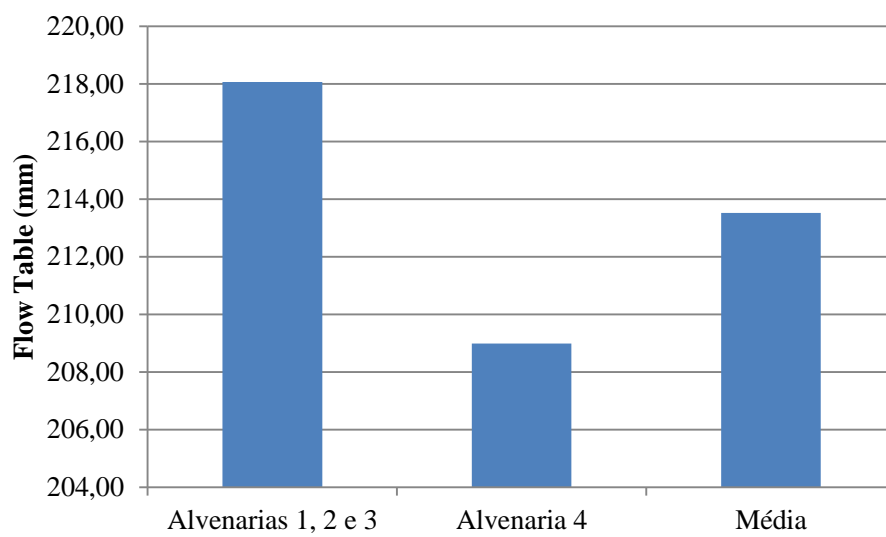
Material	Massas unitárias (kg/l)		
	1ª amostra	2ª amostra	Média
Cimento CP III 40 RS	0,8905	0,8993	0,8949
Cal CH III	0,5056	0,5155	0,5106
Areia Natural	1,4300	1,4330	1,4315

Teor de Umidade da Areia (%)

Alvenarias 1, 2 e 3	Amostra	
	Peso inicial	500,25
	Peso final	493,09
	Umidade da Areia (%)	1,45
Alvenaria 4	Amostra	
	Peso inicial	500,23
	Peso final	496,41
	Umidade da Areia (%)	0,77

Ensaio 1: Índice de Consistência ou Flow Table (mm)

Alvenarias 1, 2 e 3	Valores Médios			
	Umid. (%)	84%	Temp. (°C)	15,81
	Temp. da Arg. (°C)	16,17	FLOW TABLE (mm)	218,06
	Relação a/c	4,08		
Alvenaria 4	Valores Médios			
	Umid. (%)	55%	Temp. (°C)	23,7
	Temp. da Arg. (°C)	20,00	FLOW TABLE (mm)	208,98
	Relação a/c	2,26		



Ensaio 2: Resistência à Tração na Flexão

Alvenarias 1, 2 e 3

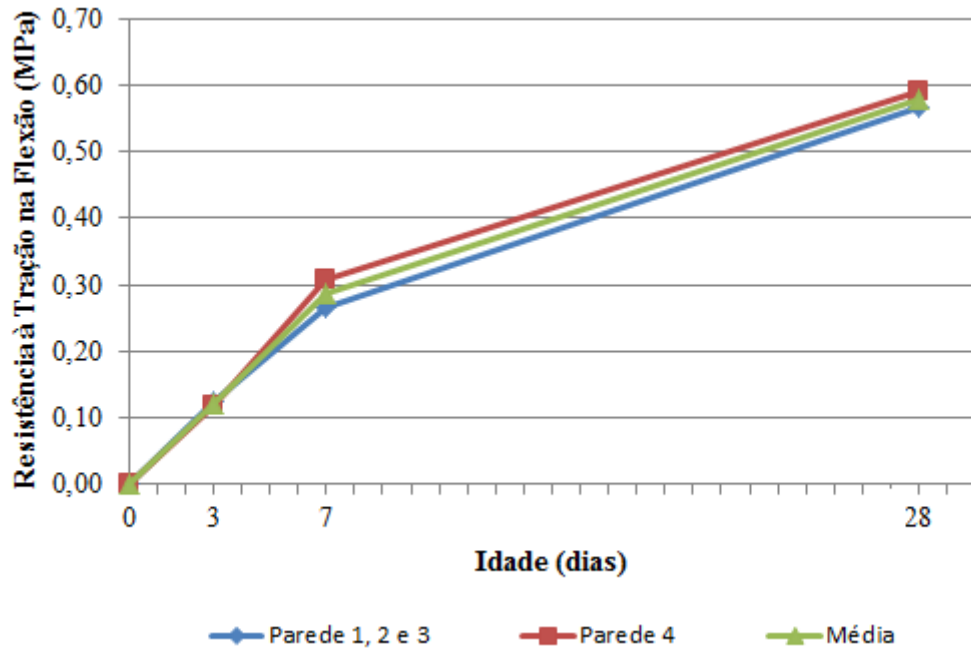
3 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 76	10,5	4,27	4,19	4,23	4,2	0,08	5,52	0,1191	0,1243	0,0076	
CP 77	10,3	4,21	4,22	4,22	4,12	0,08	5,52	0,1218			
CP 78	10,4	4,08	4,22	4,15	4,01	0,08	5,52	0,1319			
7 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 79	10,5	4,23	4,27	4,25	4,15	0,16	11,04	0,2428	0,2646	0,0251	
CP 80	10,4	4,22	4,27	4,25	4,23	0,20	13,8	0,2897			
CP 81	10,4	4,19	4,2	4,20	4,13	0,17	11,73	0,2614			
28 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 82	10,5	4,13	4,24	4,19	4,11	0,36	24,84	0,5657	0,5678	0,0255	
CP 83	10,4	4,45	4,38	4,42	4,15	0,41	28,29	0,5932			
CP 84	10,5	4,27	4,31	4,29	4,08	0,35	24,15	0,5444			

Alvenaria 4

3 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 121	10,3	4,21	4,15	4,18	4,15	0,07	4,83	0,1060	0,1167	0,0107	
CP 122	10,4	4,25	4,26	4,26	4,13	0,08	5,52	0,1213			
CP 123	10,5	4,18	4,18	4,18	4,16	0,08	5,52	0,1228			
7 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 124	10,4	4,21	4,17	4,19	4,22	0,20	13,8	0,2949	0,3062	0,0357	
CP 125	10,4	4,19	4,23	4,21	3,97	0,17	11,73	0,2819			
CP 126	10,4	4,00	4,18	4,09	4,16	0,22	15,18	0,3420			
28 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 127	10,3	4,22	4,16	4,19	4,12	0,38	26,22	0,5822	0,5924	0,0239	
CP 128	10,3	4,01	4,07	4,04	4,19	0,37	25,53	0,5684			
CP 129	10,3	4,19	4,21	4,20	4,07	0,40	27,6	0,6265			

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Idade (dias)	Tração na Flexão (MPa)		
	Parede 1,2 e 3	Parede 4	Média
3	0,1243	0,1167	0,1205
7	0,2646	0,3062	0,2854
28	0,5678	0,5924	0,5801



Ensaio 3: Resistência à Compressão (MPa)

Alvenarias 1, 2 e 3

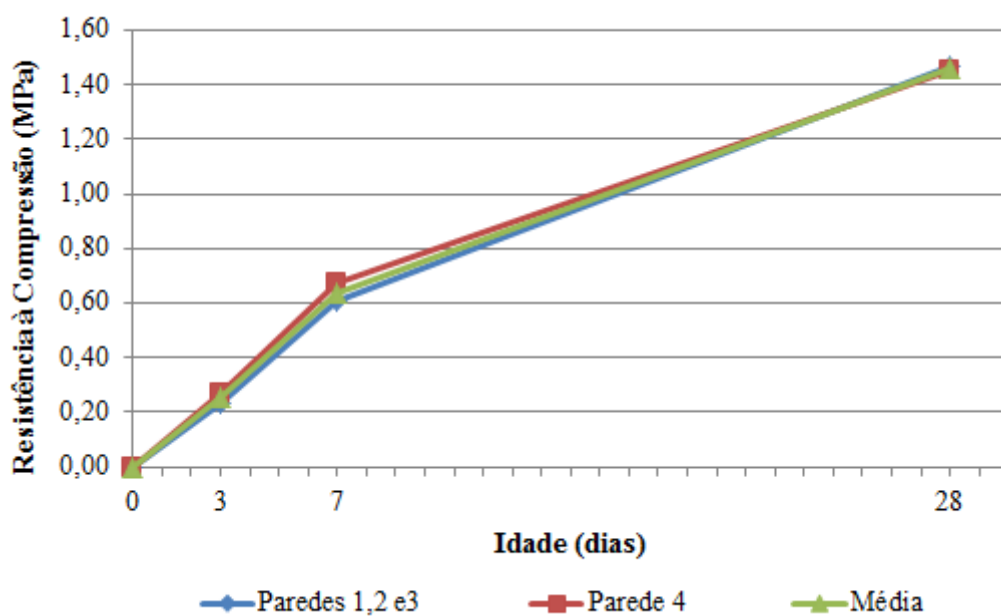
3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
76A	0,05	34,80	0,2002	0,2342	0,0340
76B	0,05	34,80	0,2002		
77A	0,06	41,76	0,2458		
77B	0,06	41,76	0,2458		
78A	0,06	41,76	0,2565		
78B	0,06	41,76	0,2565		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
79A	0,14	97,44	0,5647	0,6049	0,0403
79B	0,15	104,4	0,6050		
80A	0,15	104,4	0,5943		
80B	0,16	111,36	0,6339		
81A	0,15	104,4	0,6159		
81B	0,15	104,4	0,6159		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
82A	0,34	236,64	1,4062	1,4691	0,0754
82B	0,33	229,68	1,3649		
83B	0,38	264,48	1,4754		
83B	0,36	250,56	1,3978		
84A	0,40	278,40	1,6257		
84B	0,38	264,48	1,5445		

Alvenaria 4

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
121A	0,07	48,72	0,2871	0,2721	0,0292
121B	0,07	48,72	0,2871		
122A	0,06	41,76	0,2429		
122B	0,06	41,76	0,2429		
123A	0,07	48,72	0,2864		
123B	0,07	48,72	0,2864		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
124A	0,15	104,40	0,6035	0,6721	0,0686
124B	0,16	111,36	0,6437		
125A	0,17	118,32	0,7236		
125B	0,17	118,32	0,7236		
126A	0,16	111,36	0,6690		
126B	0,16	111,36	0,6690		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
127A	0,35	243,6	1,4423	1,4563	0,1955
127B	0,36	250,56	1,4835		
128A	0,36	250,56	1,5129		
128B	0,30	208,8	1,2608		
129A	0,34	236,64	1,4150		
129B	0,39	271,44	1,6230		

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Idade (dias)	Compressão (MPa)		
	Parede 1,2 e 3	Parede 4	Média
3	0,2342	0,2721	0,2531
7	0,6049	0,6721	0,6385
28	1,4691	1,4563	1,4627



Ensaio 4: Absorção (g/cm²)

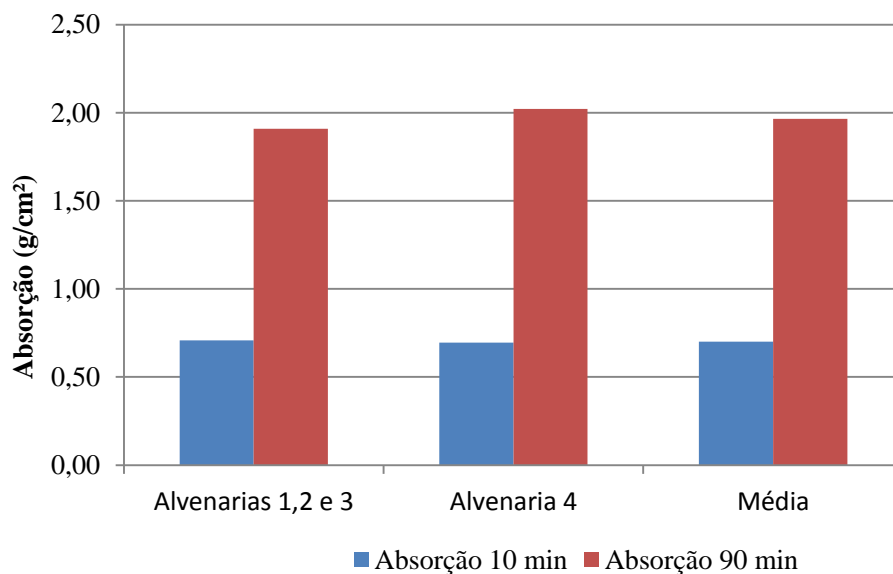
Alvenaria 1, 2 e 3

28 dias								
CP n	Absorção por Capilaridade							
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)	
CP 85	472,30	4,20	4,12	485,24	507,47	0,75	2,03	
CP 86	476,85	4,27	4,01	488,43	506,89	0,68	1,75	
CP 87	446,62	4,09	4,20	458,62	479,98	0,70	1,94	
						Média	0,71	1,91

