

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA ESTRUTURA DAS ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES DE  
TRANSPORTE DE ÁGUA.**

**MARIA CLÁUDIA DE FREITAS SALOMÃO**

**ORIENTADOR: ELTON BAUER**

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.TD – 6A/16**  
**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/ 2016**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

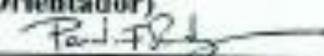
ESTUDO DA ESTRUTURA DAS ARGAMASSAS DE  
REVESTIMENTO E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES DE  
TRANSPORTE DE ÁGUA.

TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

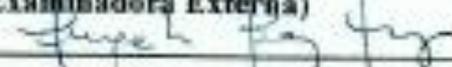
APROVADA POR:



Prof. Elton Bauer, DSc (ENC-UnB)  
(Orientador)

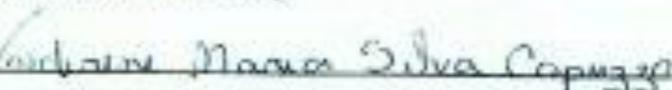


Profa. Maria Paulina S. F. Faria Rodrigues, DSc (UNL - PORTUGAL)  
(Examinadora Externa)



Profa. Angela Borges Masuero, DSc (UFRGS)  
(Examinadora Externa)

Prof. Claudio Henrique de Almeida Feltosa Pereira, DSc (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)



Profa. Valdirene Maria Silva Capuzzo, DSc (ENC-UnB)  
(Examinadora Interna)

BRASÍLIA/DF, 02 de dezembro 2016

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

SSA174 Salomão, Maria Cláudia de Freitas  
e Estudo da estrutura das argamassas de  
revestimento e sua influência nas propriedades de  
transporte de água. / Maria Cláudia de Freitas  
Salomão; orientador Elton Bauer. -- Brasília, 2016.  
229 p.

Tese (Doutorado - Mestrado em Estruturas e  
Construção Civil) -- Universidade de Brasília, 2016.

1. transporte de água. 2. porosidade. 3. aditivos  
hidrofugantes. 4. argamassas. I. Bauer, Elton,  
orient. II. Título.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SALOMÃO, M. C. F. (2016). Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água. Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DT-06A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 248p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Maria Cláudia de Freitas Salomão

TÍTULO: Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água.

GRAU: Doutorado ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

*Maria Cláudia de F. Salomão*

Maria Cláudia de Freitas Salomão

Rua Guajaras, 157 Bairro Vigilato Pereira Uberlândia/MG Brasil

E-mail: [mariacsalomao@hotmail.com](mailto:mariacsalomao@hotmail.com)

*Dedico este trabalho ao José Renato,  
meu marido e maior incentivador.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Professor Elton Bauer, pela grande oportunidade e por dedicar parte de seu tempo me orientando nessa pesquisa.

Ao Professor Cláudio Pereira pelo incentivo e disponibilidade em compartilhar seu conhecimento.

À Professora Paulina Faria pelas contribuições no exame de Qualificação

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília, onde foram realizados os ensaios, e aos técnicos Severo e Washington pela ajuda na condução dos ensaios.

Ao Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília onde foram realizados os ensaios de Adsorção e Dessorção de Nitrogênio, e as curvas de sucção.

Ao Professor Manoel Porfírio Cordão Neto por todo tempo dedicado à discussão e interpretação das curvas de sucção.

Ao Professor Claudio Kazmierczak e à UNISINOS pela realização dos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio.

À Professora Eugênia Fonseca da Silva que gentilmente cedeu amostras do polímero superabsorvente, produzidas pelo Professor Ole Mejlhede na Universidade Técnica de Dinamarca (DTU).

À CIAIMPER, na pessoa do Engenheiro Paulo Henrique Vasconcelos, por todo auxílio durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Às empresas CONCRECON, ICAL e Wacker, pelo fornecimento dos materiais estudados.

À UnB e ao Programa de pós Graduação em Estrutura e Construção Civil (PECC), em especial às Professoras Eugênia, Michele, Rosa, Eliane e Valdirene, e aos Professores Cláudio, João Henrique e Bauer: obrigada pelo conhecimento compartilhado.

À CAPES pelo apoio na forma de bolsa de estudos.

Aos colegas do PECC que se tornaram meus amigos: Alejandro, Ana Carolina, Carlos, Divino, Elier, Elaine, Jéssica, Márcia, Marcus Vinícius, Marília, Matheus, Mirellen,

Nazaré, Uchoa, Vanda, Yulena e Wanderley; meus sinceros agradecimentos por todo o apoio, carinho e dedicação ao longo de todos esses anos.

Ao Alejandro, Elier, Matheus, Marcus Vinícius, Oisy, Tania e Vanda por terem compartilhado comigo, além da amizade, horas de discussões fundamentais ao desenvolvimento desta tese.

Às amigas Taís, Priscila, Iara e Yulena que tornaram minha vida em Brasília agradável e divertida: foi um prazer compartilhar esse tempo com vocês.

Aos meus familiares sempre presentes e vigilantes. Em especial aos meus pais Cláudio e Dorca e ao meu irmão Pedro, pela paciência, estímulo e apoio permanente durante essa etapa.

Ao meu marido José Renato, pelo amor, incentivo e dedicação; pela ajuda no laboratório, pelo cuidado diário, pelo apoio financeiro; e pela paciência incondicional. Obrigada, mil vezes obrigada.

E à Deus, que sempre me guarda, por me dar forças para concluir esta etapa.

## **RESUMO**

### **ESTUDO DA ESTRUTURA DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E SUA INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES DE TRANSPORTE DE ÁGUA.**

**Autora: Maria Cláudia de Freitas Salomão**

**Orientador: Elton Bauer**

**Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB)**

**Brasília, dezembro de 2016**

Essa pesquisa se dedica a contribuir com o estudo do transporte de água das argamassas tanto na umidificação quanto na secagem com foco nos materiais que modificam e mitigam o processo, bem como nos métodos capazes de caracterizar esse transporte. Foram estudadas dois grupos de argamassas. Em uma primeira etapa, foi avaliada a eficiência e o desempenho em relação ao transporte de água de argamassas mistas de cimento Portland, cal hidratada e areia natural com o objetivo de verificar a influência dos parâmetros de dosagem na estrutura porosa e transporte de água. Em um segundo momento, avaliou-se argamassas produzidas com seis diferentes aditivos, sendo quatro hidrofugantes (Estearato de Cálcio, Estearato de Zinco, Acetato de Vinila-Etileno e silano), um incorporador de ar e um polímero superabsorvente, além de uma argamassa industrializada.

Como propriedades intrínsecas das argamassas, avaliou-se as propriedades físicas e a porosidade das argamassas na tentativa de caracterizar a estrutura porosa das mesmas. O comportamento das argamassas na presença de vapor foi avaliado por meio de isotermas de adsorção e dessorção de umidade. O transporte de vapor de água foi caracterizado no ensaio de permeabilidade de vapor de água. O comportamento frente ao transporte de água líquida foi estudado a partir dos ensaios de absorção por capilaridade e absorção por imersão. A cinética de secagem foi estudada a partir de curvas de secagem obtidas a partir da evaporação de água.

Com base na análise dos resultados das argamassas sem aditivos pode-se dizer que a quantidade de aglomerantes foi o fator que mais impactou na distribuição dos poros que o tipo de agregado. Quanto ao transporte de água, observou-se que a associação do volume e distribuição de poros com os mecanismos de transporte não é direta. O transporte de vapor é mais relacionado à maior superfície específica, do que necessariamente ao volume de poros. O transporte de água líquida também se mostrou sensível ao volume de poros grandes.

Nas argamassas com aditivo, por sua vez, observou-se que cada aditivo alterou diferentemente a distribuição do volume de poros. O transporte de água líquida e vapor nas argamassas com aditivos também foi influenciada pela porosidade, no entanto a ação dos hidrofugantes foi preponderante à distribuição de poros. A influência dos aditivos é notada mais fortemente no fenômeno de capilaridade. Nas demais propriedades, percebe-se a ação conjunta da modificação da estrutura porosa e dos aditivos.

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF PORE STRUCTURE ON RENDERING MORTARS AND ITS INFLUENCE ON WATER TRANSPORT PROPERTIES.**

**Author: Maria Cláudia de Freitas Salomão**

**Supervisor: Elton Bauer**

**Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB)**

**Brasília, December of 2016**

The present work contributes to the study of water transport in mortars in both wetting and drying process focused on materials that modify and mitigate those processes, as well as in methods capable of characterizing this transport. Two groups of mortars were studied. In a first step, the efficiency and performance of cement-lime and natural sand mortars were evaluated in order to verify the influence of mix parameters on pore structure and water transport. In a second moment, mortars produced with six different admixtures were evaluated. Among those, four were water-repellent admixtures (Calcium Stearate, Zinc Stearate, Vinyl-Ethylene Acetate and silane), one was an air entraining agent and the last one a superabsorbent polymer. In addition, an industrialized mortar was also evaluated.

As intrinsic properties, physical properties and porosity of mortars were valued in attempt to characterize the porous structure of mortars. Mortars' behavior in the presence of water vapour was assessed by adsorption and desorption isotherms. Water Vapour transport was characterized by water vapor permeability test. The performance in terms of liquid water transport was studied from capillary absorption and immersion absorption tests. The kinetics of drying was studied from drying curves obtained from water evaporation.

Based on analysis of cement-lime mortars results it can be said that the amount of binder was more significant in pores distribution than the type of aggregate used. As for water transport, it was detected that the association of total pore volume with transport mechanisms is not direct. Vapour transport seems to be more related to specific surface than to volume of pores. The transport of liquid water was also sensitive to the volume of large pores.

In mortars with admixtures, it was observed that each product altered the pore volume distribution differently. The transport of liquid and vapour water in mortars with admixtures was also influenced by porosity, however the action of water repellents was predominant to pores distribution. The influence of admixtures is most strongly noticed in capillarity phenomenon. In other properties, the combined action of the modification of porous structure and admixture is noticed.

## SUMÁRIO

<b>1– INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 – JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	1
1.2 – OBJETIVOS E ORIGINALIDADE DA PESQUISA .....	5
1.3 – ESTRUTURA DA TESE.....	6
<b>2– ESTRUTURA POROSA E O TRANSPORTE DE ÁGUA .....</b>	<b>8</b>
2.1 – POROSIDADE.....	8
2.2 – TRANSPORTE DE ÁGUA LÍQUIDA E VAPOR .....	14
<b>3– MITIGAÇÃO DO TRANSPORTE DE ÁGUA .....</b>	<b>28</b>
3.1 – PARÂMETROS DE DOSAGEM .....	29
3.2 – ADITIVOS.....	31
3.2.1 – Polímeros sintéticos .....	31
3.2.2 – Estearatos e silanos .....	32
3.2.3 – Polímeros superabsorventes - SAP .....	35
3.3 – Outros aditivos .....	37
<b>4– PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
4.1 – ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSAS MISTAS (SEM ADITIVO). ...	40
4.2 – ETAPA 2: CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS COM ADITIVO .....	42
4.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	44
<b>4.3.1 – Aglomerantes .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.1.1 – Cimento Portland.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.1.2 – Cal Hidratada .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.2 – Agregados .....</b>	<b>45</b>
<b>4.3.3 – Aditivos .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3.4 – Argamassa industrializada .....</b>	<b>48</b>
4.4 – DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS MISTAS .....	48
4.5 – DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS ADITIVADAS .....	52
4.6 – PRODUÇÃO DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA.....	54
4.7 – MÉTODOS .....	54
<b>4.7.1 – Estado Fresco.....</b>	<b>55</b>
<b>4.7.1.1 – Ensaio de penetração de cone.....</b>	<b>55</b>
<b>4.7.1.2 – Determinação da densidade de massa.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.1.3 – Determinação do teor de ar .....</b>	<b>57</b>
<b>4.7.2 – Estado Endurecido .....</b>	<b>57</b>

4.7.2.1	– Absorção por imersão, massa específica, índice de vazios e densidade de massa aparente .....	58
4.7.2.2	– Porosimetria por intrusão de mercúrio e superfície específica .....	60
4.7.2.3	– Microscopia eletrônica de varredura .....	62
4.7.2.4	– Propriedades mecânicas .....	63
4.7.2.5	– Isotermas de adsorção e dessorção .....	63
4.7.2.6	– Curva de sucção .....	65
4.7.2.7	– Absorção de água por capilaridade.....	67
4.7.2.8	– Permeabilidade ao vapor de água .....	68
4.7.2.9	– Secagem.....	70
<b>5</b>	<b>– RESULTADOS E DISCUSSÃO - PROGRAMA EXPERIMENTAL - ETAPA 1 - ARGAMASSAS SEM ADITIVO. ....</b>	<b>73</b>
5.1	– PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DAS ARGAMASSAS .....	73
5.1.1	– Caracterização no estado fresco.....	73
5.1.2	– Caracterização física no estado endurecido e propriedades mecânicas	75
5.1.3	– Caracterização dos poros - Porosimetria por intrusão de mercúrio e Superfície Específica BET .....	77
5.1.4	– Caracterização dos poros – Microscopia eletrônica de varredura .....	81
5.2	– COMPORTAMENTO QUANTO aO TRANSPORTE DE ÁGUA .....	83
5.2.1	– Comportamento higroscópico .....	83
5.2.1.1	– Curva de sucção - WP4C.....	85
5.2.2	– Absorção de água.....	89
5.2.3	– Permeabilidade ao vapor de água .....	91
5.2.4	– Secagem.....	92
5.3	– DISCUSSÃO.....	96
<b>6</b>	<b>– RESULTADOS E DISCUSSÃO - PROGRAMA EXPERIMENTAL - ETAPA 2 - ARGAMASSAS COM ADITIVOS. ....</b>	<b>110</b>
6.1	– PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DAS ARGAMASSAS .....	110
6.1.1	– Caracterização no estado fresco.....	110
6.1.2	– Caracterização física no estado endurecido e propriedades mecânicas	111
6.1.3	– Caracterização dos poros - Porosimetria por intrusão de mercúrio, saturação e Superfície Específica BET .....	113
6.1.4	– Caracterização dos poros – Microscopia eletrônica de varredura .....	119
6.2	– COMPORTAMENTO QUANTO AO TRANSPORTE DE ÁGUA .....	121

6.2.1 – Comportamento higroscópico .....	121
6.2.1.1 – Curva de sucção - WP4C.....	123
6.2.2 – Absorção de água.....	127
6.2.3 – Permeabilidade ao vapor de água .....	130
6.2.4 – Secagem.....	131
6.3 – DISCUSSÃO.....	134
<b>7– CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....</b>	<b>141</b>
7.1 – CONCLUSÕES.....	141
7.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	143
<b>APÊNDICE A – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E DESSORÇÃO OBTIDAS POR SOLUÇÃO SALINA</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE B – RESULTADOS INDIVIDUAIS DAS CURVAS DE SUCCÃO .</b>	<b>183</b>
<b>APÊNDICE C – RESULTADOS INDIVIDUAIS ISOTERMAS DE DESSORÇÃO OBTIDAS POR SOLUÇÃO SALINA E PELA CURVA DE SUCCÃO .....</b>	<b>186</b>
<b>APÊNDICE D – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....</b>	<b>188</b>
<b>APÊNDICE E – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA.....</b>	<b>193</b>
<b>APÊNDICE F – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS ENSAIOS DE SECAGEM</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIO SORÇÃO DE NITROGÊNIO .....</b>	<b>216</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Classificação dos poros. Adaptado de: THOMSON et al. (2004).....	9
Figura 2.2 – Exemplo de um poro de dimensão maior acessível por poros de menor dimensão. (Adaptado de: MOSQUERA et al., 2006).....	11
Figura 2.3 - Método de medida dos poros e dimensão dos poros. (Adaptado de: Gong et al., 2013) .....	12
Figura 2.4 – Modelo simplificado de intrusão de mercúrio e adsorção de nitrogênio (poros cinza escuro: poros intrudidos na pressão anterior; cinza claro: mercúrio/N <sub>2</sub> intrudido na pressão atual) Adaptado de: Kaufmann et al. (2009).....	13
Figura 2.5 - Transferência de umidade em uma parede porosa (Fonte: MENDES, 1997) .....	15
Figura 2.6 - Comportamento higroscópico de materiais de construção em função da umidade relativa. Adaptado de: FREITAS et al., 2008.....	17
Figura 2.7 - Etapas de fixação de umidade por adsorção. (Fonte: Freitas et al., 2008).....	18
Figura 2.8 – Condensação capilar em poros de diferentes diâmetros (Adaptado de: CAMUFFO, 1982) .....	19
Figura 2.9 - Diferença na resultante das forças de atração entre as moléculas do meio do líquido. (Fonte: DALTIM, 2011) .....	19
Figura 2.10 - Balanço de forças resultante no contato do menisco ( $\sigma_s$ = tensão superficial entre o sólido e o líquido; $\sigma_{sg}$ = tensão superficial entre o sólido e gás; $\sigma_{sl}$ = tensão superficial entre o líquido e o gás ( $\sigma_{lg}$ ).....	20
Figura 2.11 - Representação esquemática do fenômeno da capilaridade. (Adaptado de: FREITAS et al., 2008) .....	21
Figura 2.12 - Curva de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo e esquema da absorção capilar. (Adaptado de: SILVA, 2011).....	22
Figura 2.13 - Ascensão capilar em poros de diferentes diâmetros. (Adaptada de: RATO, 2006).....	22
Figura 2.14 - cinética de secagem. a) Raio do menisco da água ( $r_m$ ) igual nos dois poros o de raio grande ( $r_g$ ) e o de raio pequeno ( $r_p$ ) e maior que ambos b) Raio do menisco da água ( $r_m$ ) menor que o raio do poro de raio grande ( $r_g$ ) c) Raio do menisco da água ( $r_m$ ) menor que o raio do poro de raio grande ( $r_p$ ) d) bolsões de água na estrutura seca (Adaptado de: SCHERER, 2004).....	24
Figura 2.15 – Curva de secagem de materiais porosos. a) curva em função do tempo b) curva em função da raiz do tempo ( Adaptado de SCHEFFLER; PLAGGE, 2010) .....	25
Figura 3.1 - Representação esquemática do estearato de cálcio .....	32
Figura 3.2 - Representação esquemática dos aditivos tensoativos adsorvidos nas paredes dos poros. ....	33
Figura 4.1 - Fluxograma da Etapa 1 do programa experimental.....	41
Figura 4.2 - Fluxograma da Etapa 2 do programa experimental.....	42
Figura 4.3 - Curva de distribuição granulométrica dos agregados.....	46
Figura 4.4 - Apresentação da nomenclatura das argamassas mistas .....	49
Figura 4.5 - Relação entre cal/cimento e o parâmetro “E” .....	51
Figura 4.6 - Relação entre água/cimento e o parâmetro “E” .....	51
Figura 4.7 - Composições das argamassas mistas em volume absoluto .....	51
Figura 4.8 - Apresentação da nomenclatura das argamassas aditivadas.....	53
Figura 4.9 - Apresentação da nomenclatura da argamassas industrializada .....	54
Figura 4.10 – Equipamento utilizado para ensaio de penetração de cone .....	55
Figura 4.11 - Esquema de fabricação e utilização dos corpos de prova por ensaio .....	58
Figura 4.12 – Equipamento Pentapyc 5200e a) visão geral b) detalhe da capsula de armazenamento .....	60
Figura 4.13 – Equipamento Nova 2200e para adsorção de nitrogênio.....	62
Figura 4.14 – Recipiente utilizado no ensaio de isotermas de adsorção e dessorção. a) solução salina no nível inferior. b) amostras no nível superior .....	64
Figura 4.15 - Foto do ensaio de isotermas. [a] Recipientes para ensaio. [b] Medição de umidade relativa no recipiente .....	64
Figura 4.16 – Equipamento WP4C. a) visão geral b) amostra e recipiente .....	66
Figura 4.17 – Corpo de prova selado lateralmente para ensaio de capilaridade .....	67
Figura 4.18 – Ensaio de capilaridade.....	68
Figura 4.19 - Aparato para determinação da variação de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor .....	69
Figura 4.20 - Preparação do ensaio de permeabilidade ao vapor.....	69
Figura 4.21 - Taxas de secagem obtidas da curva de secagem. ....	70
Figura 4.22 – Ensaio de secagem: estudo piloto com corpos de prova prismáticos de diferentes dimensões .	71
Figura 4.23 - Definição do corpo de prova para ensaio de secagem. Espessura e selagem das amostras.....	72
Figura 5.1 - Relação entre proporção de água/aglomerantes e agregado/aglomerante.....	74
Figura 5.2 - Relação entre índice de vazios e proporção de agregados e aglomerantes .....	76
Figura 5.3 - Distribuição incremental de volume de poros .....	78

Figura 5.4 - Detalhe da distribuição dos poros macroporos “poros grandes”. a) volume incremental b) volume acumulado.....	78
Figura 5.5 - Distribuição acumulada do volume de poros.....	79
Figura 5.6 – Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da argamassa A1E6. a) ampliação de 50x; b) ampliação de 100x; c) ampliação de 2500x; composição obtida por EDS .....	82
Figura 5.7 – Microscopias das argamassas A1E9, A1E12, A2E6, A2E9 e A2E12 .....	82
Figura 5.8 – Curvas de adsorção e dessorção de umidade das argamassas .....	84
Figura 5.9 – Avaliação da influencia do teor de aglomerante no comportamento higroscópico. (a) argamassas A1E6, A1E9 e A1E12; (b) argamassas A2E6, A2E9 e A2E12 .....	85
Figura 5.10 – Avaliação da influencia do agregado no comportamento higroscópico. (a) argamassas A1E6 e A2E6; (b) argamassas A1E9 e A2E9; (c) argamassas A1E12 e A2E12 .....	85
Figura 5.11 - Curva de sucção obtida pelo WP4C.....	86
Figura 5.12 - Comparação das curvas de sucção de água e isotermas de dessorção. (a) A1E6, (b) A2E6, (c) A1E9, (d) A2E9, (e) A1E12, (f) A2E12 .....	87
Figura 5.13 - Curvas higroscópicas obtidas a partir das isotermas de solução salina e WP4C. a) curvas completas. B) Conteúdo de umidade em teores de umidade acima de 0,8.....	88
Figura 5.14 - Curvas de absorção de água por capilaridade.....	89
Figura 5.15 - Absorção de água por capilaridade após 72 horas .....	90
Figura 5.16 - Extrapolação da trajetória de saturação das argamassas.....	91
Figura 5.17 - Curva de Secagem das argamassas .....	92
Figura 5.18 – Avaliação da influencia do teor de aglomerante na secagem. (a) argamassas A1E6, A1E9 e A1E12; (b) argamassas A2E6, A2E9 e A2E12.....	93
Figura 5.19 – Avaliação da influencia do agregado na secagem. (a) argamassas A1E6 e A2E6; (b) argamassas A1E9 e A2E9; (c) argamassas A1E12 e A2E12.....	93
Figura 5.20 – Cinética de secagem. (a) 2 horas; (b) de 2 horas às 24 horas; (c) 24 horas a 48 horas (d) 48 horas ao fim do ensaio.....	94
Figura 5.21 - Volume de poros na faixa de $7 \times 10^{-9} \text{m}$ a $5 \times 10^{-8} \text{m}$ . .....	97
Figura 5.22 - Relação do volume de poros com a relação agregado/aglomerantes (a) e teor de água (b) .....	98
Figura 5.23 - Relação entre diâmetro e quantidade de aglomerantes.....	99
Figura 5.24 – Relação do conteúdo de umidade medido na dessorção com a superfície específica (a) e o volume de poros (b). .....	99
Figura 5.25 – Relação entre volume de aglomerantes e conteúdo de umidade medido na dessorção.....	100
Figura 5.26 – Relação entre coeficiente de capilaridade e conteúdo de umidade medido na dessorção .....	100
Figura 5.27 – Relação do coeficiente de capilaridade e com agregado/aglomerantes (a) e com o teor de água (b).....	101
Figura 5.28 – Relação entre volume de poros grandes e coeficiente de capilaridade .....	101
Figura 5.29 – Relação entre volume total de poros e absorção por imersão.....	102
Figura 5.30 – Relação entre a resistência à difusão do vapor de água com a superfície específica (a) e o volume de poros (b).....	103
Figura 5.31 – Relação entre a resistência à difusão do vapor de água e o coeficiente de capilaridade .....	103
Figura 5.32 – Relação entre a secagem e difusão de vapor de água (a) capilaridade (b) .....	104
Figura 5.33 - Relação entre a taxa de secagem e o transporte de água por capilaridade (a) e vapor (b).....	104
Figura 5.34 – Relação entre conteúdo de umidade ao fim da secagem e à 50% de UR .....	105
Figura 5.35 - Curva de Molhagem e secagem.....	106
Figura 6.1 - Distribuição de poros das argamassas aditivadas e industrializada.....	113
Figura 6.2 - Distribuição de poros argamassa SAP .....	114
Figura 6.3 - Distribuição de poros argamassa ECA.....	115
Figura 6.4 - Distribuição de poros das argamassas aditivadas selecionadas para avaliação.....	115
Figura 6.5 - Distribuição de poros argamassa VIN.....	116
Figura 6.6 - Distribuição de poros argamassa EZN .....	116
Figura 6.7 - Distribuição de poros argamassa INC.....	117
Figura 6.8 - Distribuição de poros argamassa SIL.....	117
Figura 6.9 - Distribuição de poros argamassa S9 .....	117
Figura 6.10 - Efeito do aditivo Sil na estrutura porosa das argamassas. ....	118
Figura 6.11 – Microscopias das argamassas EZN, SIL, ECA, VIN, INC, S9, SAP, IND.....	119
Figura 6.12 - Composição das argamassas com hidrofugantes .....	121
Figura 6.13 – Curvas de adsorção e dessorção de umidade das argamassas aditivadas .....	122
Figura 6.14 - Isotermas de adsorção das argamassas aditivadas.....	122
Figura 6.15 - Isotermas de dessorção das argamassas aditivadas .....	123
Figura 6.16 - Curva de sucção obtida pelo WP4C.....	123