Alvenaria 4

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 133	468,48	4,21	4,03	480,33	503,19	0,70	2,05
CP 134	477,84	4,10	4,13	489,74	512,64	0,70	2,06
CP 135	485,51	4,12	4,22	497,38	519,62	0,68	1,96
Média						0,69	2,02

Alvenarias	Absorção _{10 min} (g/cm ²)	Absorção _{90 min} (g/cm ²)
Alvenarias 1,2 e 3	0,71	1,91
Alvenaria 4	0,69	2,02
Média	0,70	1,97



Ensaio 5: Densidade de Massa Aparente (g/dm³)

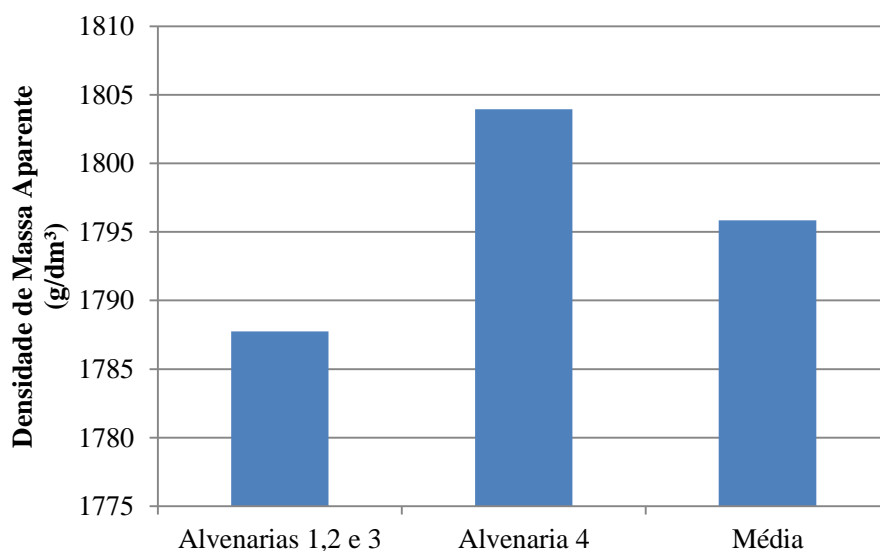
Alvenarias 1,2 e 3

CP n	Densidade de Massa Aparente											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 88	4,06	4,06	4,06	4,22	4,34	4,28	16,48	16,53	16,51	509,69	286,80	1777,14
CP 89	4,18	4,15	4,17	4,33	4,23	4,28	16,45	16,50	16,48	524,00	293,69	1784,21
CP 90	4,24	4,25	4,25	4,13	4,16	4,15	16,46	16,48	16,47	522,19	289,80	1801,91
Média												1787,75

Alvenaria 4

28 dias												
CP n	Densidade de Massa Aparente											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 127	4,14	4,11	4,13	4,15	4,17	4,16	16,47	16,41	16,44	510,53	282,11	1809,68
CP 128	4,17	4,19	4,18	4,1	4,06	4,08	16,35	16,40	16,38	496,67	279,27	1778,48
CP 129	4,08	4,07	4,08	4,16	4,15	4,16	16,43	16,44	16,44	507,49	278,27	1823,72
Média												1803,96

Alvenarias	Densidade de Massa Aparente (g/dm ³)
Alvenaria 1, 2 e 3	1787,75
Alvenaria 4	1803,96
Média	1795,86



Alvenaria 3

Idade do Revestimento: 7 meses (Data de fabricação: 09/08/16 e Data do ensaio: 02/03/17)

3. Coleta de Dados																
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past
Parede Ext. 3 - Pintel 1:3:12																
49	45,93	46,34	46,14	1672	x		9,20	90	0,05					5	95	
50	44,99	44,49	44,74	1572	x		23,30	228	0,15		10			75	15	
51	46,90	46,74	46,82	1722			19,20	188	0,11					95	5	
52	45,98	44,64	45,31	1612			26,60	260	0,16						100	
53	45,06	45,21	45,14	1600			31,20	305	0,19						100	
54	45,46	44,03	44,75	1572			36,00	352	0,22						100	

Alvenaria 4

Idade do Revestimento: 6 meses (Data de fabricação: 29/08/16 e Data do ensaio: 02/03/17)

3. Coleta de Dados																
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past
Parede Ext. 4 - Pintel 1:3:12																
74	44,00	43,53	43,77	1504	x		8,80	86	0,06						100	
75	46,64	45,00	45,82	1649		x	23,70	232	0,14						100	
76	46,44	46,65	46,55	1702			18,10	177	0,10						100	
77	47,26	47,55	47,41	1765			59,80	585	0,33		30	50			20	
78	46,31	46,19	46,25	1680			33,00	323	0,19						100	
79	47,11	45,40	46,26	1680			12,60	123	0,07					25	75	

Alvenarias 1 e 2

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 1 - Pintel 1:3:12					
25	138,51	138,02	0,36		28,41
27	142,69	142,12	0,40	0,43	30,25
30	146,61	145,81	0,55		26,91
Alvenaria Ext. 2 - Pintel 1:3:12					
1	151,48	150,92	0,37		29,05
3	148,5	147,86	0,43	0,36	30,11
5	245,09	244,41	0,28		33,52

Alvenaria 3

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 3 - Pintel 1:3:12					
49	65,64	65,14	0,77		29,49
50	39,71	39,42	0,74	0,74	25,05
51	64,57	64,11	0,72		25,32

Alvenaria 4

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 4 - Paineis 1:3:12					
77	54,24	53,68	1,04		26,32
78	68,47	67,82	0,96	0,97	30,57
79	59,16	58,63	0,90		31,29

APÊNDICE D



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário, s/n
36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

ENSAIOS

Assunto:	Caracterização das Argamassas de REVESTIMENTO - Traço 1:2:9				
Data:	02/04/2017	Local:	UFV	Versão:	01
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler				

Todas as argamassas de traços 1:2:9 produzidas para revestimento dos tijolos cerâmicos foram distribuídas em 4 (quatro) alvenarias diferentes. Segue os ensaios realizados:

Massas Unitárias dos Materiais (kg/l)

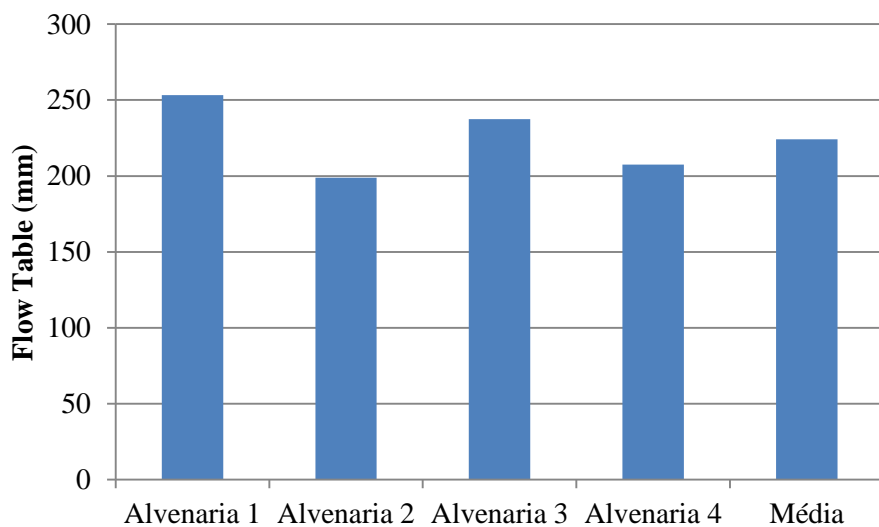
Material	Massas unitárias (kg/l)		
	1ª amostra	2ª amostra	Média
Cimento CP III 40 RS	0,8905	0,8993	0,8949
Cal CH III	0,5056	0,5155	0,5106
Areia Natural	1,4300	1,4330	1,4315

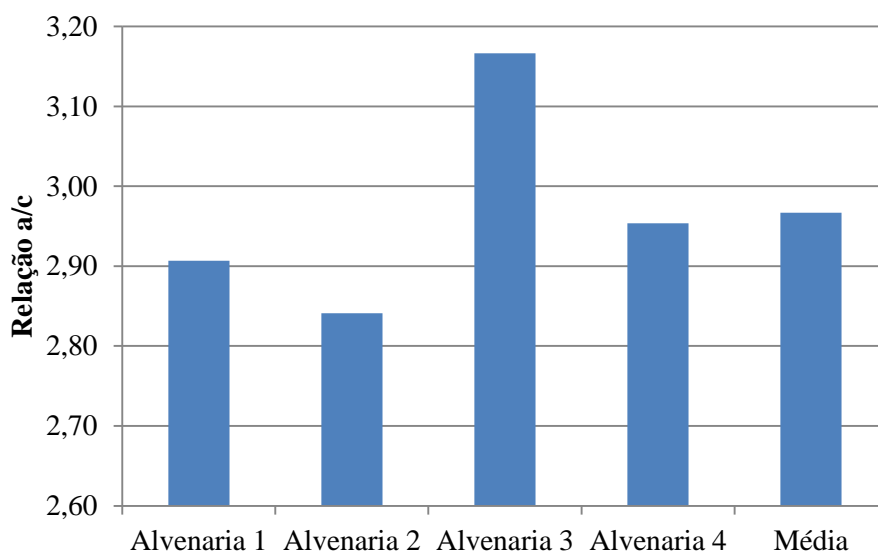
Teor de Umidade da Areia (%)

Alvenaria	Amostra	
	P inicial	
Alvenaria 1	P inicial	500,12
	P final	483,29
	Umidade da Areia (%)	3,48
Alvenaria 2	Amostra	
	P inicial	500,22
	P final	489,03
Umidade da Areia (%)	2,29	
Alvenaria 3	Amostra	
	P inicial	500,04
	P final	491,59
Umidade da Areia (%)	1,72	
Alvenaria 4	Amostra	
	P inicial	500,04
	P final	486,78
Umidade da Areia (%)	2,72	

Ensaio 1: Índice de Consistência ou Flow Table (mm)

Alvenaria 1	Valores Médios				
	Umid. (%)	58%	Temp. (°C)	22,54	
	Temp. da Arg. (°C)		19,50	FLOW TABLE (mm)	253,19
	Relação a/c		2,91		
Alvenaria 2	Valores Médios				
	Umid. (%)	69%	Temp. (°C)	13,2	
	Temp. da Arg. (°C)		19,17	FLOW TABLE (mm)	198,77
	Relação a/c		2,84		
Alvenaria 3	Valores Médios				
	Umid. (%)	69%	Temp. (°C)	21,6	
	Temp. da Arg. (°C)		19,75	FLOW TABLE (mm)	237,38
	Relação a/c		3,17		
Alvenaria 4	Valores Médios				
	Umid. (%)	64%	Temp. (°C)	23,2	
	Temp. da Arg. (°C)		20,38	FLOW TABLE (mm)	207,60
	Relação a/c		2,954		





Ensaio 2: Resistência à Tração na Flexão (MPa)

Alvenaria 1

3 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 46	10,2	4,28	4,39	4,34	4,23	0,25	17,25	0,3478	0,3125	0,0352	
CP 47	10,2	4,25	4,24	4,25	4,14	0,21	14,49	0,3114			
CP 48	10,2	4,19	4,24	4,22	4,18	0,19	13,11	0,2784			
7 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 49	10,3	4,29	4,22	4,26	4,10	0,46	31,74	0,7008	0,6867	0,0380	
CP 50	10,3	4,28	4,22	4,25	4,17	0,44	30,36	0,6487			
CP 51	10,2	4,24	4,3	4,27	4,00	0,45	31,05	0,7107			
28 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3	
CP 51	10,3	4,27	4,14	4,21	4,14	0,79	54,51	1,1944	1,0962	0,0982	
CP 52	10,2	4,16	4,22	4,19	4,2	0,73	50,37	1,0657			
CP 53	10,3	4,26	4,27	4,27	4,11	0,68	46,92	1,0285			

Alvenaria 2

3 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 61	10,4	4,32	4,15	4,24	4,18	0,19	13,11	0,2825	0,2785	0,0040
CP 62	10,3	4,20	4,50	4,35	4,12	0,19	13,11	0,2804		
CP 63	10,4	4,2	4,32	4,26	4,13	0,18	12,42	0,2725		
7 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 64	10,4	4,19	4,19	4,19	4,20	0,39	26,91	0,5805	0,5765	0,0040
CP 65	10,3	4,18	4,21	4,20	4,14	0,38	26,22	0,5759		
CP 66	10,3	4,16	4,19	4,18	4,16	0,38	26,22	0,5731		
28 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 67	10,4	4,16	4,14	4,15	4,22	0,77	53,13	1,1463	1,1213	0,0513
CP 68	10,4	4,17	4,19	4,18	4,09	0,68	46,92	1,0699		
CP 69	10,4	4,18	4,13	4,16	4,16	0,75	51,75	1,1476		

Alvenaria 3

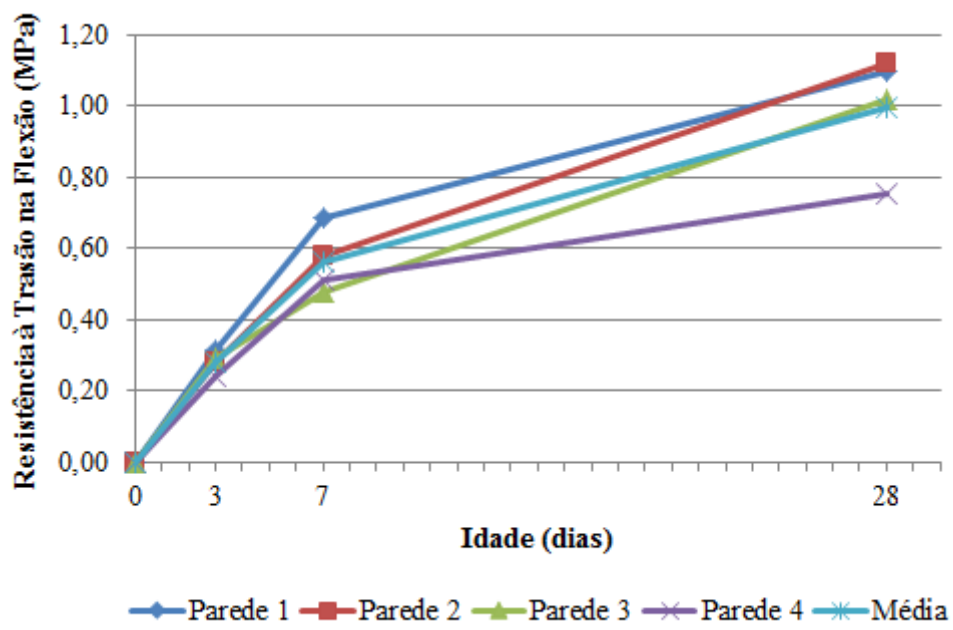
3 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 91	10,3	4,20	4,20	4,20	4,14	0,20	13,8	0,3027	0,2907	0,0215
CP 92	10,2	4,28	4,23	4,26	4,23	0,19	13,11	0,2693		
CP 93	10,3	4,20	4,23	4,22	4,15	0,20	13,8	0,3002		
7 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 94	10,4	4,3	4,34	4,32	4,15	0,32	22,08	0,4732	0,4753	0,0099
CP 95	10,4	4,43	4,4	4,42	4,13	0,32	22,08	0,4675		
CP 96	10,4	4,36	4,4	4,38	4,07	0,32	22,08	0,4852		
28 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 97	10,2	4,31	4,24	4,28	4,15	0,74	51,06	1,0845	1,0174	0,0926
CP 98	10,2	4,17	4,16	4,17	4,17	0,70	48,30	1,0429		
CP 105'	10,3	4,20	4,25	4,23	4,29	0,66	45,54	0,9249		

Alvenaria 4

3 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 151	10,4	4,20	4,25	4,23	4,17	0,18	12,42	0,2696	0,2405	0,0270
CP 152	10,4	4,18	4,24	4,21	4,14	0,14	9,66	0,2135		
CP 153	10,4	4,20	4,25	4,23	4,18	0,16	11,04	0,2385		
7 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 154	10,4	4,32	4,25	4,29	4,12	0,35	24,15	0,5294	0,5128	0,0166
CP 155	10,4	4,35	4,26	4,31	4,24	0,35	24,15	0,4975		
CP 156	10,4	4,09	4,24	4,17	4,19	0,34	23,46	0,5116		
28 dias										
CP n	Resistência à Tração na Flexão									
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	Fr (kgf)	Rf (MPa)	Rf Méd (MPa)	DAM<0,3
CP 160	10,5	4,27	4,28	4,28	4,13	0,51	35,19	0,7769	0,7557	0,0323
CP 161	10,4	4,30	4,24	4,27	4,24	0,49	33,81	0,7023		
CP 162	10,3	4,1	4,21	4,16	4,16	0,52	35,88	0,7880		

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Dias	Tração na Flexão				
	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Média
3	0,3125	0,2785	0,2907	0,2405	0,2806
7	0,6867	0,5765	0,4753	0,5128	0,5629
28	1,0962	1,1213	1,0174	0,7557	0,9977



Ensaio 3: Resistência à Compressão (MPa)

Alvenaria 1

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
46A	0,15	104,40	0,5819	0,6718	0,0899
46B	0,17	118,32	0,6595		
47A	0,17	118,32	0,6881		
47B	0,17	118,32	0,6881		
48A	0,18	125,28	0,7268		
48B	0,17	118,32	0,6864		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
48A	0,39	271,44	1,5903	1,5802	0,1351
48B	0,38	264,48	1,5496		
50A	0,40	278,4	1,6056		
50B	0,36	250,56	1,4451		
51A	0,39	271,44	1,6244		
51B	0,40	278,4	1,6660		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
51A	0,82	570,72	3,3509	3,2161	0,1523
51B	0,74	515,04	3,0239		
52B	0,76	528,96	3,0723		
52B	0,78	542,88	3,1531		
53A	0,82	570,72	3,3278		
53B	0,83	577,68	3,3684		

Alvenaria 2

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
61A	0,16	111,36	0,6430	0,6282	0,0217
61B	0,16	111,36	0,6430		
62A	0,16	111,36	0,6351		
62B	0,16	111,36	0,6351		
63A	0,15	104,40	0,6065		
63B	0,15	104,40	0,6065		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
64A	0,31	215,76	1,2532	1,3052	0,1285
64B	0,31	215,76	1,2532		
65A	0,35	243,6	1,4337		
65B	0,3	208,8	1,2288		
66A	0,33	229,68	1,3517		
66B	0,32	222,72	1,3107		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
67A	0,74	515,04	3,0059	3,0575	0,1049
67B	0,74	515,04	3,0059		
68B	0,76	528,96	3,1624		
68B	0,75	522,00	3,1208		
69A	0,75	522,00	3,0868		
69B	0,72	501,12	2,9633		

Alvenaria 3

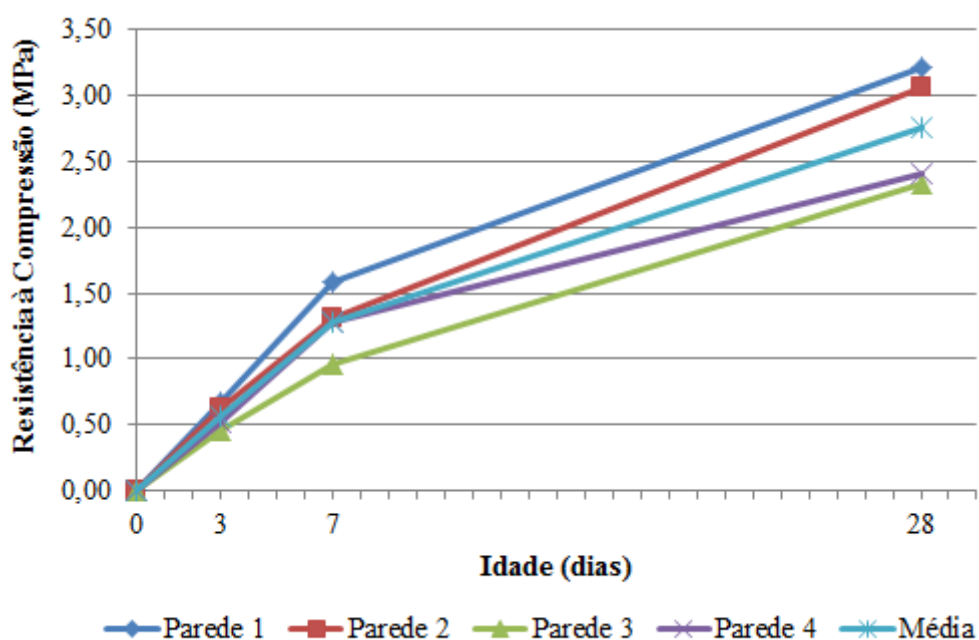
3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
91A	0,10	69,60	0,4091	0,4578	0,0709
91B	0,12	83,52	0,4910		
92A	0,11	76,56	0,4348		
92B	0,10	69,60	0,3952		
93A	0,12	83,52	0,4880		
93B	0,13	90,48	0,5287		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
94A	0,23	160,08	0,9127	0,9551	0,1163
94B	0,27	187,92	1,0714		
95A	0,25	174,00	0,9754		
95B	0,25	174,00	0,9754		
96A	0,23	160,08	0,9178		
96B	0,22	153,12	0,8779		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
97A	0,54	375,84	2,1653	2,3333	0,2881
97B	0,56	389,76	2,2455		
98B	0,58	403,68	2,3757		
98B	0,64	445,44	2,6214		
105'A	0,63	438,48	2,4727		
105'B	0,54	375,84	2,1194		

Alvenaria 4

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd} (MPa)	DAM<0,5
151A	0,13	90,48	0,5249	0,5128	0,0230
151B	0,13	90,48	0,5249		
152A	0,12	83,52	0,4898		
152B	0,12	83,52	0,4898		
153A	0,13	90,48	0,5237		
153B	0,13	90,48	0,5237		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
154A	0,29	201,84	1,1686	1,2723	0,1037
154B	0,32	222,72	1,2895		
155A	0,34	236,64	1,3251		
155B	0,35	243,60	1,3641		
156A	0,32	222,72	1,3045		
156B	0,29	201,84	1,1822		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R_{c méd}(MPa)	DAM<0,5
160A	0,59	410,64	2,3772	2,4152	0,1777
160B	0,63	438,48	2,5384		
161A	0,60	417,6	2,3576		
161B	0,58	403,68	2,2790		
162A	0,63	438,48	2,5929		
162B	0,57	396,72	2,3460		

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Dias	Compressão				
	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Média
3	0,6718	0,6282	0,4578	0,5128	0,5677
7	1,5802	1,3052	0,9551	1,2723	1,2782
28	3,2161	3,0575	2,3333	2,4152	2,7555



Ensaio 4: Absorção (g/cm²)

Alvenaria 1

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade (g/cm ²)						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 55	498,06	4,11	4,17	504,82	517,23	0,39	1,12
CP 56	512,03	4,14	4,17	517,60	527,43	0,32	0,89
CP 57	515,85	4,14	4,13	521,58	531,55	0,34	0,92
						Média	0,35
							0,98

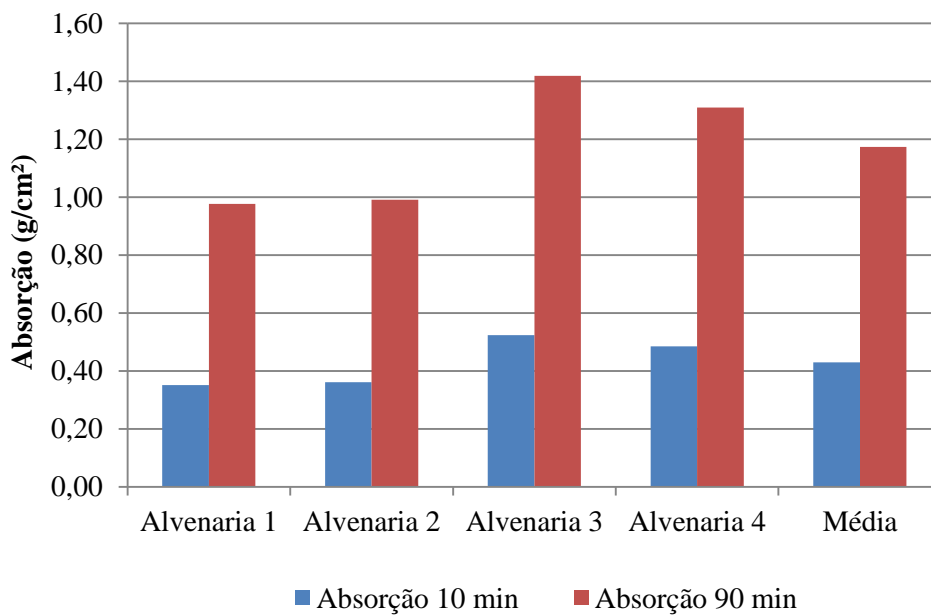
Alvenaria 2

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade (g/cm ²)						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 70	494,84	4,18	4,16	500,56	510,34	0,33	0,89
CP 71	504,21	4,20	4,14	510,47	521,11	0,36	0,97
CP 72	497,21	4,02	4,24	503,94	516,15	0,39	1,11
						Média	0,36
							0,99