Figura 6.17 - Comparação das curvas de sucção de água e isotermas de dessorção das argamassas aditivadas e industrializada..	124
Figura 6.18 - Curvas higroscópicas das argamassas aditivadas obtidas a partir das isotermas de solução salina e WP4C.....	125
Figura 6.19 - Isoterma de dessorção - argamassas sem hidrofugantes.....	126
Figura 6.20 - Isoterma de dessorção - argamassas com hidrofugantes .....	126
Figura 6.21 - Isoterma de dessorção - argamassas com aditivo a base de silano.....	127
Figura 6.22 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas aditivadas e industrializada .....	128
Figura 6.23 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas com hidrofugantes.....	129
Figura 6.24 - Curva de secagem das argamassas aditivadas e industrializada.....	131
Figura 6.25 - Curva de secagem das argamassas INC, SAP e IND .....	132
Figura 6.26 - Curva de secagem das argamassas com hidrofugantes.....	132
Figura 6.27 – Cinética de secagem. (a) 2 horas; (b) de 2 horas a 12 horas; (c) 12 horas a 24 horas (d) 24 horas a 48horas.....	133
Figura 6.28 – Relação do Volume total de poros com o teor de ar (a) e índice de vazios (b) .....	135
Figura 6.29 – Distribuição do volume (a) e porcentagem (b)de poros por faixa de tamanhos de poros .....	135
Figura 6.30 - Relação entre volume de poros (PIM) e absorção de água por imersão (a) e capilaridade (b).....	136
Figura 6.31 - Relação entre absorção por imersão e coeficiente de capilaridade.....	137
Figura 6.32 - Relação entre a resistência à difusão do vapor de água e a absorção de água por capilaridade (a) e por imersão (b) .....	137
Figura 6.33 - Relação entre coeficiente de capilaridade e índice de secagem .....	138
Figura A.1 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A1E6 .....	217
Figura A.2 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A1E9 .....	217
Figura A.3 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A1E12.....	218
Figura A.4 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A2E6 .....	219
Figura A.5 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A2E9 .....	220
Figura A.6 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A2E12.....	221
Figura A.7 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –ECA.....	222
Figura A.8 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –EZN .....	223
Figura A.9 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –INC.....	224
Figura A.10 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –SAP.....	225
Figura A.11 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –SIL.....	226
Figura A.12 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –VIN.....	227
Figura A.13 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –IND.....	228
Figura A.14 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –S9 .....	229

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Caracterização física e química do cimento CPV - ARI.....	44
Tabela 4.2 - Caracterização física e química da cal hidratada CH-I.....	45
Tabela 4.3 - Caracterização dos agregados Areia 1 e Areia 2.....	46
Tabela 4.4 - Apresentação e caracterização dos aditivos.....	47
Tabela 4.5 - Caracterização física e mecânica da argamassa industrializada.....	48
Tabela 4.6 - Traço e parâmetros de mistura das argamassas mistas.....	50
Tabela 4.7 - Teores dos aditivos.....	52
Tabela 4.8 - Traço das argamassas aditivadas.....	53
Tabela 4.9 - Traço da argamassa industrializada.....	54
Tabela 5.1 - Propriedades das argamassas no estado fresco.....	73
Tabela 5.2 - Caracterização física no estado endurecido.....	75
Tabela 5.3 - Propriedades mecânicas.....	77
Tabela 5.4 - Dados da caracterização dos poros.....	80
Tabela 5.5 - Conversão dos teores de umidade das soluções salinas em sucção.....	86
Tabela 5.6 - Características de absorção de água das argamassas.....	89
Tabela 5.7 - Características de saturação em água das argamassas.....	90
Tabela 5.8 - Parâmetros de permeabilidade ao vapor de água.....	92
Tabela 5.9 - Índice de secagem das argamassas.....	94
Tabela 5.10 - Taxa de secagem ao longo do ensaio [% massa/ $\sqrt{h}$ ].....	96
Tabela 5.11 - Resumo características da estrutura porosa das argamassas.....	107
Tabela 5.12 - Resumo propriedades de transporte de água.....	108
Tabela 5.13 - Coeficiente de proteção à água da chuva (KÜNZEL et al., 2004).....	109
Tabela 6.1 - Propriedades das argamassas no estado fresco.....	110
Tabela 6.2 - Caracterização física no estado endurecido.....	112
Tabela 6.3 - Propriedades mecânicas.....	113
Tabela 6.4 - Dados da caracterização dos poros das argamassas aditivadas e industrializada.....	118
Tabela 6.5 - Características de absorção de água das argamassas com aditivos e industrializadas.....	128
Tabela 6.6 - Características de saturação em água das argamassas.....	130
Tabela 6.7 - Parâmetros de permeabilidade ao vapor de água das argamassas aditivadas e industrializada.....	130
Tabela 6.8 - Índice de secagem das argamassas com aditivos e industrializada.....	134
Tabela 6.9 - Síntese dos resultados e eficiência das argamassas quanto ao transporte de água.....	139
Tabela 6.10 - Coeficiente de proteção à água da chuva (KÜNZEL et al., 2004).....	140
Tabela A.1 - Massa das amostras - Dessorção das argamassas sem aditivos (Etapa 1).....	165
Tabela A.2 - Massa das amostras - Adsorção das argamassas sem aditivos (Etapa 1).....	169
Tabela A.3 - Isoterma de Dessorção argamassas sem aditivos - teor de umidade x conteúdo de umidade mássico.....	173
Tabela A.4 - Isoterma de Adsorção argamassas sem aditivos - teor de umidade x conteúdo de umidade mássico.....	173
Tabela A.5 - Massa das amostras - Dessorção das argamassas com aditivos (Etapa 2).....	174
Tabela A.6 - Massa das amostras - Adsorção das argamassas com aditivos (Etapa 2).....	178
Tabela A.7 - Isoterma de Dessorção argamassas com aditivo - teor de umidade x conteúdo de umidade mássico.....	182
Tabela A.8 - Isoterma de Adsorção argamassas com aditivo - teor de umidade x conteúdo de umidade mássico.....	182
Tabela B.1 - Teor de água versus Pressão de sucção medida com o equipamento WP4C - argamassas sem aditivos.....	184
Tabela B.2 - Tabela B.3 - Teor de água versus Pressão de sucção medida com o equipamento WP4C - argamassas com aditivos.....	185
Tabela C.1 - Isoterma de Dessorção argamassas sem aditivo - teor de umidade x conteúdo de umidade mássico - após ajuste GAB com dados das soluções e WP4C.....	187
Tabela C.2 - Isoterma de Dessorção argamassas com aditivo - teor de umidade x conteúdo de umidade mássico - após ajuste GAB com dados das soluções e WP4C.....	187
Tabela D.1 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade - A1E6.....	189
Tabela D.2 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade - A1E9.....	189
Tabela D.3 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade - A1E12.....	189
Tabela D.4 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade - A2E6.....	190
Tabela D.5 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade - A2E9.....	190

Tabela D.6 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A2E12 .....	190
Tabela D.7 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – EZN.....	191
Tabela D.8 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – SIL .....	191
Tabela D.9 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – ECA .....	191
Tabela D.10 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – VIN .....	191
Tabela D.11 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – INC.....	192
Tabela D.12 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – SAP .....	192
Tabela D.13 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – S9.....	192
Tabela D.14 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – IND .....	192
Tabela E.1 – Dimensão dos corpos de prova e preparação para ensaio – argamassas sem aditivos .....	194
Tabela E.2 – Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas sem aditivos A1E6, A1E9 e A1E12.....	195
Tabela E.3 - Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas sem aditivos A2E6, A2E9 e A2E12.....	196
Tabela E.4 – Variação da massa ao longo do tempo - – argamassas sem aditivos A1E6, A1E9 e A1E12 ...	197
Tabela E.5 – Variação da massa ao longo do tempo - – argamassas sem aditivos A2E6, A2E9 e A2E12 ...	198
Tabela E.6 – Cálculo dos parâmetros de entrada (ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000)).....	199
Tabela E.7 – Cálculo dos valores individuais de permeabilidade ao vapor das argamassas sem aditivos - ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000).....	200
Tabela E.8 – Dimensão dos corpos de prova e preparação para ensaio – argamassas com aditivos.....	201
Tabela E.9 – Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas SIL EZN ECA e VIN.....	202
Tabela E.10 - Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas sem aditivos INC IND S9 e SAP .....	203
Tabela E.11 – Variação da massa ao longo do tempo - – argamassas sem aditivos SIL EZN ECA e VIN... 204	204
Tabela E.12 – Variação da massa ao longo do tempo - – argamassas sem aditivos INC IND S9 e SAP.....	205
Tabela E.13 – Cálculo dos parâmetros de entrada (ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000)). .....	206
Tabela E.14 – Cálculo dos valores individuais de permeabilidade ao vapor das argamassas sem aditivos - ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000).....	207
Tabela F.1 - Estudo piloto de secagem - definição do tamanho e selagem lateral dos corpos de prova .....	210
Tabela F.2 - Secagem A1E6.....	211
Tabela F.3 - Secagem A1E9.....	211
Tabela F.4 - Secagem A1E12.....	211
Tabela F.5 - Secagem A2E6.....	212
Tabela F.6 - Secagem A2E9.....	212
Tabela F.7 - Secagem A2E12.....	212
Tabela F.8 - Secagem EZN .....	213
Tabela F.9 - Secagem SIL.....	213
Tabela F.10 - Secagem ECA.....	213
Tabela F.11 - Secagem VIN.....	214
Tabela F.12 - Secagem INC.....	214
Tabela F.13 - Secagem S9.....	214
Tabela F.14 - Secagem SAP.....	215
Tabela F.15 - Secagem IND.....	215