Alvenaria 4

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade (g/cm ²)						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 157	456,28	4,21	4,03	464,52	479,54	0,49	1,37
CP 158	479,49	4,10	4,23	487,76	501,76	0,48	1,28
CP 159	501,07	4,20	4,13	509,59	523,17	0,49	1,27
Média						0,48	1,31

Alvenarias	Absorção _{10 min} (g/cm ²)	Absorção _{90 min} (g/cm ²)
1	0,35	0,98
2	0,36	0,99
3	0,52	1,42
4	0,48	1,31
Média	0,43	1,17



Ensaio 5: Densidade de Massa Aparente (g/dm³)

Alvenaria 1

28 dias												
CP n	Densidade de Massa Aparente (g/dm ³)											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 58	4,07	4,20	4,14	4,30	4,27	4,29	16,31	16,40	16,36	525,40	289,79	1813,06
CP 59	4,18	4,14	4,16	4,21	4,20	4,21	16,39	16,40	16,40	535,15	286,79	1865,97
CP 60	4,20	4,22	4,21	4,16	4,12	4,14	16,40	16,41	16,41	529,99	285,93	1853,57
											Médio	1844,20

Alvenaria 2

28 dias												
CP n	Densidade de Massa Aparente (g/dm ³)											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 73	4,19	4,15	4,17	4,16	4,21	4,19	16,33	16,32	16,33	527,87	284,89	1852,86
CP 74	4,16	4,09	4,13	4,27	4,30	4,29	16,35	16,36	16,36	536,28	289,08	1855,10
CP 75	4,11	4,12	4,12	4,23	4,29	4,26	16,39	16,50	16,45	535,25	288,28	1856,71
											Médio	1854,89

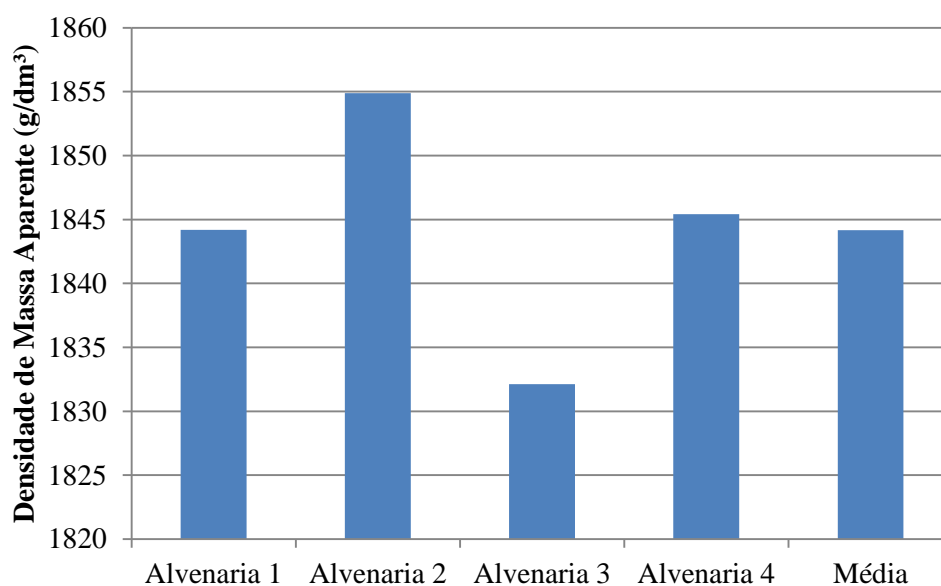
Alvenaria 3

28 dias												
CP n	Dennsidade de Massa Aparente (g/dm ³)											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 103	4,10	4,07	4,09	4,40	4,34	4,37	16,32	16,37	16,35	533,59	291,78	1828,73
CP 104	4,17	4,10	4,14	4,16	4,19	4,18	16,35	16,35	16,35	510,45	282,26	1808,44
CP 105	4,12	4,16	4,14	4,21	4,23	4,22	16,06	16,09	16,08	522,14	280,84	1859,19
											Médio	1832,12

Alvenaria 4

28 dias												
CP n	Densidade de Massa Aparente (g/dm ³)											
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)
CP 160	4,12	4,14	4,13	4,30	4,28	4,29	16,57	16,64	16,61	544,13	294,20	1849,51
CP 161	4,19	4,18	4,19	4,23	4,28	4,26	16,54	16,61	16,58	546,16	295,15	1850,42
CP 162	4,13	4,18	4,16	4,15	4,20	4,18	16,41	16,42	16,42	522,89	284,75	1836,29
											Médio	1845,41

Alvenarias	Densidade de Massa Aparente
1	1844,20
2	1854,89
3	1832,12
4	1845,41
Média	1844,15



Ensaio 6: Teor de Ar Incorporado (%)

Dados de laboratório									
Traço em volume (cm³) 1: 2: 9									
Traço em massa (g) 0,8800: 1,2338: 12,8700 : x									
		Cimento		Cal		Areia		Água	
Massa seca (g)		105,39		147,76		1541,31		x	
Massa específica (g/cm³)		2,930		2,315		2,630		1,000	
Temp. argamassa (°C)	20,5	Temp. ambiente (°C)			21,05	Umidade ambiente		80%	
Umidade da areia	0,79%	Volume do recipiente, v _r (cm³)			459,87	Massa do recipiente, m _v (g)		878,13	
Índice de Consistência	IC ₁ (mm)	IC ₂ (mm)	IC ₃ (mm)	IC Média (mm)	x (mL)	m _c (g)	d (g/cm³)	d _r (g/cm³)	A (%)
(190 ± 5) mm	190,0	196,0	195,0	193,7	215	1684,55	1,75	2,231	21,39
		Cimento		Cal		Areia		Água	
Massa seca (g)		108,55		152,19		1587,55		x	
Índice de Consistência	IC ₁ (mm)	IC ₂ (mm)	IC ₃ (mm)	IC Média (mm)	x (mL)	m _c (g)	d (g/cm³)	d _r (g/cm³)	A (%)
(210 ± 5) mm	212,3	207,8	210,7	210,3	245	1698,37	1,78	2,191	18,59
(230 ± 5) mm	231,8	227,7	233,2	230,9	269	1696,13	1,78	2,161	17,69
(250 ± 5) mm	252,4	250,5	250,6	251,2	284	1681,89	1,75	2,143	18,44
(270 ± 5) mm	270,6	264,8	267,2	267,5	299	1679,85	1,74	2,126	17,99
(280 ± 5) mm	282,1	282,9	281,3	282,1	321	1675,94	1,73	2,101	17,43

Ensaio 7: Resistência de Aderência à Tração (MPa)

1. Informações do Sistema de Revestimento									
Substrato: (X) Bloco cerâmico () Bloco de concreto () Estrutura de concreto () Outro :									
Chapisco: () Não (X) Sim									
Argamassa: () Cimento (X) Mista : com cal () Industrializada									
Tipo de aplicação da argamassa: (X) Manual () Mecânica									

2. Informações da Metodologia do Ensaio									
Equipamento de corte - Marca: Furadeira com engate tipo serra copo - Makita					Modelo: PA6-GF30				
Cola: à base de Resina Epóxi - Tecnobond MF quartzolit Componentes A e B / Weber Sait-Gobain									
Dinamômetro de tração - Marca: Alfa Instrumentos					Modelo: 3105C				

Alvenarias 1 e 2

Idade do Revestimento: 6 meses (Data de fabricação: 05 e 08/08/16 e Data do ensaio: 06/02/17)
--

3. Coleta de Dados																	
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)							
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past	Falha
Parede Ext. 1 - Painel 1:2:9																	
31	43,37	43,78	43,58	1491	x		1,70	17	0,01				5	95			
32	48,11	41,71	44,91	1584		x	56,30	551	0,35		15		20	65			
33	47,91	47,45	47,68	1786			29,60	290	0,16				40	60			
34	47,36	47,10	47,23	1752		x	27,00	264	0,15		10		15	75			
35	47,79	47,05	47,42	1766			33,90	332	0,19			35	50	15			
36	47,43	46,72	47,08	1740			15,70	154	0,09		65		35				

3. Coleta de Dados																	
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)							
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past	Falha
Parede Ext. 2 - Painel 1:2:9																	
7	46,70	46,57	46,64	1708	x		19,10	187	0,11			100					
8	47,89	47,30	47,60	1779		x	71,80	702	0,39			100					
9	48,05	48,05	48,05	1813	x		37,60	368	0,20		40			60			
10	47,47	48,07	47,77	1792			49,60	485	0,27			40	10	50			
11	47,92	48,12	48,02	1811			19,00	186	0,10				90	10			
12	46,63	46,10	46,37	1688	x		25,50	249	0,15		15		15	70			

3. Coleta de Dados																	
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)							
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past	Falha
Parede Int. 1 - Painel 1:2:9																	
43	48,43	48,39	48,41	1841	x		5,40	53	0,03			90	10				
44	48,73	48,90	48,82	1872		x	63,40	620	0,33			50	50				
45	48,48	48,78	48,63	1857		x	105,60	1033	0,56					100			
46	48,51	48,60	48,56	1852		x	72,30	707	0,38		35		40	25			
47	45,40	45,15	45,28	1610			87,20	853	0,53					100			
48	47,90	48,90	48,40	1840			68,00	665	0,36					100			

3. Coleta de Dados																	
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)							
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past	Falha
Parede Int. 2 - Painel 1:2:9																	
19	48,36	47,81	48,09	1816		x	69,50	680	0,37					100			
20	49,01	48,69	48,85	1874			70,90	694	0,37			30		70			
21	47,72	48,21	47,97	1807			46,10	451	0,25				85	15			
22	47,85	48,21	48,03	1812			31,60	309	0,17		10	20	70				
23	48,66	48,23	48,45	1843			41,00	401	0,22				20	80			
24	47,64	48,13	47,89	1801			49,40	483	0,27				25	75			

Alvenaria 3

Idade do Revestimento: 7 meses (Data de fabricação: 09/08/16 e Data do ensaio: 02/03/17)

3. Coleta de Dados																	
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)							
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past	Falha
Parede Ext. 3 - Pintel 1:2:9																	
55	44,65	45,15	44,90	1583		x	36,10	353	0,22	40	25		35				
56	45,51	46,45	45,98	1660		x	23,20	227	0,14					100			
57	47,43	47,22	47,33	1759		x	44,30	433	0,25	45	20		35				
58	47,33	47,09	47,21	1750			55,70	545	0,31	15	10		75				
59	46,79	47,52	47,16	1746			10,20	100	0,06		30		70				
60	46,88	47,99	47,44	1767		x	23,90	234	0,13	25			20	55			
Parede Int. 3 - Pintel 1:2:9																	
68	46,47	46,75	46,61	1706			62,40	610	0,36				10	90			
69	47,03	46,53	46,78	1719	x		53,20	520	0,30		30		70				
70	46,67	47,17	46,92	1729		x	44,30	433	0,25	20			70	10			
71	46,62	46,44	46,53	1700		x	30,70	300	0,18	30	60		10				
72	47,19	47,09	47,14	1745		x	68,20	667	0,38		10		85	5			
73	45,42	45,22	45,32	1613			34,50	338	0,21	65				35			

Alvenaria 4

Idade do Revestimento: 6 meses (Data de fabricação: 31/08/16 e Data do ensaio: 02/03/17)

3. Coleta de Dados																	
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)							
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past	Falha
Parede Ext. 4 - Pintel 1:2:9																	
80	47,61	46,20	46,91	1728		x	28,50	279	0,16	20	40		40				
81	47,06	47,26	47,16	1747			60,60	593	0,34		40		30	30			
82	47,01	45,54	46,28	1682			29,00	284	0,17		75		25				
83	47,84	47,46	47,65	1783			24,60	241	0,13		35		35	30			
84	47,55	46,96	47,26	1754		x	29,70	291	0,17	40	60						
85	46,80	46,63	46,72	1714		x	20,60	202	0,12	25	60			15			
Parede Int. 4 - Pintel 1:2:9																	
92	47,75	47,62	47,69	1786		x	53,40	522	0,29		95			5			
93	47,54	47,29	47,42	1766	x		41,30	404	0,23		35			65			
94	47,55	47,26	47,41	1765			57,60	564	0,32				65	35			
95	49,53	49,87	49,70	1940			42,50	416	0,21				95	5			
96	47,28	47,33	47,31	1758		x	91,40	894	0,51	20	80						
97	47,30	47,53	47,42	1766			17,40	170	0,10	5	95						