## LISTA DE NOMENCLATURA E ABREVIações

### NOMENCLATURA /ABREVIações

### SIGNIFICADO

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BET	Modelo desenvolvido por Brunauer, Emmetr e Teller
BJH	Modelo desenvolvido por Barret, Joyner Halenda
CEN	Comitê Europeu de Normalização
CH-I	Cal Hidratada tipo I
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta resistência inicial
CSTB	Centre Scientifique et Technique de la Construction
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva
EN	Norma Europeia
GAB	Modelo desenvolvido por Guggenheim, Anderson e De Boer
ISO	International Organization for Standardization
LEM/UNB	Laboratório de Ensaio em Materiais/ Universidade de Brasileira
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
NBR	Norma Brasileira de Referência
PAE	Éster Poliacrílico
PECC/UNB	Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil
PIM	Porosimetria Por Intrusão de Mercúrio
RILEM	Réunion International des Laboratories D'Essais et Matériaux
SAP	Polímero Super Absorvente
SBR	Borracha de Estireno Butadieno
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNB	Universidade de Brasília
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UR	Umidade Relativa
VAE	Acetato de vinila e etileno

## LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
$m_{seca}$	massa seca
$M_x$	massa do corpo de prova durante o processo de secagem
$P$	Pressão
$P_{água}$	Pressão da água
$P_{ar}$	Pressão do ar
$P_c$	Pressão capilar
$P_s$	Sucção
$r$	raio de curvatura
$R$	Constante universal dos gases
$r_c$	raio crítico
$r_{cap}$	raio do capilar
$r_g$	raio poro grande
$r_m$	raio do menisco
$r_p$	raio poro pequeno
$r_s$	raio do poro esférico
$T$	temperatura (em Kelvin)
$t_f$	tempo final secagem
$v$	Volume do recipiente
$V_{recip}$	Volume do recipiente
$W$	conteúdo de umidade mássico da fase adsorvida
$\alpha$	ângulo de contato (água superfície do poro)
$\delta$	permeabilidade ao vapor de água
$\theta$	ângulo de contato
$\mu$	coeficiente de resistência à difusão do vapor de água
$\rho$	densidade da água
$\rho_{aparente}$	massa específica da amostra aparente
$\rho_{real}$	massa específica da amostra real
$\rho_{sat}$	massa específica da amostra saturada
$\rho_{seca}$	massa específica da amostra seca
$\sigma$	tensão superficial da água
$\sigma_{lg}$	tensão entre líquido e gás
$\sigma_{sg}$	tensão entre sólido e gás
$\sigma_{sl}$	tensão entre sólido e líquido

# **1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 – JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA**

As argamassas são amplamente utilizadas como material de revestimento no Brasil. O tipo e composição das argamassas são as mais variadas. Comumente são aplicadas composições mistas, com diversas proporções de cal, cimento e areia, mas se torna cada vez mais frequente o uso de aditivos e o desenvolvimento de argamassas produzidas em centrais e misturas secas pré-dosadas.

Por funcionar como um material de acabamento, as funções das argamassas vão desde a proteção à alvenaria, regularização das superfícies até a estanqueidade à água e aos gases. Para auxiliar na padronização das argamassas, existem documentos regulamentadores que estabelecem critérios de uso e produção desses materiais. Em destaque, pode ser citada a Norma Brasileira ABNT NBR 13281:2005 que discorre e fornece uma classificação sobre as propriedades das argamassas. Para tal, essa norma agrupa os resultados dos ensaios de caracterização das argamassas em faixas que representam comportamentos distintos. Um dos critérios de classificação da ABNT NBR 13281:2005 diz respeito ao comportamento das argamassas quanto ao transporte de água, mais especificamente quanto ao coeficiente de capilaridade. Essa característica, avaliada pelo ensaio apresentado na ABNT NBR 15259:2005, é especialmente importante, pois está diretamente relacionada à estanqueidade das edificações.

Recentemente, o desempenho de edificações passou a ser tratado com maior obrigatoriedade a partir da homologação da ABNT NBR 15575:2013. A parte 4 dessa norma trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas das edificações habitacionais. A ABNT NBR 15575-4:2013 especifica que mesmo sem função estrutural, as vedações verticais exercem ainda outras funções, como estanqueidade à água. Dessa forma, as argamassas, como revestimentos e parte do sistema de vedações, devem contribuir para a estanqueidade à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes e não permitir infiltração de água, através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas.

É notório que, a escolha do sistema mais adequado para garantir o desempenho de um sistema de vedação pressupõe o estudo das propriedades dos materiais constituintes e condições de exposição desse sistema. No caso da estanqueidade, o estudo dos mecanismos de transporte de água, na molhagem e na secagem, depende e se relaciona diretamente com as propriedades higrotérmicas das argamassas (e dos materiais porosos, como por exemplo, o bloco de alvenaria).

Para buscar subsídios para que os sistemas de revestimentos de vedações internas e fachadas possam atingir o desempenho preconizado, diversos trabalhos teóricos e experimentais têm estudado fatores característicos das argamassas que podem ser controlados de maneira a reduzir a incidência ou controle da ação da umidade nos revestimentos. Muito embora outras pesquisas já tivessem sido publicadas, a evolução destes trabalhos se deu a partir do fim da década de 1970 com o estudo do transporte de água. As pesquisas de Hall (1977, 1981, 1984, 1986) e outros pesquisadores (GUMMERSON et al., 1980; WILSON et al., 1991; 1994), foram muito relevantes por discutir os materiais de construção como meios não saturados e descrever o fenômeno o fluxo de água como difusional mostrando a dependência entre a difusividade hidráulica e o teor de umidade.

Mais recentemente, outros pesquisadores avançaram no estudo do transporte de água, notadamente em Portugal onde tais pesquisas são aplicadas para a recuperação de alvenarias antigas. Na Universidade do Porto, por exemplo, Barreira (2004), Ramos (2007), Carvalho (2010), Pinheiro (2012) e Faria (2013), estudaram a questão higrotérmica de fachadas e edificações. Estes trabalhos voltados à Física das Construções se dedicam em medir e simular propriedades higrotérmicas para avaliar o desempenho de componentes.

Além do transporte de água propriamente, outra questão que é tema recorrente de pesquisa é a degradação provocada pela presença de umidade. Neste sentido se destacam as pesquisas de Gonçalves (2007) que teve por objetivo compreender o comportamento de rebocos aplicados em paredes contaminadas com sais solúveis. A cristalização de sais em revestimentos também foi tratada por Puim (2010), Cardeira (2010) e Tuna (2011).

No Brasil, alguns grupos de pesquisa vêm se dedicando ao estudo do comportamento de revestimentos. Na Universidade de Brasília - UnB, Saraiva (1998) apresentou estudo evidenciando a influência da argamassa colante, do rejunte, do grau de absorção térmico, no comportamento estrutural dos revestimentos. Alves (2002) avaliou aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento, quanto ao seu mecanismo de ação e à sua influência em propriedades no estado fresco e endurecido. No estudo do estado fresco, a pesquisa desenvolvida por Santos (2003) enfatizou o processo de projeção das argamassas industrializadas. Também na compreensão dos aditivos, Do Ó (2004) estudou o mecanismo de retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas com retentores de água e incorporadores de ar.

Do ponto de vista da composição e desempenho, o trabalho desenvolvido na UnB por Paes (2004) buscou avaliar o transporte de água por sucção dos substratos, de diferentes argamassas frescas. Sousa (2005) avaliou experimentalmente as propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco, tendo em vista obter parâmetros capazes de definir condições de trabalhabilidade. Silva (2006) no estudo de argamassas mistas, verificou a influência dos parâmetros de dosagem (quantidade de aglomerantes e agregados) nas propriedades físico-mecânicas das argamassas, variando as condições de aplicação no substrato. Já Pereira (2007) discutiu a movimentação do revestimento à base de argamassa e a sua influência na fissuração e no descolamento do revestimento. Mais recentemente, o trabalho de Rodrigues Filho (2013) se destaca por caracterizar o comportamento físico e mecânico de diversas argamassas industrializadas disponíveis no mercado brasileiro.

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Dubaj (2000) realizou o levantamento e caracterização dos traços de argamassas utilizadas como revestimento na cidade de Porto Alegre. Salvador (2005) por sua vez avaliou a influência da variação da composição granulométrica de areias no comportamento físico e mecânico de argamassas de revestimento e assentamento. A aderência de revestimentos e sua relação com as condições de exposição (MOURA, 2007), com a rugosidade do substrato (PRETTO, 2007) e com a reologia das argamassas (STOLTZ, 2011; 2015) foi avaliada por diversos pesquisadores. No estudo de edificações degradadas pela ação da umidade, Gewehr (2004) se dedicou a estudar a aplicabilidade e eficiência de métodos de recuperação de paredes

degradadas e Posser (2004) a dosagem de argamassas de reboco de recuperação. Mais recentemente, Socoloski (2015) se dedicou ao estudo do tratamento da umidade ascensional em paredes.

Também na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC alguns trabalhos que vêm sendo desenvolvidos no âmbito da caracterização da estrutura porosa e estudo de mecanismo de fixação de umidade em meios porosos. Santos (2006) se propôs a avaliar as propriedades higrotérmicas das argamassas, como a absorção de água por imersão e por capilaridade, secagem ao ar, isotermas de adsorção, ângulo de molhamento aparente e condutividade térmica em função do conteúdo de umidade. Mustelier (2008) se dedicou à avaliação das propriedades físicas – higrotérmicas dos elementos constituintes de paredes (argamassa de revestimento, blocos) que influenciam no transporte de umidade com o objetivo de introduzir novos parâmetros de caracterização que contribuam no entendimento sobre o desempenho à estanqueidade exigido para paredes das edificações. No mesmo ano, Casali (2008) estudou a interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto avaliando o transporte de água e a aderência.

Apesar da série de estudos sobre o comportamento e o desenvolvimento de novos materiais ter avançado ao longo dos anos, na realidade da construção brasileira ainda é frequente o emprego de formulações de argamassas que não atendam as condições de desempenho mínimo. No estado endurecido, por exemplo, ainda são frequentemente encontradas ocorrências de fissuração, infiltração e eflorescências (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014). Essa série de anomalias vai de encontro ao preconizado na norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013.

A partir desta observação, e por considerar o tema ainda carente de informações, essa pesquisa se dedica a contribuir, de forma científica e também tecnológica, no entendimento da estrutura porosa nas argamassas e sua relação com a movimentação de água. Este estudo está inserido na Linha de Pesquisa referente a Sistemas Construtivos e Desempenho de Materiais e Componentes, na área de concentração Construção Civil do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB).

## 1.2 – OBJETIVOS E ORIGINALIDADE DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como objetivo principal estudar o transporte de água das argamassas tanto na umidificação quanto na secagem com foco nos materiais que modificam e mitigam o processo, bem como nos métodos capazes de caracterizar esse transporte. De maneira mais específica, pretende-se:

- avaliar a participação dos materiais constituintes no transporte de água em argamassas mistas de cimento, cal hidratada e areia;
- associar os processos e mecanismos de transporte de água no estado líquido e de vapor, à caracterização da estrutura porosa de argamassas;
- estudar e avaliar a influência da ação de aditivos na formação da estrutura porosa de argamassas;
- avaliar a eficiência de aditivos hidrofugantes na mitigação do transporte de água em argamassas;
- avaliar a influência de aditivos com outras finalidades principais (como o incorporador de ar e os polímeros superabsorventes) na ação hidrofugante de argamassas;
- contribuir com o estudo de simulações higrotérmicas de argamassas de revestimento a partir do levantamento de dados de caracterização dos materiais;
- contribuir com o estudo da porosidade em argamassas mistas de revestimento, visando avaliar a viabilidade de técnicas disponíveis para a caracterização dos poros; e
- verificar a adaptabilidade para argamassas de ensaios utilizados para caracterizar o transporte de água em outros meios porosos como rochas e solos.