Alvenarias 1 e 2

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 2 - Pintel 1:2:9					
7	235,2	234,77	0,18		28,34
8	255,88	254,55	0,52	0,36	32,6
9	235,08	234,2	0,38		25,9
Alvenaria Int. 1 - Pintel 1:2:9					
43	123,28	122,87	0,33		16,7
45	219,62	219,08	0,25	0,25	23,23
46	217,12	216,72	0,18		18,35

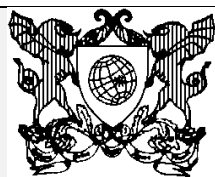
Alvenaria 3

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 3 - Pannel 1:2:9					
55	68,47	68,15	0,47		30,49
57	60,34	59,93	0,68	0,70	26,34
58	70,88	70,21	0,95		29,61
Alvenaria Int. 3 - Pannel 1:2:9					
69	51,27	50,98	0,57		21,94
70	43,9	43,61	0,66	0,58	21,59
71	49,87	49,62	0,50		23,86

Alvenaria 4

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 4 - Pannel 1:2:9					
83	76,11	75,04	1,43		26,77
84	85,86	84,4	1,73	1,40	33,49
85	71,11	70,38	1,04		33,98
Alvenaria Int. 4 - Pannel 1:2:9					
92	52,81	52,3	0,98		20,74
93	60,3	59,82	0,80	0,84	28,03
97	31,81	31,58	0,73		18,24

APÊNDICE E



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário, s/n
36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

ENSAIOS

Assunto:	Caracterização das Argamassas de REVESTIMENTO - Traço 1:1:6				
Data:	02/04/2017	Local:	UFV	Versão:	01
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler				

Todas as argamassas de traços 1:1:6 produzidas para revestimento dos tijolos cerâmicos foram distribuídas em 4 (quatro) alvenarias diferentes. Contudo ao ser identificado erro na produção da argamassa na quarta parede, os resultados dessa parede foram excluídos das análises e portanto segue os ensaios realizados de três paredes diferentes:

Massas Unitárias dos Materiais (kg/l)

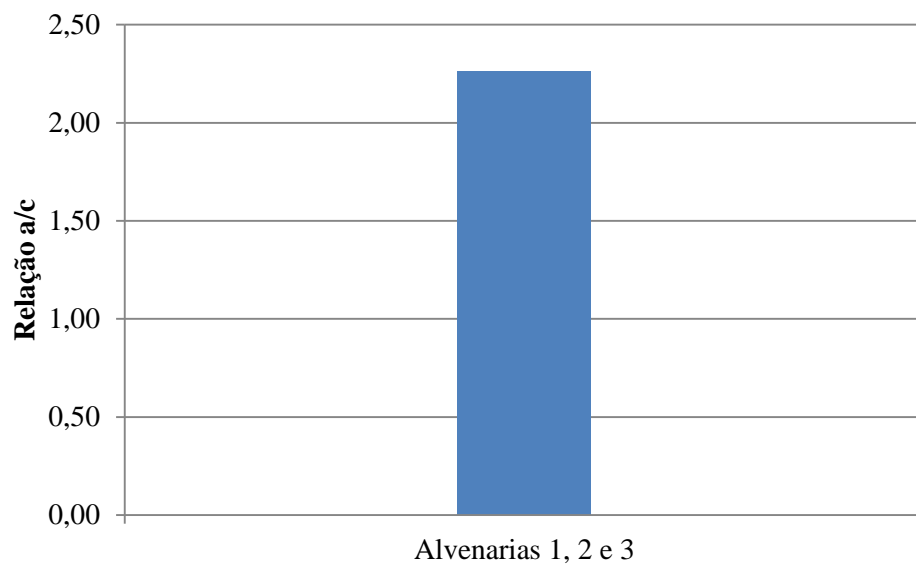
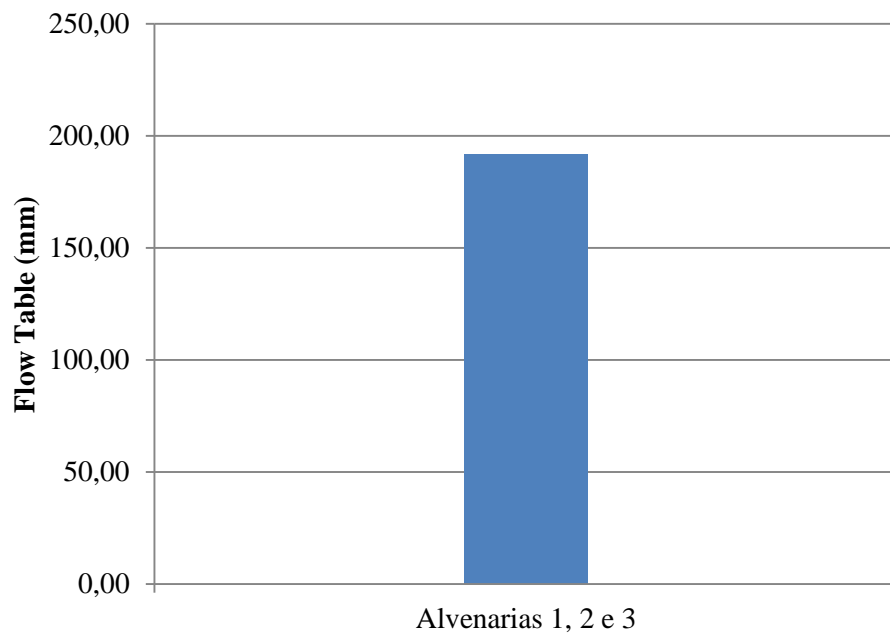
Material	Massas unitárias (kg/l)		
	1ª amostra	2ª amostra	Média
Cimento CP III 40 RS	0,8905	0,8993	0,8949
Cal CH III	0,5056	0,5155	0,5106
Areia Natural	1,4300	1,4330	1,4315

Teor de Umidade da Areia (%)

Alvenarias 1, 2 e 3	Amostra	
	P inicial	500,48
	P final	495,87
	Umidade da Areia (%)	0,93

Ensaio 1: Índice de Consistência ou Flow Table (mm)

Alvenarias 1, 2 e 3	Valores Médios			
	Umid. (%)	65%	Temp. (°C)	17,58
	Temp. da Arg. (°C)	16,63	FLOW TABLE (mm)	191,61
	Relação a/c	2,26		



Ensaio 2: Resistência à Tração na Flexão (MPa)

Alvenarias 1,2 e 3

3 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b méd(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	F _f (kgf)	R _f (MPa)	R _{f Méd} (MPa)	DAM<0,3	
CP 106	10,1	4,27	4,17	4,22	4,1	0,22	15,18	0,3314	0,3079	0,0235	
CP 107	10,4	4,31	4,16	4,24	4,06	0,19	13,11	0,2994			
CP 108	10,3	4,27	4,25	4,26	4,18	0,20	13,8	0,2928			
7 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	F _f (kgf)	R _f (MPa)	R _{f Méd} (MPa)	DAM<0,3	
CP 109	10,4	4,31	4,26	4,29	4,22	0,64	44,16	0,9227	0,9028	0,0243	
CP 110	10,3	4,17	4,24	4,21	4,14	0,60	41,4	0,9071			
CP 111	10,4	4,14	4,18	4,16	4,25	0,60	41,4	0,8785			
28 dias											
CP n	Resistência à Tração na Flexão										
	L (cm)	b1 (cm)	b2(cm)	b med(cm)	h (cm)	Desl. (mm)	F _f (kgf)	R _f (MPa)	R _{f Méd} (MPa)	DAM<0,3	
CP 112	10,4	4,14	4,11	4,13	4,21	0,73	50,37	1,0985	1,2184	0,1104	
CP 113	10,3	4,10	4,2	4,15	4,17	0,88	60,72	1,3287			
CP 114	10,4	4,16	4,21	4,19	4,19	0,82	56,58	1,2279			

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

Idade	Tração na Flexão (MPa)
	Parede 1,2 e 3
0	0,0000
3	0,3079
7	0,9028
28	1,2184

Ensaio 3: Resistência à Compressão (MPa)

Alvenarias 1, 2 e 3

3 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
106A	0,2	139,20	0,8223	0,7684	0,1064
106B	0,21	146,16	0,8634		
107A	0,16	111,36	0,6620		
107B	0,18	125,28	0,7447		
108A	0,19	132,24	0,7591		
108B	0,19	132,24	0,7591		
7 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
109A	0,57	396,72	2,2424	2,0602	0,3703
109B	0,54	375,84	2,1244		
110A	0,57	396,72	2,3293		
110B	0,51	354,96	2,0841		
111B	0,47	327,12	1,8911		
111B	0,42	292,32	1,6900		
28 dias					
CP n	Resistência à Compressão Axial				
	Desl. (mm)	F _c (kgf)	R _c (MPa)	R _{c méd} (MPa)	DAM<0,5
112A	0,88	612,48	3,6048	3,7064	0,3222
112B	0,84	584,64	3,4410		
113B	0,89	619,44	3,6586		
113B	0,98	682,08	4,0286		
114A	0,94	654,24	3,8135		
114B	0,91	633,36	3,6918		

PS: Foi considerada aceleração da gravidade igual a 9,78364029.

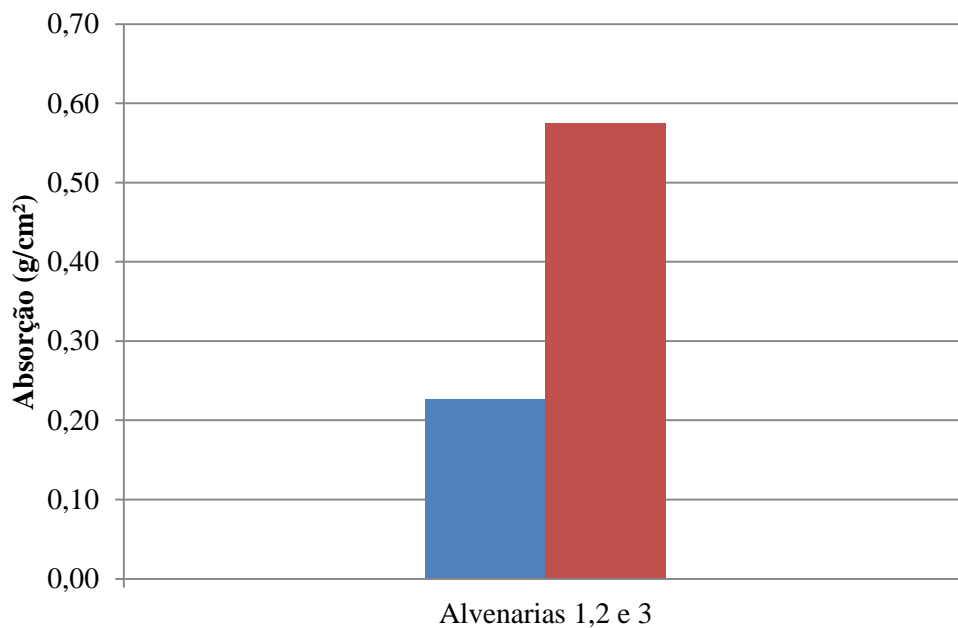
Idade	Compressão (MPa)
	Parede 4
0	0,0000
3	0,7684
7	2,0602
28	3,7064

Ensaio 4: Absorção (g/cm²)

Alvenarias 1, 2 e 3

28 dias							
CP n	Absorção por Capilaridade (g/cm ²)						
	m ₀ (g)	b ₁ (cm)	b ₂ (cm)	m ₁₀ (g)	m ₉₀ (g)	A ₁₀ (g/cm ²)	A ₉₀ (g/cm ²)
CP 116	511,37	4,15	4,22	515,43	521,29	0,23	0,57
CP 117	509,91	4,16	4,15	514,02	521,29	0,24	0,66
CP 118	492,70	4,13	4,14	496,26	501,25	0,21	0,50
Média						0,23	0,58

Alvenarias	Absorção _{10 min} (g/cm ²)	Absorção _{90 min} (g/cm ²)
Alvenarias 1,2 e 3	0,23	0,58