A partir dos objetivos listados, percebe-se que a originalidade desta tese se baseia em associar a utilização de variados aditivos com o estudo e avaliação da estrutura porosa da argamassa. Outro ponto de originalidade se baseia na contribuição ao estudo das argamassas com o levantamento de parâmetros hídricos de argamassas usuais da realidade brasileira (argamassas mistas de cimento cal e areia). Especificamente, a tese é inovadora por fornecer dados para caracterização de argamassas além daqueles pautados pela ABNT NBR 13281:2005. Com métodos simples e em sua maioria gravimétrico, se torna possível avaliar, comparar e classificar diferentes argamassas de revestimento.

### **1.3 – ESTRUTURA DA TESE**

Este trabalho foi estruturado em sete capítulos. Este primeiro capítulo é dedicado a uma introdução indicando os motivos que incentivaram essa pesquisa, bem como sua importância, delimitações e objetivos.

Os dois capítulos seguintes compreendem a revisão bibliográfica. No Capítulo 2 são abordados os temas da estrutura porosa em argamassas e o transporte de água nesses materiais. No Capítulo 3 são expostas as alternativas mais usuais para a mitigação do transporte de água.

No Capítulo 4 é apresentada a estrutura do programa experimental, dividido em duas etapas. Uma primeira etapa é dedicada ao estudo das argamassas mistas (sem aditivos), com o objetivo de associar os parâmetros de dosagem com o transporte de água. A segunda etapa trata das argamassas aditivadas, com diferentes produtos a fim de testar a capacidade dos mesmos em alterar o transporte de água. Neste Capítulo também são indicadas as variáveis do estudo, a definição das argamassas estudadas, os procedimentos de ensaios empregados na avaliação da estrutura porosa e das propriedades de transporte das argamassas, além dos ensaios de caracterização dos materiais.

Nos dois capítulos subsequentes, encontram-se indicados os resultados e discussões acerca das duas etapas do programa experimental. No Capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos na etapa 1 do programa experimental e a discussão sobre os mesmos. Inicialmente são mostrados os resultados quanto às propriedades chamadas intrínsecas das argamassas. Ou seja, são apresentados os resultados referentes aos parâmetros de dosagem, às propriedades mecânicas, à caracterização física no estado endurecido e principalmente à caracterização da estrutura porosa, feita por porosimetria por intrusão de mercúrio, adsorção de nitrogênio e microscopia eletrônica de varredura. Em seguida, apresentam-se os resultados que caracterizam as argamassas quanto ao transporte de água. Os resultados englobam a movimentação da água no estado líquido e vapor, durante a molhagem e a secagem. Por fim, esses resultados são analisados e discutidos, no intuito de associar as propriedades intrínsecas e o transporte de água. De maneira semelhante, no Capítulo 6 são

apresentados os resultados e discussão referentes às argamassas estudadas na etapa 2 do programa experimental.

Finalmente, tem-se o Capítulo 7, no qual são tecidas as conclusões da tese, as considerações finais e as sugestões para futuras pesquisas. Após este capítulo, são apresentados sequencialmente, as referências bibliográficas e os apêndices.

## 2 – ESTRUTURA POROSA E O TRANSPORTE DE ÁGUA

### 2.1 – POROSIDADE

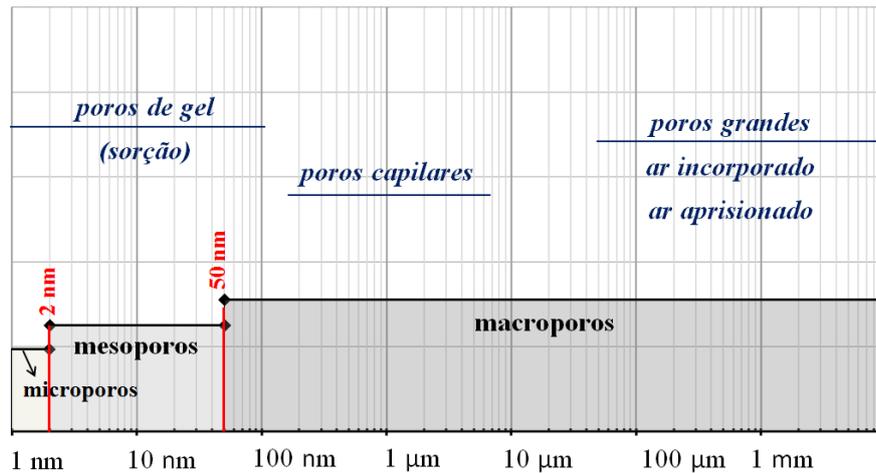
Os materiais de construção podem ser classificados de acordo com a sua microestrutura, em materiais porosos e não porosos. A grande maioria dos materiais de construção são materiais porosos, por vezes muito porosos, como a madeira, materiais de isolamento e argamassas e concretos à base de cimento, cal e gesso.

A porosidade é uma das características de grande importância dos materiais à base de cimento, que influencia várias propriedades como permeabilidade, resistência e durabilidade (BAROGHEL-BOUNY, 1994). A rede de poros de materiais cimentícios é complexa e tortuosa. Ela é resultante de um conjunto de opções tomadas na fabricação e cura, além das condições de aplicação e das características dos substratos que recebem esses materiais (RATO, 2006).

O meio poroso pode ser definido como um conjunto macroscópico heterogêneo que associa três fases: sólida, líquida e gasosa. No caso de uma argamassa endurecida, a matriz representa a fase sólida e os poros preenchidos de ar ou de água representam as fases gasosas ou líquidas, respectivamente. A porosidade de um material corresponde à razão entre o volume de vazios e o volume total do material. É possível distinguir dois tipos de porosidade: a porosidade fechada, poros que não se comunicam entre si e a porosidade aberta, poros que são interconectados.

Durante o processo de produção e endurecimento das argamassas os poros de diferentes dimensões são formados. Os poros podem ser classificados de diferentes formas. Mehta e Monteiro (2008) diferenciam os vazios nos materiais cimentícios quanto à sua origem e dimensões em poros de gel, vazios capilares e vazios de ar incorporado e aprisionado. No entanto, a associação dessas características com a dimensão dos poros não é consenso entre os pesquisadores (GONG et al., 2013). Dessa forma, a classificação dos poros normalmente utilizada é a sugerida pela *International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC* (ROUQUEROLT et al., 1994), que classifica os poros de acordo com suas dimensões em macroporos, mesoporos e microporos (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Classificação dos poros. Adaptado de: THOMSON et al. (2004)



Na matriz de aglomerantes, os produtos hidratados do cimento formam os poros de gel, cujas dimensões são de alguns nanômetros. A quantidade desses poros aumenta com a hidratação do cimento e diminui com a quantidade de cal nas misturas (THOMSON et al., 2004). No entanto, quando ocorre a hidratação do cimento, uma parte do volume não é preenchida pelos produtos hidratados e forma os poros capilares que possuem formas variadas e em geral estão interconectados (MEHTA E MONTEIRO, 2008). O aumento do volume de poros capilares acarreta um aumento da conectividade dos poros capilares.

A relação água/aglomerantes e aglomerantes/agregados influencia a formação dos poros capilares (THOMSON et al., 2004): a maior quantidade de água e menor quantidade de agregado resultam em maior quantidade de poros capilares. Além disso, a porosidade do substrato também influencia na formação da estrutura dos poros uma vez que substratos muito porosos podem alterar o teor de água das argamassas no momento da aplicação e modificar sua porosidade (PAES, 2004)

Os poros de maior dimensão se formam pelo movimento da água e do ar na mistura fresca de argamassa (PAES, 2004; PEREIRA, 2007). Esses poros podem ser muito interconectados quando formados pela absorção da água pelo substrato poroso (no caso de revestimentos argamassados) ou pela evaporação na superfície. Os poros grandes podem ainda ser formados pelo aprisionamento de ar durante o processo de mistura. Argamassas com baixo teor de água favorecem a formação desse tipo de poros. Além disso, aditivos podem ser colocados nas argamassas propositadamente para incorporar poros (de ar) muito pequenos na pasta de aglomerantes.

A porosidade tem um papel importante no transporte de umidade nas argamassas e é relacionada com geometria dos poros. A noção da geometria dos poros está associada essencialmente ao tamanho e à forma dos poros, bem como da sua organização espacial. Thomson et al. (2004) elencam três valores fundamentais para descrever os materiais porosos: a porosidade total, a distribuição do tamanho de poros e a superfície específica. A porosidade total pode ser definida como a fração do volume total que é ocupado por poros. A parte desse volume que é interconectada (porosidade aberta) pode ser medida por meio de técnicas de microscopia e de intrusão de mercúrio. A porosidade fechada pode ser avaliada por técnicas de microscopia.

Já a superfície específica é definida como a área de superfície acessível contida na unidade de massa do volume de sólidos. A superfície específica é um dado essencial dos materiais porosos à medida que ela é condicionante de fenômenos como a adsorção de água (BAROGHEL-BOUNY, 1994). No entanto, dentre esses parâmetros, possivelmente o de maior importância é a distribuição de tamanho dos poros. A distribuição de tamanho de poros pode ser expressa como volume acumulado ou diferencial de poros que se encontram dentro de um intervalo de tamanho estabelecido.

A técnica de porosimetria por intrusão de mercúrio é muito utilizada para caracterização da estrutura porosa de materiais a base de cimento (SATO, 1998; RATO, 2006; HOPPE FILHO, 2008). O princípio da medição se baseia na interpretação do comportamento do mercúrio nos poros de um material poroso. Como o mercúrio não molha materiais cimentícios, ele não penetra em poros vazios sem que uma pressão seja aplicada. À medida que a pressão de mercúrio aumenta incrementalmente, aumenta também o volume de mercúrio que intrude no meio poroso. A cada incremento de pressão corresponde um incremento de volume de mercúrio.

Para relacionar o volume de mercúrio intrudido e a distribuição dos poros do material supõe-se que os poros se constituem de um sistema cilíndrico, totalmente acessível a partir da superfície da amostra (DIAMOND, 2000). Dessa forma a associação é feita a partir da equação de Washburn (Equação 2.1), onde  $d$  é o diâmetro do cilindro intrudido,  $g$  é a tensão superficial do mercúrio e  $\theta$  é o ângulo de contato do mercúrio com o sólido; e  $P$  é a pressão aplicada.

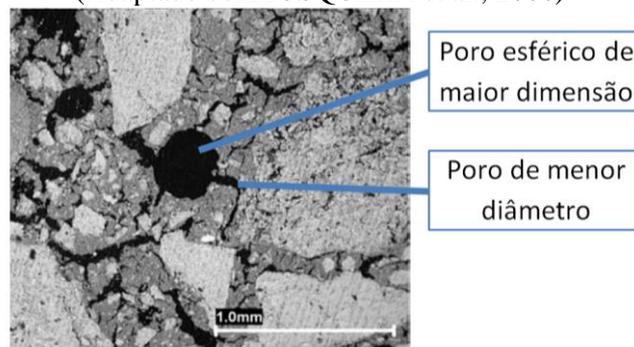
$$d_{cilindro} = -\frac{4g \cos \theta}{P} \quad (2.1)$$

O princípio da porosimetria por intrusão de mercúrio é simples, mas complicações experimentais devem ser consideradas. Diamond (2000) ressalta que as características da estrutura dos poros caracterizadas por esta técnica não são representativas da estrutura real dos poros, por causa das suposições impróprias feitas da forma dos poros e de suas conectividades. Além disso, as elevadas pressões necessárias para a intrusão do mercúrio no interior dos poros podem causar danos na estrutura interna das amostras, distorcendo os resultados (SILVA, 2001).

Uma das grandes críticas ao método se deve à suposição de que os poros têm formato cilíndrico (diâmetro constante ao longo do seu comprimento), e o que fica determinado é o diâmetro da entrada do poro, e não o diâmetro do poro propriamente dito, que pode ser diversas vezes maior (FERNANDES, 1994). Além disso, sempre que poros maiores forem acessíveis através de poros de menores dimensões, o mercúrio será intrudido nos poros maiores após ter penetrado nos menores. Dessa maneira, o volume de mercúrio penetrado será atribuído de maneira errônea ao poro de menor dimensão.