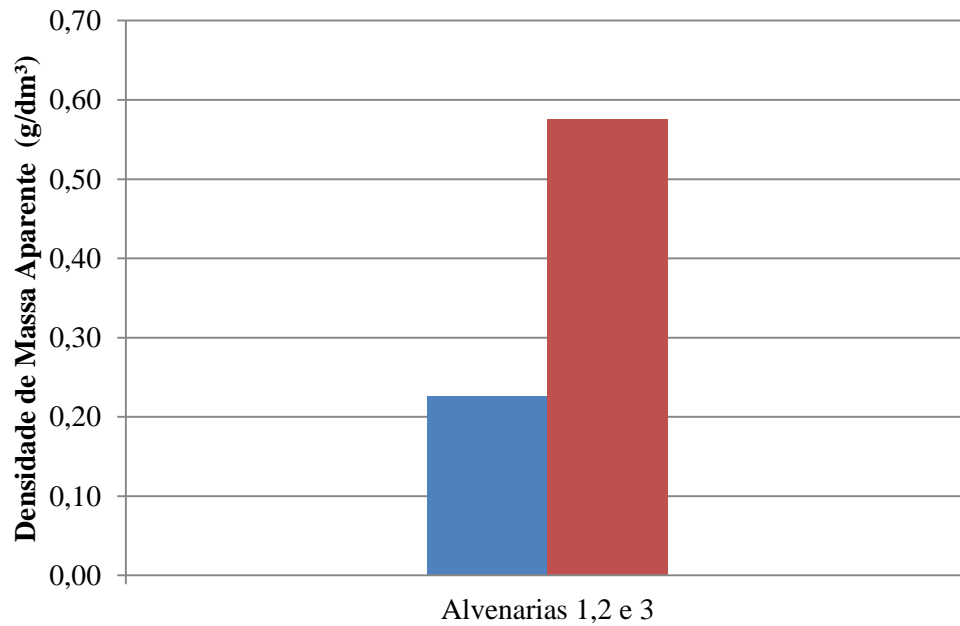


Ensaio 5: Densidade de Massa Aparente (g/dm³)

Alvenarias 1,2 e 3

28 dias													
CP n	Densidade de Massa Aparente												
	H1 (cm)	H2 (cm)	Hm (cm)	L1(cm)	L2(cm)	Lm (cm)	C1(cm)	C2 (cm)	Cm (cm)	m (g)	V (cm ³)	d máx (g/dm ³)	
CP 118	4,15	4,19	4,17	4,18	4,24	4,21	16,16	16,14	16,15	544,30	283,52	1919,76	
CP 119	4,1	4,1	4,10	4,20	4,20	4,20	16,41	16,39	16,40	536,00	282,41	1897,96	
CP 120	4,17	4,18	4,18	4,27	4,29	4,28	16,39	16,33	16,36	552,47	292,34	1889,84	
												Média	1902,52

Alvenarias	Densidade de Massa Aparente (g/dm ³)
Alvenarias 1, 2 e 3	1902,52



Ensaio 6: Teor de Ar Incorporado (%)

Dados de laboratório										
Traço em volume 1 : 1 : 6 : x										
Traço em massa 0,8800 : 0,6169 : 8,5800 : x										
	Cimento			Cal		Areia (seca)		Água		
Massa seca (g)	166,94			117,03		1627,58		x		
Massa específica (g/cm ³)	2,930			2,315		2,630		1,000		
Temp. argamassa (°C)	20			Temp. ambiente (°C)		20,5		Umidade ambiente		75%
Umidade da areia	1,21%			Volume do recipiente, v _r (cm ³)		459,87		Massa do recipiente, m _v (g)		878,23
Índice de Consistência	IC ₁ (mm)	IC ₂ (mm)	IC ₃ (mm)	IC Médio (mm)	x (mL)	m _c (g)	d (g/cm ³)	d _T (g/cm ³)	A (%)	
(160 ± 5) mm	158,0	160,6	163,8	160,8	220	1656,55	1,69	2,25	24,86	
(180 ± 5) mm	178,1	178,0	176,7	177,6	240	1694,38	1,77	2,23	20,29	
(200 ± 5) mm	198,0	198,8	199,0	198,6	260	1711,09	1,81	2,20	17,74	
(220 ± 5) mm	218,6	221,1	221,5	220,4	290	1725,25	1,84	2,17	14,97	

Ensaio 7: Resistência de Aderência à Tração (MPa)

1. Informações do Sistema de Revestimento	
Substrato: <input checked="" type="checkbox"/> Bloco cerâmico <input type="checkbox"/> Bloco de concreto <input type="checkbox"/> Estrutura de concreto <input type="checkbox"/> Outro :	
Chapisco: <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Sim	
Argamassa: <input type="checkbox"/> Cimento <input checked="" type="checkbox"/> Mista : com cal <input type="checkbox"/> Industrializada	
Tipo de aplicação da argamassa: <input checked="" type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Mecânica	
2. Informações da Metodologia do Ensaio	
Equipamento de corte - Marca: Furadeira com engate tipo serra copo - Makita Modelo: PA6-GF30	
Cola: à base de Resina Epóxi - Tecnobond MF quartzolit Componentes A e B / Weber Sait-Gobain	
Dinamômetro de tração - Marca: Alfa Instrumentos Modelo: 3105C	

Alvenarias 1 e 2

Idade do Revestimento: **6 meses** (Data de fabricação: 05 e 08/08/16 e Data do ensaio: 06/02/17)

3. Coleta de Dados																
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past
Parede Ext. 1 - Painel 1:1:6																
37	47,98	48,33	48,16	1821	x		30,80	301	0,17		75					25
38	47,38	47,31	47,35	1761	x		31,60	309	0,18		40					60
39	47,20	46,80	47,00	1735	x		19,20	188	0,11		15					85
40	48,07	48,45	48,26	1829			57,70	565	0,31							98
41	47,79	47,91	47,85	1798	x		42,50	416	0,23		25					75
42	48,32	47,76	48,04	1813		x	20,80	203	0,11		10	50				40
Parede Ext. 2 - Painel 1:1:6																
13	47,70	47,74	47,72	1789		x	65,90	645	0,36		60					40
14	47,91	48,26	48,09	1816		x	77,30	756	0,42		50					35
15	47,77	47,81	47,79	1794		x	26,10	255	0,14		90					10
16	47,87	48,00	47,94	1805		x	55,40	542	0,30		96					4
17	47,64	48,36	48,00	1810			78,70	770	0,43		20				10	70
18	47,40	47,57	47,49	1771		x	44,40	434	0,25		70				30	

Alvenaria 3

Idade do Revestimento: 7 meses (Data de fabricação: 09/08/16 e Data do ensaio: 02/03/17)

3. Coleta de Dados																
n°	Corpo de Prova				Local do ensaio		Carga de Ruptura (Kg)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Formas de Ruptura (%)						
	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)	Bloco	Junta				Sub	Sub/Chap	Chap	Chap/Arg	Arg	Arg/Cola	Cola/Past
Parede Ext. 3 - Pintel 1:1:6																
61	46,56	46,90	46,73	1715		x	4,60	45	0,03	25	45		30			
62	45,09	44,75	44,92	1585		x	2,70	26	0,02	45			25	30		
63	46,75	47,55	47,15	1746			30,00	294	0,17	25	15		60			
64	46,35	46,79	46,57	1703			59,50	582	0,34					100		
65	47,62	47,79	47,71	1787		x	48,10	471	0,26	45	50			5		
66	46,09	46,87	46,48	1697			24,80	243	0,14					100		
67	47,35	47,55	47,45	1768		x	45,70	447	0,25	25	70		5			

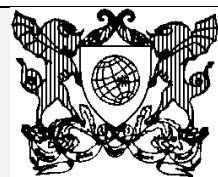
Alvenarias 1 e 2

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 1 - Pintel 1:1:6					
37	229,95		229,23	0,31	24,6
40	224,12		223,27	0,38	0,39 26,93
41	245,81		244,67	0,47	28,82
Alvenaria Ext. 2 - Pintel 1:1:6					
13	241,45		240,72	0,30	28,19
14	240,19		239,1	0,46	0,38 31,57
15	238,23		237,33	0,38	27,63

Alvenaria 3

4. Informações da Umidade					
n°	Mu (g)	Ms (g)	W (%)	W méd (%)	Espessura (mm)
Alvenaria Ext. 3 - Pintel 1:1:6					
61	45,82		45,65	0,37	20,89
63	57,24		56,94	0,53	1,01 25,44
65	97,13		95,11	2,12	33,26

APÊNDICE F



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário, s/n
36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

PROGRAMAÇÃO

Assunto:	Código do sensor de fluxo de água e temperatura e umidade				
Data:	02/04/2017	Local:	UFV	Versão:	01
Autor (a):	Alterado por Renan e Bruno (estudantes de Eng. Civil – UFV)				

O código do sensor de fluxo de água apresenta-se dessa forma:

```
/*
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX ANTES DE UTILIZAR O CÓDIGO VERIFICAR O VALOR DA CONSTANTE
K DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE FLUXO XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
Código para o ensaio (XXXXX) do Laboratório de Materiais de Construção - LMC
do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa - UFV
Autores: Renan Ribeiro e Bruno Quintão
Contato: renan.rocha.ribeiro@gmail.com; brunoquintaosilva21@gmail.com
*/
/*Código baseado no disponibilizado por:
*****
***Autor: Leonardo Dalla Porta****
*****02/08/2014*****
*****Atenção*****
***O Código esta livre para uso,**
desde que seja mantida sua fonte
*****e seu autor.*****
*****Faça um bom uso*****
*****Att. Equipe UsinalInfo*****
*****/
//Inclusão das bibliotecas abaixo no código. Ao seu utilizar esse código, assegurar que as mesmas estejam
instaladas no seu IDE.
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>

//Definição das variáveis utilizadas neste código

float k = 0,145 ; //CONSTANTE DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE FLUXO.

float vazao; //Variável para armazenar o valor da vazão bombeada. Este valor é armazenado como
L/min, sendo esta unidade obtida após conversão.
int contaPulso; //Variável utilizada para cálculo da vazão no medidor de vazão.
//O volume total bombeado é dividido em litros e mililitros, sendo cada parte salva em uma variável abaixo:
float volume_total = 0; //Variável utilizada para armazenar a quantidade de litros no volume total
bombeado.
float volume_parcial = 0; //Variável utilizada para armazenar o volume de água passado a cada leitura do
sensor.
// Construção do simbolo de grau (graus Celsius) para ser mostrado no visor LCD
byte grau[8] = { B00001100,
                B00010010,
                B00010010,
                B00001100,
                B00000000,
                B00000000,
                B00000000,
                B00000000,
```

```

        B00000000,
    };

//Instanciamento e inicialização do sensor DHT22 no código.
#define DHTTYPE DHT22 // Sensor DHT 22 (modelo: AM2302)
#define DHTPIN A1 // O cabo de sinal do sensor de temperatura e umidade DHT22 deve ser conectado no
pino A1 (Analogico 1) do Arduino
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//Inicialização do LCD.
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
//Cria a função ISR denominada neste código como incpulso, que permite que os sinais enviados pelo
sensor de fluxo de água sejam registrados na variável contaPulso. Ou seja, a cada sinal enviado a variável
contaPulso incrementa uma unidade.
void incpulso ()
{
    contaPulso++; //Incrementa a variável de pulsos
}

//Instruções a serem executadas apenas uma vez, ao se inicializar o Arduino, efetuando o "setup" do
sistema.
void setup()
{
    //Inicialização do LCD e impressão da mensagem inicial.
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor( 0, 0); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da primeira linha.
    lcd.print("Fluxo de Agua");
    lcd.setCursor( 0, 1); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da segunda linha.
    lcd.print(" Temp e Umidade ");
    delay(3000);
    lcd.clear();
    //Inicialização do DHT22
    dht.begin();
    //Cria o caracter customizado com o simbolo do grau
    lcd.createChar(0, grau);
    //Inicialização das conexões para o sensor de fluxo de água.
    pinMode(3, INPUT); //O sinal do sensor de fluxo de água deve estar conectado ao D3 (pino digital 3) do
Arduino.
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), incpulso, RISING); /*Habilita a função de interrupção no pino 3
(Interrupção 1). A Interrupção funciona da seguinte forma: toda vez que o pino de interrupção (no caso o
pino 3)
                tiver seu valor indo de LOW para HIGH (condição definida pelo
parâmetro RISING, que no caso indica que um sinal do sensor de fluxo foi enviado), a função ISR
denominada
                incpulso deverá ser rodada. Para mais informações sobre
interrupção, checar o link: https://www.arduino.cc/en/Reference/AttachInterrupt, e para mais informações
sobre o
                funcionamento do sensor de fluxo de água, checar o
link: https://diyhacking.com/arduino-flow-rate-sensor/. */
}

//Instruções a serem executadas repetidamente após o "setup" do sistema.
void loop ()
{
    //Efetua a leitura do sensor de fluxo agua
    contaPulso = 0; //Zera a variável de contagem de pulsos.
    interrupts(); //Habilita interrupção. A partir deste instante, para cada pulso que o sensor de fluxo
enviar, o Arduino irá aumentar uma unidade no valor da variável contaPulso.
    delay (1000); //Aguarda 1 segundo (1000 ms), permitindo que seja registrado uma quantidade razoável
de sinais do sensor de fluxo de água.
    interrupts(); //Desabilita interrupção e finaliza a leitura de vazão.
    //Calculo da vazão a partir da quantidade de pulsos registrados.
    vazao = contaPulso*k; //Converte o número de pulsos para L/min. Cada sensor possui um fator K de
conversão apropriado, que relaciona o número de pulsos com a taxa em L/min. Recomenda-se que este

```

```

valor K seja calibrado na prática
  volume_parcial = vazao / 60; /*Como a leitura durou 1 seg (como pode ser notado pelo delay(1000)
acima), se convertemos a vazão de L/min para L/s,
      obtemos diretamente o volume parcial em L que foi bombeado durante a última
medição */
  volume_total = volume_total + volume_parcial;
  // Leitura da umidade
  float h = dht.readHumidity();
  // Leitura da temperatura (Celsius)
  float t = dht.readTemperature();
  // Verifica se o sensor esta respondendo. Caso não esteja respondendo, imprimir os resultados
juntamente com a mensagem de erro na tela LCD.
  if (isnan(h) || isnan(t))
  {
    lcd.setCursor(0, 0); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da primeira linha.
    lcd.print(vazao); //Imprime no display o valor da vazão.
    lcd.print("L/m ");
    lcd.print(volume_total); //Imprime no display o valor do volume total bombeado.
    lcd.print("L ");
    lcd.setCursor(0, 1); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da segunda linha.
    lcd.print("DHT22 ERRO RESET"); //Imprime no display o valor da temperatura medida.
    /*lcd.setCursor( 0, 0); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da primeira linha.
    lcd.print("Sensor DHT 22");
    lcd.setCursor( 0, 1); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da segunda linha.
    lcd.print("Nao responde");
    delay(1000);
    lcd.clear();*/
  } else {
    // Caso o DHT 22 esteja funcionando, Imprime os resultados das leituras do sensor de fluxo de água e
de temperatura e umidade na tela normalmente.
    lcd.setCursor(0, 0); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da primeira linha.
    lcd.print(vazao); //Imprime no display o valor da vazão.
    lcd.print("L/m ");
    lcd.print(volume_total); //Imprime no display o valor do volume total bombeado.
    lcd.print("L ");
    lcd.setCursor(0, 1); //Posicione o cursor do LCD no primeiro dígito da segunda linha.
    lcd.print(t); //Imprime no display o valor da temperatura medida.
    lcd.write(byte(0)); //Imprime o caracter de grau construído anteriormente.
    lcd.print("C ");
    lcd.print(h); //Imprime no display o valor da umidade medida.
    lcd.print("%");
  }
  //Fim do loop, reinicia o código novamente
}

```

No código original do sensor de vazão em que foi baseada a programação, já possuía uma constante que convertia a leitura de pulsos em vazão em L/min. Contudo, após alguns testes constatou-se que os valores mostrados pelo sensor deveriam ser multiplicados por 0,77 para corresponder ao valor real medido com balde e cronômetro. Assim, esse fator multiplicador foi embutido na constante do código original, originando a constante K igual a 0,145, como expresso na equação 1.

$$K = x \cdot 0,77 = 0,145 \quad (1)$$

Logo, a constante do código original (x) é aproximadamente 0,188.

Quanto ao sensor de temperatura e umidade, este código realiza o monitoramento caso esse sensor estiver conectado ao sistema de aquisição de dados (Arduino). Caso o sensor estiver desconectado, a tela do Arduino apresenta uma mensagem de erro, mas prossegue normalmente com a medida e apresentação do valor de vazão de água.

APÊNDICE G



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário, s/n
36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

PROGRAMAÇÃO

Assunto:	Calibragem da vazão de água no aspersor				
Data:	06/05/2017	Local:	UFV	Versão:	01
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler				

Calibragem Inicial (com perdas):

Vazão Arduíno (L/min)	2,00-2,18		
Altura (cm)	15		
Perda(ml) em 30 s	15		
Bicos (ml) em 30 s	280	270	275
Vazão Real (L/min)	1,620		

Vazão Arduíno (L/min)	2,00-2,18		
Altura (cm)	15		
Perda(ml) em 30 s	12,5		
Bicos (ml) em 30 s	275	270	270
Vazão Real (L/min)	1,605		

Vazão Arduíno (L/min)	2,00-2,18		
Altura (cm)	15		
Perda(ml) em 30 s	15		
Bicos (ml) em 30 s	270	265	275
Vazão Real (L/min)	1,59		

Vazão Arduíno (L/min)	2,00-2,18		
Altura (cm)	15		
Perda(ml) em 30 s	10		
Bicos (ml) em 30 s	270	270	270
Vazão Real (L/min)	1,600		

Vazão Arduíno (L/min)	2,00-2,18		
Altura (cm)	15		
Perda(ml) em 30 s	17,5		
Bicos (ml) em 30 s	270	280	275
Vazão Real (L/min)	1,615		

Média da Vazão Real (L/min)	1,61
Faixa dos bicos (ml) em 30 s	265 < x > 280
Fator de correção (multiplicador)	0,77

Assim, identificou-se uma faixa de valores da quantidade de água (em ml) que saía de cada bico aspersor. Com essa faixa foi possível verificar nas próximas calibrações se a vazão de 1,61 l/min/m² era correspondente.

Calibragem Periódicas:

Após os ensaios de estanqueidade, verificava se o sistema de aquisição de dados (Arduino) ainda apresentava vazão correspondente à real. Os testes eram realizados três vezes, tirando medidas dos três bicos em cada vez.

Após ensaios 1, 2 e 3, realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	270	275

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	270	265

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	270	275

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	269
Faixa : 265 < x > 280	ok!

Após ensaios 4 e 5 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1-48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	270	270	275

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	270	275	280

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	275	265	280

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	273		
Faixa : 265 < x > 280	ok!		

Após ensaios 6, 7 e 8 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	265	265

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	270	265	265

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	270	265	270

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	267		
Faixa : 265 < x > 280	ok!		

Após ensaios 9 e 10 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1-48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	275	275	275

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	265	265

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	265	265

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	268		
Faixa : 265 < x > 280	ok!		

Após ensaios 11 e 12 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	280	280	280

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	275	280	280

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	275	275	275

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	278
Faixa : $265 < x > 280$	ok!

Após ensaios 13,14 e 15 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	275	275

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	280	265	280

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	265	270	275

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	272
Faixa : $265 < x > 280$	ok!

Após ensaios 16, 17 e 18 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	280	270	270

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	285	275	280

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48-1,61		
Bicos (ml) em 30 s	270	270	265

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	274
Faixa : $265 < x > 280$	ok!

Após ensaios 19, 20 e 21 realizou-se nova calibragem, com os seguintes valores:

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48		
Bicos (ml) em 30 s	275	280	285

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48		
Bicos (ml) em 30 s	265	265	270

Vazão Arduino e Real (L/min)	1,48		
Bicos (ml) em 30 s	275	280	270

Média da vazão por bico (ml) em 30 s	274
Faixa : $265 < x > 280$	ok!

APÊNDICE H



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
 Campus Universitário, s/n
 36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
 Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

PROGRAMAÇÃO

Assunto:	Ensaio de Estanqueidade		
Data:	23/05/2017	Local:	UFV
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler		
			Versão: 01

ANÁLISE DA ÁREA ÚMIDA DOS ENSAIOS DE ESTANQUEIDADE COM PRESÃO PNEUMÁTICA DE 144 Pa

Análise final de cada ensaio

Painéis 1:3:12									
Ensaio 5 - Parede 1		Ensaio 1 - Parede 2		Ensaio 7 - Parede 3		Ensaio 10 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual		Manual		Manual	
10,18	0,54	7,17	29,43	10,22	0,96	10,05	2,22	9,41	8,29
Digital		Digital		Digital		Digital		Digital	
10,18	0,5163	7,17	28,3679	10,22	0,9596	10,05	2,8700	9,41	8,1784
Produto p/ Ed. Térrea (10%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								(M) Mínimo	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)								Insatisfatório	
Nível de Desempenho								-	

Painéis 1:2:9									
Ensaio 4 - Parede 1		Ensaio 2 - Parede 1		Ensaio 8 - Parede 3		Ensaio 12 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual		Manual		Manual	
12	0	12	0,00	12	0	12	0	12,00	0,00
Digital		Digital		Digital		Digital		Digital	
12	0,0000	12	0,0000	12	0,0000	12	0,0000	12,00	0,0000
Produto p/ Ed. Térrea (10%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								I, S (Interm. E Sup.)	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								I, S (Interm. E Sup.)	

Painéis 1:1:6									
Ensaio 6 - Parede 1		Ensaio 3 - Parede 2		Ensaio 9 - Parede 3		Ensaio 11 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual		Manual		Manual	
12	0	12,05	0,67	10,15	0,53	7,1	0,73	10,33	0,48
Digital		Digital		Digital		Digital		Digital	
12	0	12,05	0,7059	10,15	0,6365	7,1	0,8859	10,33	0,5571
Produto p/ Ed. Térrea (10%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								(M) Mínimo	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								(M) Mínimo	

Médias					
Painel 1:3:12		Painel 1:2:9		Painel 1:1:6	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual	
9,41	8,29	0	0,00	10,33	0,48
Digital		Digital		Digital	
9,41	8,1784	0,00	0,0000	10,33	0,5571

Análise por hora – Evolução da mancha úmida

Painéis 1:3:12									
Método Digital									
Ensaio 1 - Parede 2		Ensaio 5 - Parede 1		Ensaio 7 - Parede 3		Ensaio 10 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
1	0,5633	1	0,0000	1	0,0000	1	0,0000	1	0,1408
2	3,0230	2	0,0000	2	0,0000	2	0,0000	2	0,7558
3	7,5699	3	0,0000	3	0,0000	3	0,0000	3	1,8925
4	11,0403	4	0,0000	4	0,0000	4	0,0000	4	2,7601
5	14,8341	5	0,0000	5	0,0000	5	0,0000	5	3,7085
6	22,0098	6	0,0000	6	0,0000	6	0,0000	6	5,5025
7	27,7926	7	0,0000	7	0,0000	7	0,0000	7	6,9482
7	28,3679	8	0,0000	8	0,0000	8	0,0000	8	
		9	0,0000	8,5	0,1731	9	0,3041	9	
		9,5	0,2609	9	0,6169	10	2,3939	10	
		10	0,4065	10	0,9596	10,05	2,8700		
		10,18	0,5163	10,22	-				
Manual	29,43	Manual	0,54	Manual	0,96	Manual	2,22	Manual	8,29
Diferença	1,06	Diferença	0,02	Diferença	0,00	Diferença	-0,65	Diferença	1,34

Painéis 1:1:6									
Método Digital									
Ensaio 3 - Parede 2		Ensaio 6 - Parede 1		Ensaio 9 - Parede 3		Ensaio 11 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
1	0,0000	1	0,0000	1	0,0000	1	0,0000	1	0,0000
2	0,0000	2	0,0000	2	0,0000	2	0,0000	2	0,0000
3	0,0000	3	0,0000	3	0,0000	3	0,0000	3	0,0000
4	0,0000	4	0,0000	4	0,0000	4	0,0000	4	0,0000
5	0,0000	5	0,0000	5	0,0000	5	0,0000	5	0,0000
6	0,0000	6	0,0000	6	0,0000	6	0,0000	6	0,0000
7	0,0000	7	0,0000	7	0,0000	6,5	0,2669	7	0,1625
8	0,0000	8	0,0000	8	0,0000	7	0,6501	8	
9	0,0000	9	0,0000	9	0,0000	7,1	0,8859	9	
9,5	0,0941	10	0,0000	9,5	0,1473			10	
10	0,1493	11	0,0000	10	0,4878				
11	0,3905	12	0,0000	10,15	0,6365				
12	0,6289								
12,05	0,7059								
Manual	0,67	Manual	0,00	Manual	0,53	Manual	0,73	Manual	0,48
Diferença	-0,03	Diferença	0,000	Diferença	-0,10	Diferença	-0,16	Diferença	0,32

Médias					
Painel 1:3:12		Painel 1:2:9		Painel 1:1:6	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
0	0	0	0	0	0,0000
1	0,1408	1	0	1	0,0000
2	0,7558	2	0	2	0,0000
3	1,8925	3	0	3	0,0000
4	2,7601	4	0	4	0,0000
5	3,7085	5	0	5	0,0000
6	5,5025	6	0	6	0,0000
7	6,9482	7	0	7	0,1625

Análise considerando toda a face interna

Método Manual - área de mancha úmida de toda a face interna					
Painel	Parede	Horas de ensaio	Áreas (cm ²)	Área (%)	Horário da 1ª mancha
1:3;12	3	10	79,5	1,48	8h de ensaio
Produto p/ Ed. Térrea (10%)				Satisfatório	
Nível de Desempenho				I, S (Interm. E Sup.)	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)				Satisfatório	
Nível de Desempenho				I, S (Interm. E Sup.)	