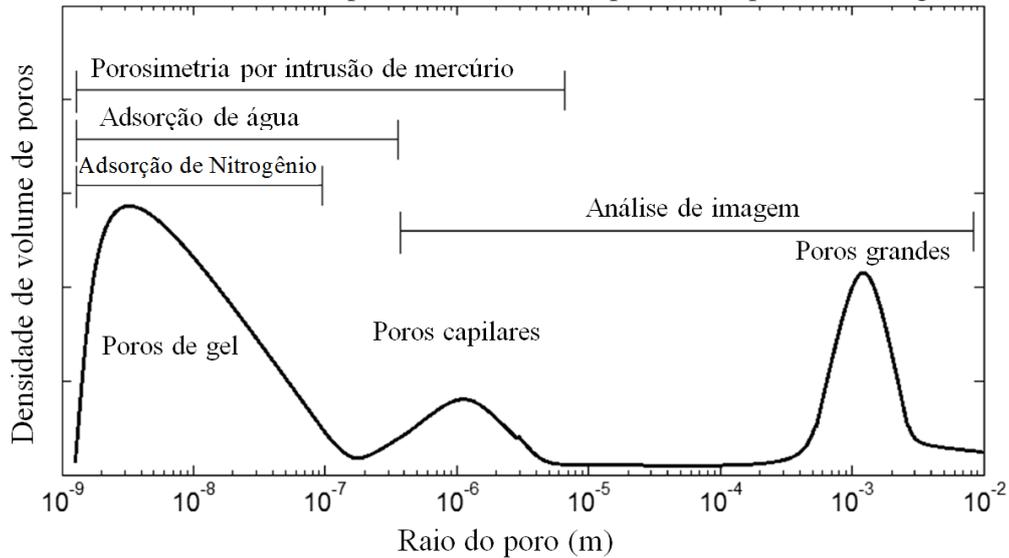
Portanto, a porosimetria por intrusão de mercúrio pode sobrestimar o volume dos poros menores em detrimento ao dos maiores (FERNANDES, 1990). A existência desse tipo de poros já foi comprovada para as argamassas, como apresenta a Figura 2.2, eles são denominados poros tinteiros. Ainda assim, os resultados da técnica podem ser indiretamente relacionados à mesma, servindo como um bom suplemento para caracterização detalhada da microestrutura com ênfase na porosidade.

Figura 2.2 – Exemplo de um poro de dimensão maior acessível por poros de menor dimensão. (Adaptado de: MOSQUERA et al., 2006)



Outras técnicas podem ser utilizadas para determinar a dimensão e quantidade de poros (Figura 2.3), como a adsorção de água, adsorção de nitrogênio e análises de imagens. Essas técnicas podem não ser correspondentes e fornecerem avaliações diferenciadas para uma mesma amostra. Apesar disso, a interpretação dos resultados e sua influência no comportamento das argamassas quanto o transporte de água líquida e vapor é muito importante (KAUFMANN et al., 2009)

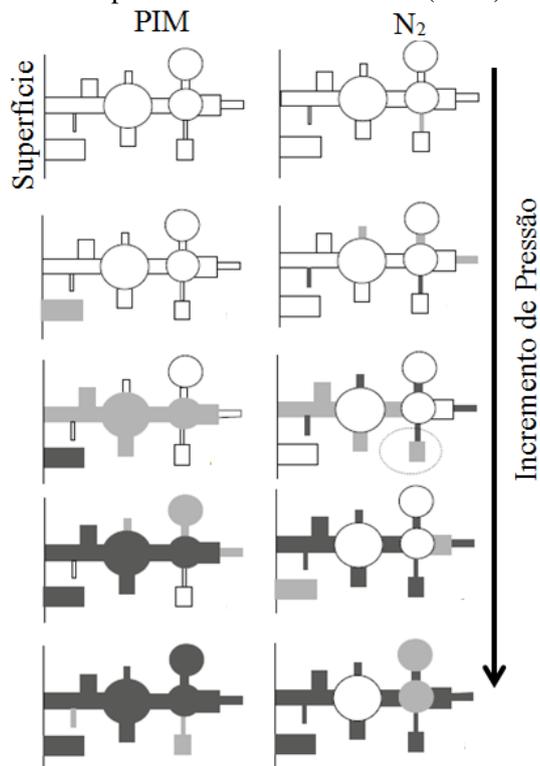
Figura 2.3 - Método de medida dos poros e dimensão dos poros. (Adaptado de: Gong et al., 2013)



Alguns métodos de medida dos poros podem ser considerados complementares entre si. É o caso da adsorção (e dessorção) de nitrogênio com a porosimetria por intrusão de mercúrio. Na adsorção de nitrogênio o preenchimento dos poros é realizado primeiramente nos poros de menor dimensão e gradativamente até os de maior dimensão (Figura 2.4). Na porosimetria por intrusão de mercúrio, o preenchimento se inicia pelos maiores poros conectados à superfície do material (Figura 2.4) e podem surgir problemas de medida como os citados anteriormente.

Assim, a sorção de nitrogênio tem a vantagem de ser considerada menos dependente dos efeitos da rede porosa encontrados pela porosimetria por intrusão de mercúrio, no entanto, a pressão do gás não permite que a saturação seja atingida em poros grandes (KAUFMANN et al., 2009). Dessa forma, seria possível obter informação sobre a real distribuição de poros (micro e meso), mas a relação de poros de difícil acesso e tortuosidade (importantes para os fenômenos de transporte) deve ser complementada com outras técnicas, como a intrusão de mercúrio e análise de imagens.

Figura 2.4 – Modelo simplificado de intrusão de mercúrio e adsorção de nitrogênio (poros cinza escuro: poros intrudidos na pressão anterior; cinza claro: mercúrio/N<sub>2</sub> intrudido na pressão atual)  
 Adaptado de: Kaufmann et al. (2009)



A porosimetria por sorção de vapor de água também pode ser utilizada para se obter informação sobre a distribuição de micro e mesoporos, e área específica dos poros. Em relação à adsorção de nitrogênio, Mikhail et al. (1964) afirma que, na maioria das circunstâncias, a área específica calculada pela adsorção de água é maior. O menor tamanho da molécula de água permite que ela penetre em poros menores que são inacessíveis às moléculas de nitrogênio. Essa técnica foi utilizada por Lara (2003) e Paes (2004) com grande afinidade entre os resultados apresentados pela dessorção de vapor de água e a porosimetria por intrusão de mercúrio. Baroghel-Bouny (2007) destaca a simplicidade da técnica: ela se baseia na associação de um grau de saturação com a dimensão de poros pela lei de Kelvin e pode ser utilizada em estudos comparativos.

Em geral, a utilização de técnicas de mensuração de poros em argamassas em trabalhos científicos está ligada ao estudo de fenômenos de transporte. No entanto, alguns trabalhos se destacam por utilizar as técnicas para o estudo da própria formação da porosidade. Rato (2006) se propôs estudar como se relacionam a composição de argamassas e as propriedades microestruturais desses materiais. Para tal, foram dosadas uma série de misturas com dois tipos de aglomerantes e diferentes granulometrias das areias. Ao fim do

estudo observou-se verdadeira a hipótese formulada sobre a influência da granulometria e do volume de vazios das areias na porosidade das argamassas. Embora as areias mais finas provoque uma diminuição nas dimensões dos poros das argamassas, notou-se um acréscimo significativo da superfície específica dos poros indicando um aumento na quantidade de poros nas argamassas dosadas com esses agregados.

Paes (2004) no estudo do transporte de água em argamassas no estado fresco concluiu que a porosimetria por intrusão de mercúrio e por dessorção de vapor são técnicas sensíveis para caracterizar a estrutura porosa das argamassas e dos substratos por meio da avaliação do espectro de dimensões de seus poros. Os resultados de permitiram aferir sobre a importância do tipo do substrato na formação da estrutura porosa das argamassas em regiões distintas do revestimento (região da interface argamassa/substrato e interna ao revestimento). Na região da interface, os poros tendem a ter menores diâmetros, comparativamente à outra região avaliada, possivelmente, pela sucção dos substratos que é intensa neste local.

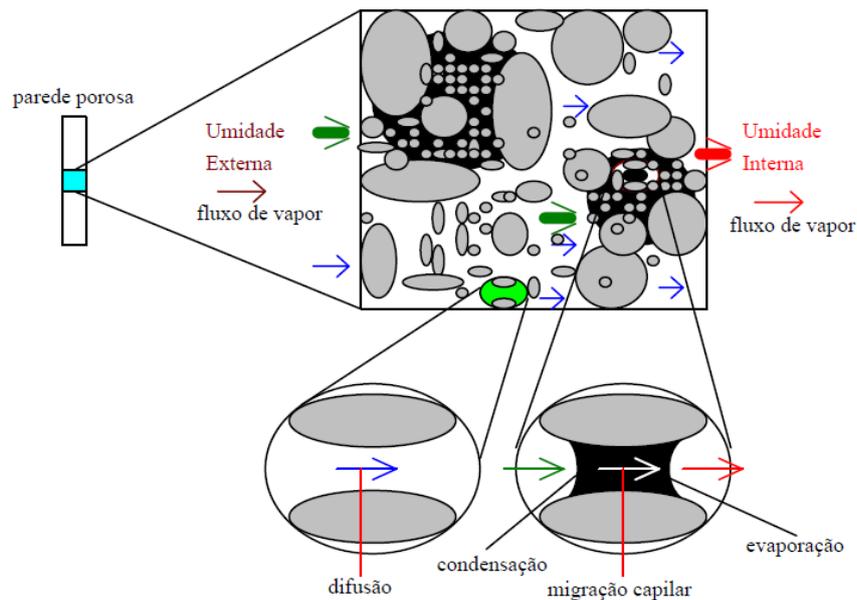
De forma análoga, Pereira (2007) ressaltou a influência das condições de exposição do revestimento recém aplicado na construção da rede de poros. A retirada de água da camada superficial pela evaporação é mais intensa quando comparada a retirada da água por absorção exercida pelo substrato. A exposição do revestimento à condições extremas de secagem acarretaram no aumento do volume total de poros e na diminuição da quantidade de poros de maior diâmetro.

## **2.2 – TRANSPORTE DE ÁGUA LÍQUIDA E VAPOR**

O transporte de água (líquida e vapor) em materiais de construção é bastante complexo. As condições de fronteira do elemento construtivo - como a temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão do vento e radiação solar - variam com o tempo, contribuindo para essa complexidade. Além disso, a migração de umidade é fortemente influenciada pela estrutura porosa uma vez que à escala microscópica, os materiais porosos são heterogêneos. Contudo, o comportamento do material relativo à difusão e estocagem de umidade é traduzido de maneira global como homogêneo na escala macroscópica (BERGER, 2014).

Para se compreender melhor os processos físicos que ocorrem no interior do meio poroso são feitas subdivisões do processo de transporte de umidade apresentados na Figura 2.5 (MENDES, 1997). Observa-se que o espaço poroso do material é preenchido por uma fase líquida composta de água, e uma fase gasosa composta de ar seco e vapor de água. Observa-se também que quando o material poroso é composto por partículas sólidas impermeáveis, o transporte de umidade só pode ocorrer através dos poros do material (GONÇALVES, 2009).

Figura 2.5 - Transferência de umidade em uma parede porosa (Fonte: MENDES, 1997)



A estrutura da matriz porosa permite então definir diferentes percursos tortuosos de diversos comprimentos e a água consegue se movimentar no interior dessa estrutura na forma de líquido ou de vapor, sendo normalmente encontrada nas duas formas simultaneamente (FREITAS et al., 2008). Os fenômenos de fixação e transferência de umidade em uma estrutura porosa podem ser divididos em: difusão, condensação, capilaridade e evaporação.

A difusão em condições isotérmicas é dirigida pela diferença da pressão de vapor, isto é, as moléculas de água se movem em direção à menor pressão de vapor. Os materiais usados cimentícios além de porosos são higroscópicos, ou seja, eles “atraem” a umidade do ar. Isto significa que colocados em um ambiente em que a umidade relativa varia, o seu teor de umidade dentro dos poros também varia (FREITAS, 1992). A capacidade de adsorver um determinado nível de umidade varia de acordo com a natureza, porosidade e superfície

interna do material (CHAROLA, 2000). Este fenômeno é atribuído às forças intermoleculares ou de Van der Waals que atuam na interface sólido-fluido, no interior dos poros (FREITAS et al., 2008).

As moléculas de água aderidas a uma superfície, podem ser de natureza pluvial e/ou originadas da condensação de vapor de água do ar circundante. A fixação de vapor na superfície dos poros pode ocorrer através de processos de adsorção física e, nos poros mais finos, através de condensação capilar.

O mecanismo de adsorção foi interpretado primeiramente por LANGMUIR (ATKINS, 1999a). Nesta interpretação entendia-se que, na situação de equilíbrio há taxas iguais de condensação e evaporação sobre a superfície sólida considerando a formação de uma camada única de moléculas sobre a estrutura porosa. Essa teoria é chamada de teoria monomolecular.

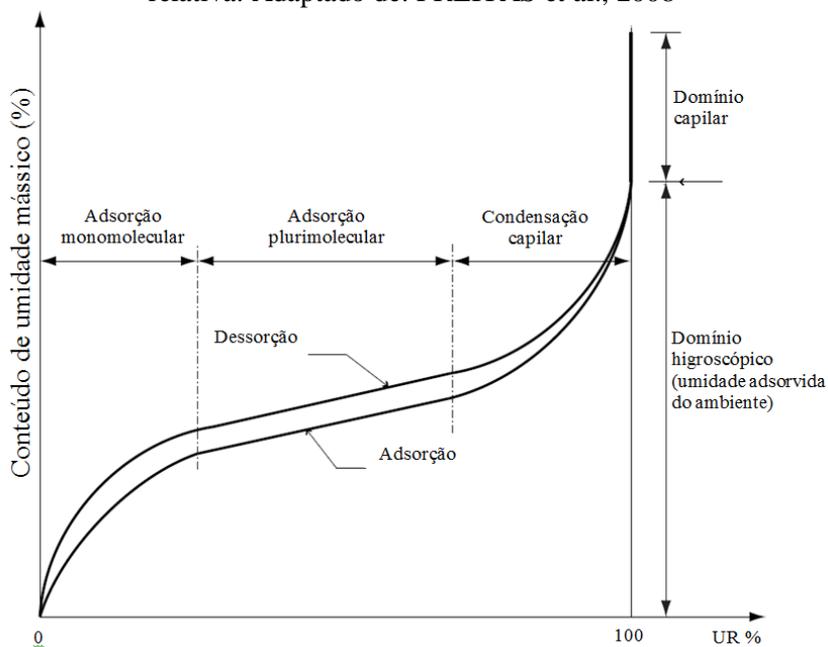
Esta interpretação inicial foi seguida e aprimorada por BRUNAUER, EMMET e TELLER (BET), concluindo que a superfície de poros é recoberta por várias camadas moleculares superpostas (esta teoria foi chamada de teoria de adsorção multimolecular ou BET). O estado de equilíbrio corresponde então à situação em que há evaporação numa determinada camada de moléculas sobre a superfície sólida e condensação numa camada imediatamente inferior (ATKINS, 1999a). Posteriormente, o modelo de BET foi aperfeiçoado, originando o modelo atualmente conhecido como modelo de GAB, em homenagem aos autores GUGGENHEIM, ANDERSON e DE BÔER (FERNANDES, 1990).

Em condições isotérmicas, a relação entre o volume de água acumulada e umidade relativa é caracterizada pela curva de adsorção e dessorção isotérmica (Figura 2.6). A adsorção é um fenômeno físico reversível. O fenômeno inverso (isto é, a remoção das moléculas da superfície) é denominado dessorção. Na concepção de diversos pesquisadores, o modelo GAB é o que melhor ajusta os resultados experimentais às curvas isotérmicas de equilíbrio de argamassas (FERNANDES, 1990; SANTOS, 2006; MUSTELIER, 2008; ISSAADI et al., 2015; BEN ABDELHAMID et al., 2016).

A curva isotérmica (ou função de estocagem de umidade, ou curva de sorção) marca um estado de equilíbrio. Ela traduz a capacidade do material de estocar água (líquida e/ou vapor) dentro de seus poros em função das condições ambientais. Trata-se uma importante propriedade do material para descrever a relação entre conteúdo de umidade e umidade potencial (umidade relativa ou pressão capilar).

Essa curva pode ser dividida em regiões distintas (FREITAS, 1992). Numa primeira parte está representado o comportamento higroscópico do material, onde a água está presente principalmente sobre a forma de vapor. Inicialmente, as moléculas de água são adsorvidas em uma única camada ao longo dos poros. À medida que a umidade relativa do ar aumenta, a adsorção se torna multimolecular até a fase de condensação capilar a partir da qual a transferência de umidade nos poros opera essencialmente na fase líquida por forças capilares. Por fim tem-se um regime supersaturado onde o material está totalmente saturado em água líquida.

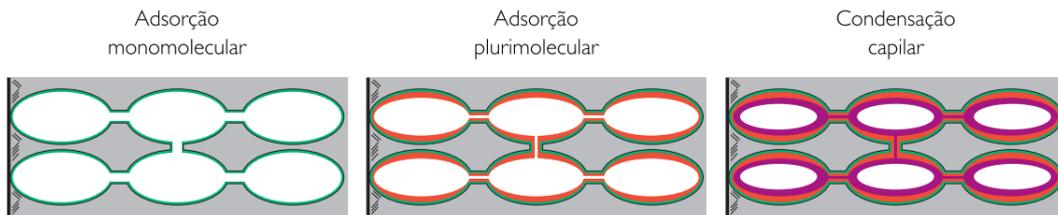
Figura 2.6 - Comportamento higroscópico de materiais de construção em função da umidade relativa. Adaptado de: FREITAS et al., 2008



Em resumo, o conteúdo de umidade obtido experimentalmente para uma dada condição de equilíbrio higrotérmico é composto de uma parcela de água adsorvida e outra de água capilar (FERNANDES, 1990). A água adsorvida é composta de camadas de moléculas que condensam sobre a superfície dos poros, até que ocorra a condensação capilar (Figura 2.7).

A condensação capilar pode ser vista como o mecanismo que faz com que a fase líquida preencha determinados poros (FREITAS et al., 2008). A força entre as moléculas de água e a superfície sólida é maior que a força entre a primeira camada adsorvida e o vapor que chega. Dessa forma, à medida que a umidade relativa aumenta e a adsorção continua com a formação de novas camadas e as forças de ligação se tornam mais fracas. Quando a camada espessa de água adsorvida alcança o meio do poro ou colapsa por gravidade, a água pode assumir estrutura líquida.

Figura 2.7 - Etapas de fixação de umidade por adsorção. (Fonte: Freitas et al., 2008)



O fenômeno da condensação capilar pode também acontecer em função dos diâmetros dos poros, quando o diâmetro dos poros pequenos é menor que o raio crítico calculado pela lei de Kelvin-Laplace (Equação 2.2) (BAROGHEL-BOUNY, 1994).

$$r_c = \frac{2 \times M \times \sigma \times \cos \alpha}{\rho \times R \times T \times \ln UR} \quad (2.2)$$

Onde  $r_c$  é o raio crítico em metros;  $M$  é a massa molecular da água [g/mol];  $\sigma$  é a tensão superficial da água [N/m];  $\alpha$  é o ângulo de contato entre a água e a superfície do poro [rad];  $\rho$  é a densidade da água [kg/m<sup>3</sup>];  $R$  é a constante universal dos gases [J/(mol x K)];  $T$  é a temperatura [K];  $UR$  é a umidade [ $0 < UR < 1$ ].

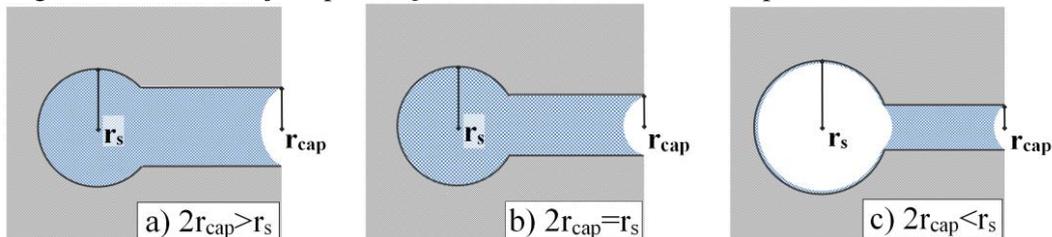
Os conceitos fundamentais da Equação de Kelvin-Laplace serão discutidos detalhadamente mais adiante. Percebe-se de antemão que o conceito de raio crítico pode ser associado a um volume de água (condensada nos poros) possibilitando o estudo da porosidade pela adsorção de vapor de água conforme comentado no item 2.1. No entanto, essa associação não é exata, pois a geometria do poro influencia na condensação capilar.

Quando um poro esférico está conectado ao ambiente por meio de um capilar, distingue-se três casos de condensação a depender da relação entre os raios do capilar ( $r_{cap}$ ) e do poro esférico ( $r_s$ ) (Figura 2.8):

- Caso  $2r_{cap} > r_s$ , a condensação começa na cavidade esférica. (Figura 2.8 - a)

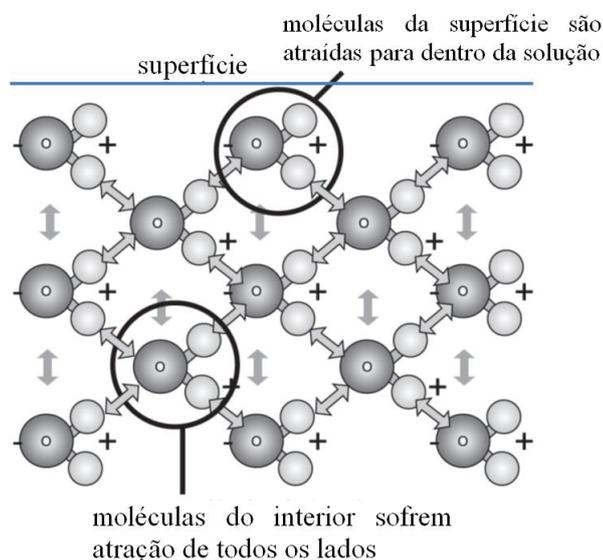
- Caso  $2r_{\text{cap}} = r_s$ , a condensação tem início com o valor crítico de umidade que ocorre simultaneamente para os dois poros. (Figura 2.8 - b)
- Por fim, no caso de  $2r_{\text{cap}} < r_s$  a condensação terá início no capilar e o poro esférico será isolado do ambiente. Esses poros são chamados de poros tinteiros. (Figura 2.8-c)

Figura 2.8 – Condensação capilar em poros de diferentes diâmetros (Adaptado de: CAMUFFO, 1982)



Uma vez condensada, as moléculas de água localizadas na superfície sofrem a atração das moléculas abaixo delas, mas não têm moléculas de água acima delas (Figura 2.9). Isto faz com que as moléculas da superfície estejam “desbalanceadas”, ou seja, com uma força resultante de atração perpendicular à superfície e voltada para dentro do líquido (DALTIM,2011).

Figura 2.9 - Diferença na resultante das forças de atração entre as moléculas do meio do líquido. (Fonte: DALTIM, 2011)



A superfície da água tende então a adotar forma esférica de área superficial mínima, de modo que o número mínimo de moléculas fique na superfície e o sistema se torne mais estável (ATKINS, 1999b). A essa força que está permanentemente puxando as moléculas da superfície para dentro dá-se o nome de tensão superficial. Devido à existência de forças intermoleculares fortes, a água possui uma tensão superficial relativamente alta.