Painel 1:3:12					
	Parede 1	Parde 2	Parede 3	Parede 4	Média
	Área (%)				
Dentro da delimitação	0,54	29,43	0,96	2,22	8,29
Todo a face interna	0	0	0,52	0,00	0,13

ANÁLISE DA ÁREA ÚMIDA DOS ENSAIOS DE ESTANQUEIDADE COM PRESÃO PNEUMÁTICA DE 400 Pa

Análise final de cada ensaio

Painéis 1:3:12									
Ensaio 17 - Parede 1		Ensaio 13 - Parede 2		Ensaio 19 - Parede 3		Ensaio 22 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual		Manual		Manual	
7,15	10,76	7,17	51,33	7,06	61,95	7,08	15,74	7,12	34,95
Digital		Digital		Digital		Digital		Digital	
7,15	7,7442	7,17	48,5621	7,06	60,3890	7,08	15,3752	7,12	33,0176
Produto p/ Ed. Térrea (10%)								Insatisfatório	
Nível de Desempenho								-	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)								Insatisfatório	
Nível de Desempenho								-	

Painéis 1:2:9									
Ensaio 16 - Parede 1		Ensaio 14 - Parede 2		Ensaio 20 - Parede 3		Ensaio 24 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual		Manual		Manual	
12	0	12	0	12	0	12	0	12	0
Digital		Digital		Digital		Digital		Digital	
12	0,0000	12	0,0000	12	0,0000	12	0,0000	12	0,0000
Produto p/ Ed. Térrea (10%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								I, S (Interm. E Sup.)	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)								Satisfatório	
Nível de Desempenho								I, S (Interm. E Sup.)	

Painéis 1:1:6									
Ensaio 18 - Parede 1		Ensaio 15 - Parede 2		Ensaio 21 - Parede 3		Ensaio 23 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual		Manual		Manual	
7,15	40,65	7,13	8,25	8,08	0,39	7,18	31,11	7,39	20,10
Digital		Digital		Digital		Digital		Digital	
7,15	37,8191	7,13	8,1068	8,08	0,5018	7,18	29,6980	7,39	19,0314
Produto p/ Ed. Térrea (10%)								Insatisfatório	
Nível de Desempenho								-	
Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)								Insatisfatório	
Nível de Desempenho								-	

Média					
Painel 1:3:12		Painel 1:2:9		Painel 1:1:6	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
Manual		Manual		Manual	
7,12	34,95	0	0,00	7,39	20,10
Digital		Digital		Digital	
7,12	33,0176	0	0,0000	7,385	19,0310

Análise por hora – Evolução da mancha úmida

Painéis 1:3:12									
Ensaio 13 - Parede 2		Ensaio 17 - Parede 1		Ensaio 19 - Parede 3		Ensaio 22 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000
0,5	0,4048	1	0	1	0	1	0	1	0,1352
1	0,5406	2	0,1538	1,75	0,11199	2	0	2	1,2481
2	4,7631	3	0,7500	2	0,07562	3	3,2967	3	5,5856
3	11,1834	4	1,5874	3	7,1121	4	4,6087	4	11,5547
4	20,6068	5	2,3973	4	19,4159	5	7,4597	5	18,7987
5	29,5096	6	3,2633	5	35,8282	6	10,5573	6	24,3536
6	37,0444	7	6,5038	6	46,5493	7	14,8881	7	31,3993
7	45,9529	7,15	7,7442	7	58,2523	7,08	15,3752	7,12	33,0176
7,17	48,5621			7,06	60,389				
Manual	51,33	Manual	10,76	Manual	61,95	Manual	15,74	Manual	34,95
Diferença	2,77	Diferença	3,02	Diferença	1,56	Diferença	0,36	Diferença	1,93

Painéis 1:1:6									
Ensaio 15 - Parede 2		Ensaio 18 - Parede 1		Ensaio 21 - Parede 3		Ensaio 23 - Parede 4		Média	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0000
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,0000
2	0	2	0	2	0	1,75	0,1173	2	0,0925
3	0,8828	3	3,9587	3	0	2	0,3701	3	1,6575
4	1,6318	4	18,3271	4	0	3	1,7884	4	6,2425
5	2,3442	5	25,7527	5	0	4	5,0110	5	9,2060
6	4,7802	6	31,1605	6	0	5	8,7269	6	13,3893
7	7,7781	7	35,7561	7	0	6	17,6163	7	17,6621
7,13	8,1068	7,15	37,8191	7,45	0,1596	7	27,1143	7,15	25,2080
				8	0,3653	7,18	29,6980	8	-
				8,08	0,5018			8,08	-
Manual	8,25	Manual	40,65	Manual	0,39	Manual	31,11	Manual	26,67
Diferença	0,14	Diferença	2,83	Diferença	-0,11	Diferença	1,41	Diferença	1,46

Médias					
Painel 1:3:12		Painel 1:2:9		Painel 1:1:6	
Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)	Tempo	Área (%)
0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000
1	0,1352	1	0,0000	1	0,0000
2	1,2481	2	0,0000	2	0,0925
3	5,5856	3	0,0000	3	1,6575
4	11,5547	4	0,0000	4	6,2425
5	18,7987	5	0,0000	5	9,2060
6	24,3536	6	0,0000	6	13,3893
7	31,3993	7	0,0000	7	17,6621
7,12	33,0176	-	0,0000	7,15	25,2080
				8	-
				8,08	-

Análise considerando toda a face interna

Método Manual - área de mancha úmida de toda a face interna									
Painel	Parede	Horas de ensaio	Áreas (cm²)	Área (%)	Horário da 1ª mancha	Produto p/ Ed. Têrreo (10%)	Nível de Desemp.	Produto p/ Ed. c/ mais de 1 pav. (5%)	Nível de Desemp.
1:3:12	1	7	594,5	11,09	3 h de ensaio	Instisfatório	-	Instisfatório	M (Mínimo)
	3	7	3375	62,97	1:45 h de ensaio	Instisfatório	-	Instisfatório	-
	4	7	891	16,62	3 h de ensaio	Instisfatório	-	Instisfatório	-
1:1:6	1	7	4108,6	76,65	3 h de ensaio	Instisfatório	-	Instisfatório	-
	2	7	564,5	10,53	3 h de ensaio	Instisfatório	-	Instisfatório	-
	3	8	47	0,88	7:45 h de ensaio	Satisfatório	M (Mínimo)	Satisfatório	M (Mínimo)
	4	7	1836	34,25	1:45 h de ensaio	Instisfatório	-	Instisfatório	-

Painel 1:3:12					
	Parede 1	Parde 2	Parede 3	Parede 4	Média
	Área (%)				
Dentro da delimitação	10,76	51,33	61,95	15,74	34,95
Todo a face interna	0,33	0	1,02	1,23	0,64

Painel 1:1:6					
	Parede 1	Parde 2	Parede 3	Parede 4	Média
	Área (%)				
Dentro da delimitação	40,65	8,25	0,39	31,11	20,10
Todo a face interna	4067,95	2,28	0,49	3,14	1018,47

OBSERVAÇÃO: Todas as porcentagens de áreas apresentadas são em relação à área molhada constantemente igual a 0,536 m² ou 5360 cm².

APÊNDICE I



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Departamento de Engenharia Civil
Campus Universitário, s/n
36570-000 - VIÇOSA - MG - BRASIL
Tel: 32 991324203 – e-mail: lorena.sathler@ufv.br

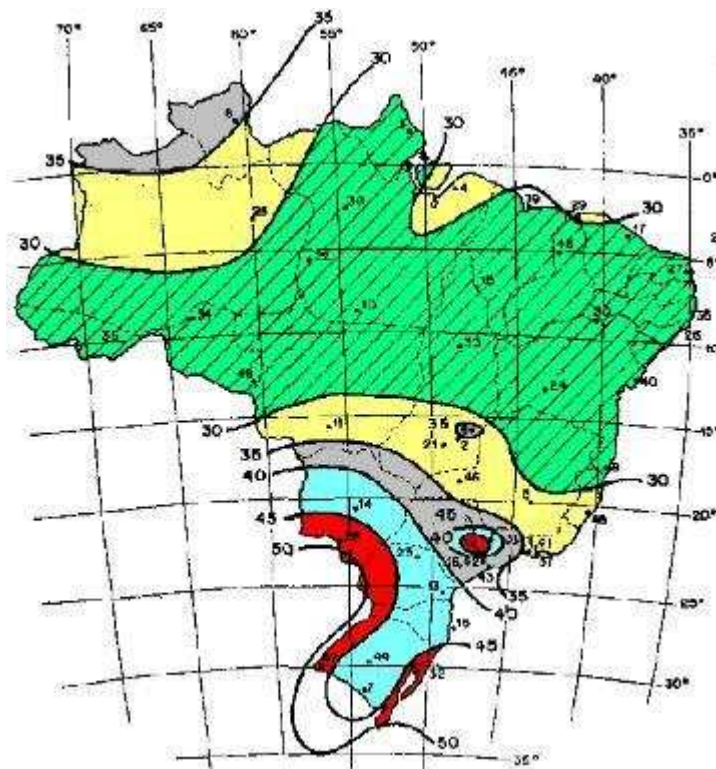
PROGRAMAÇÃO

Assunto:	Cálculos das pressões de vento				
Data:	25/05/2017	Local:	UFV	Versão:	01
Autor (a):	Lorena de Melo Sathler				

Os cálculos para as pressões de vento e suas considerações, foram atribuídos pela NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.

Primeiramente, analisou-se as isopletas de velocidade básica do vento (v_0), observamos os valores máximos e mínimos correspondentes à 30 e 50 m/s², respectivamente (Figura 100).

Figura 100 - Isopletas da velocidade básica v_0 (m/s).



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

Em seguida calculou-se a velocidade característica (v_k), pela equação 1.

$$v_k = v_0 S_1 S_2 S_3 \quad (1)$$

onde:

v_0 = velocidade básica do vento ou a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.

S_1 = fator topográfico;

S_2 = fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno;

S_3 = fator estatístico;

Os Fatores S_n adotados foram:

- Fator topográfico (S_1) = **1** para terrenos planos ou fracamente acidentados;

- Fator quanto à rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno (S_2) = **0,74** por pertencer à Categoria V (Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados) e à Classe A (Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m);

- Fator estatístico (S_3) = **0,69** para período de retorno de 10 anos;

OBSERVAÇÃO: A tabela 3 do Ítem 5.4 da ABNT NBR 6123:1988 considera o período de exposição da edificação à ação do vento igual a 50 anos (vida útil) e a probabilidade de que a velocidade (v_0) seja igualada ou excedida neste período, igual a 63%. E considerando essas condições adotaríamos para o caso das unidades experimentais desta pesquisa, o grupo 4 (Vedações tipo telhas, vidros, painéis de vedação, etc.), correspondendo portanto um $S_3 = 0,88$.

Portanto, foi considerado exagerado um período de retorno igual a 50 anos, ou seja, equivaleria a uma rajada de vento de 3 s (v_0), excedida em média uma vez em 50 anos. Assim, recorreu-se ao Anexo B da NBR 6123:1988 onde indica a determinação do fator S_3 para outros períodos de exposição da edificação à ação do vento. Foi adotado o período de 10 anos. E o valor correspondente para S_3 é igual a **0,69**.

Detalhando melhor o valor de S_3 encontrado, temos que analisar a tabela 23 do Anexo B dessa norma. Considerou-se que a tabela 23 representa o grupo 2, ou seja, ao grupo das edificações para hotéis e residências e edificações de comércio e indústria com alto fator de ocupação. Assim foi considerado pois percebe-se que para uma probabilidade de 63% e um período de retorno igual a 50 anos, o fator S_3 é igual a 1. Sendo assim, o período indicado de 10 anos corresponde a 0,78 para o grupo 2.

Contudo, é necessário fazer uma relação para o grupo 4 (Vedações – telhas, vidros, painéis de vedação e etc), que é o caso dessa pesquisa.

Período/Grupo	2	4
50 anos	1	0,88
10 anos	0,78	x

x é igual a 0,686 ou aproximadamente 0,69 considerando duas casas decimais.

Ao considerar todos os três fatores para o cálculo da velocidade característica (v_k), é necessário o cálculo da pressão de ar (q), temos a equação 2.

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (2)$$

Cálculos das pressões mínimas e máximas:

- Para a menor $v_0 = 30$ m/s

$$V_k = 30 \times 1 \times 0,74 \times 0,69 = 15,32 \text{ m/s} \quad (3)$$

e

$$q = 0,613 \times 15,32^2 = 143,88 \approx \mathbf{144 \text{ Pa}} \quad (4)$$

- Para a maior $v_0 = 50$ m/s

$$V_k = 50 \times 1 \times 0,74 \times 0,69 = 25,53 \text{ m/s} \quad (5)$$

e

$$q = 0,613 \times 25,53^2 = 399,54 \approx \mathbf{400 \text{ Pa}} \quad (6)$$