Entre o menisco da água e a parede dos poros o ângulo de contato se forma como resultante do balanço entre as três tensões superficiais agindo entre o sólido e o líquido ( $\sigma_{sl}$ ), entre o sólido e gás ( $\sigma_{sg}$ ) e entre o líquido e o gás ( $\sigma_{lg}$ ) (Figura 2.10). Por isso o ângulo de contato é função da característica de ambos o líquido, gás e o material sólido. Quando o ângulo de contato é maior que  $0^\circ$  e menor que  $90^\circ$  a superfície é hidrofílica e o líquido molha o sólido. Se por outro lado o ângulo de contato é maior que  $90^\circ$  a superfície é hidrofóbica e o líquido molha apenas parcialmente o sólido (ATKINS, 1999b).

Figura 2.10 - Balanço de forças resultante no contato do menisco ( $\sigma_{sl}$  = tensão superficial entre o sólido e o líquido;  $\sigma_{sg}$  = tensão superficial entre o sólido e gás;  $\sigma_{lg}$  = tensão superficial entre o líquido e o gás ( $\sigma_{lg}$ ))



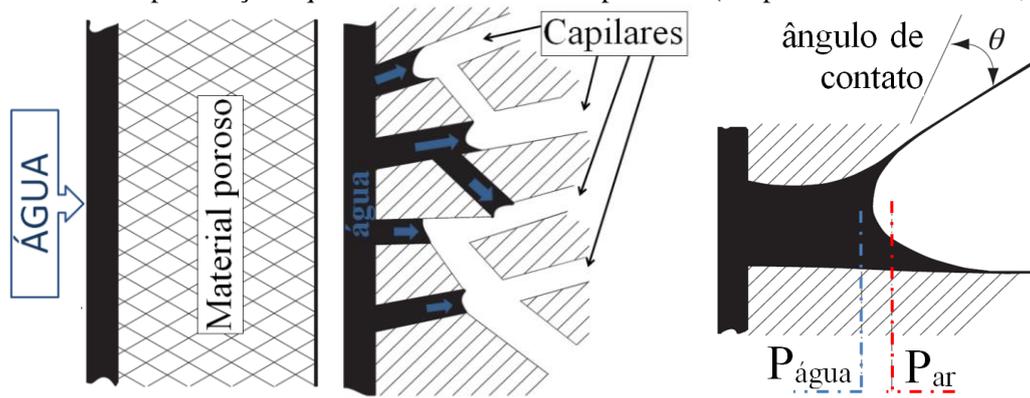
No contato da água com o ar estabelece-se um gradiente de pressões designado por pressão capilar ( $P_c$ ), ou sucção capilar (Figura 2.11). A pressão capilar é função da tensão superficial ( $\sigma$ ), do raio de curvatura ( $r$ ) e do ângulo de contato  $\theta$  (Equação 2.3).

$$P_c = P_{ar} - P_{\acute{a}gua} = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (2.3)$$

Assim, a água é succionada devido à pressão capilar ( $P_c$ ) capaz de sustentar a massa de água em contraposição à força da gravidade. A ascensão capilar de água termina quando se estabelece um equilíbrio entre a pressão capilar ( $P_c$ ) e a pressão hidrostática. Então, altura de equilíbrio da coluna de água no tubo é função do raio do poro ( $r$ ) (Equação 2.4).

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g} \quad (2.4)$$

Figura 2.11 - Representação esquemática do fenômeno da capilaridade. (Adaptado de: FREITAS et al., 2008)



A pressão capilar é função da temperatura e do teor de umidade, dado que a tensão superficial “ $\sigma$ ” varia com a temperatura e o raio do menisco “ $R$ ” varia com o teor de umidade. A sucção é tanto menor quanto maior for o teor de umidade e anula-se para um teor de umidade igual o teor de umidade máximo.

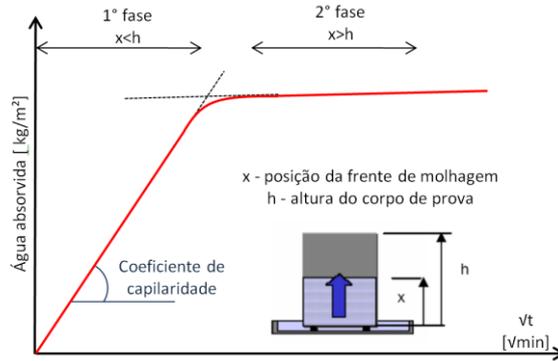
A aplicação direta dessas relações não é viável para os materiais de construção civil. Na escala microscópica, materiais como a argamassa são formados por uma complexa rede de poros. No entanto, a avaliação a nível macroscópico do fenômeno permite que experimentalmente sejam avaliados indicadores do fenômeno de capilaridade. Nesse sentido, é possível analisar a absorção de água como um fluxo unidirecional para quantificação da massa de água absorvida e da altura de ascensão capilar (SILVA, 2011).

Assim, resumidamente, a quantidade de água absorvida pelo material e a altura atingida pelo líquido são função da raiz do tempo e de um coeficiente de absorção de água. O coeficiente de absorção de água ou de capilaridade caracteriza a propriedade de um material absorver água líquida, por sucção, quando em contato com a água (I’ANSON et al., 1980). Quando um material poroso é colocado em contato direto com água no estado líquido, a massa varia ao longo do tempo. É esta relação entre a massa de água absorvida por área do material em contato com a água e o tempo que permite determinar o coeficiente de absorção de água

Experimentalmente, observa-se que a absorção de água de um material poroso é um processo de duas fases (Figura 2.12). Em um primeiro momento a água ascende devido às forças capilares que se formam no interior do material e à viscosidade, correspondendo ao

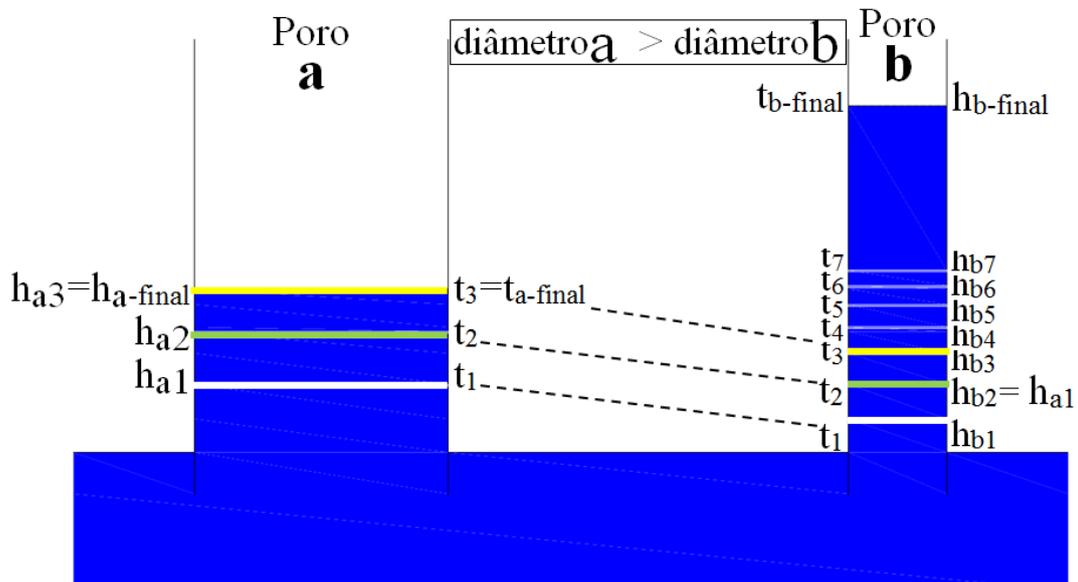
preenchimento da maioria dos poros interligados (ROELS et al., 2004). A variação de massa nessa fase se relaciona linearmente com a raiz do tempo e o declive desta reta corresponde ao coeficiente de absorção de água como mostra a figura a seguir. Assim, à maior inclinação da reta corresponde à maior velocidade de molhagem.

Figura 2.12 - Curva de absorção de água em função da raiz quadrada do tempo e esquema da absorção capilar. (Adaptado de: SILVA, 2011)



Pelo apresentado na Equação 2.4, é esperado que poros de menor diâmetro apresentassem maior altura de ascensão capilar. No entanto, Dullien et al. (1977) relatou que, apesar da altura de ascensão (relacionada à pressão capilar) ser maior em poros menores, a velocidade de ascensão é maior nos poros de maior dimensão. Ou seja, o coeficiente de capilaridade, medido pela inclinação da reta de absorção de água, é maior para uma argamassa com poros de maior dimensão, mas potencialmente, a altura da ascensão capilar é maior em argamassas com poros de menor dimensão (Figura 2.13).

Figura 2.13 - Ascensão capilar em poros de diferentes diâmetros. (Adaptada de: RATO, 2006)



Hipoteticamente, a segunda fase do processo de capilaridade (Figura 2.12) inicia-se quando a frente de água atinge a superfície superior da amostra (ou é atingida a ascensão capilar máxima). No entanto, a continuidade do transporte de água por capilaridade, para o interior do material poroso, irá depender se a pressão de sucção é suficiente para implementar um mecanismo de difusão de água na região já saturada (interface). Assim, se a difusividade for baixa, em virtude da estrutura de poros dos materiais, o transporte passa a ser controlado pela difusão do vapor e não mais pela absorção capilar (PAES, 2004).

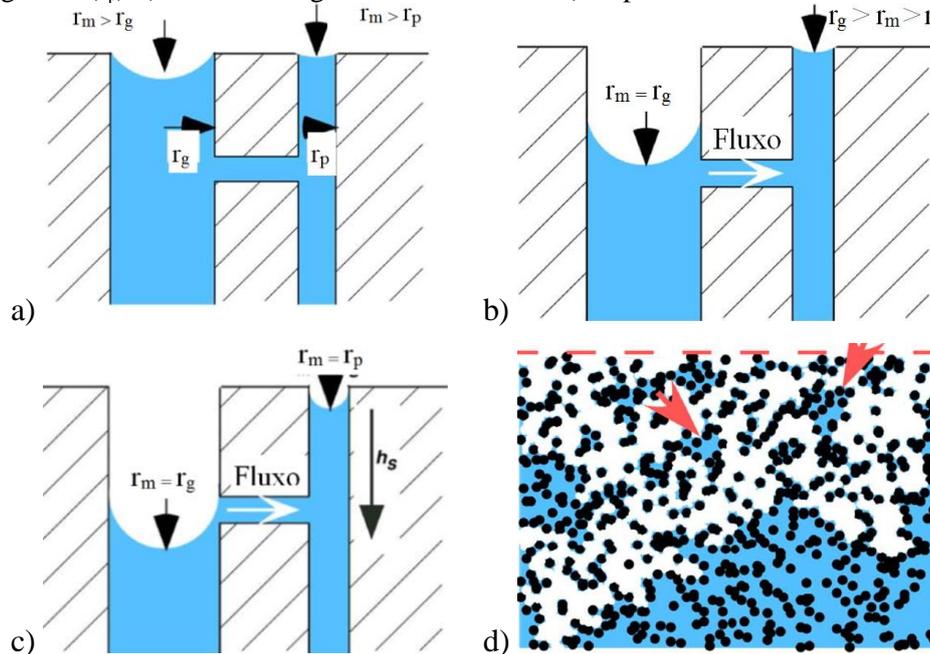
Na prática, a altura que a água alcança por absorção capilar é determinada principalmente pela taxa de evaporação de água da superfície do material que está relacionada com a natureza desta superfície e com as condições climáticas (FREITAS et al., 2008). À medida que ocorre a evaporação da umidade através da superfície, maior quantidade de água é absorvida por capilaridade, pois o equilíbrio deve ser mantido entre a pressão capilar e a pressão hidrostática no interior dos capilares. A maior quantidade de água que um material pode absorver de forma natural (em condições de pressão normal sem influência de forças exteriores) é chamada de saturação capilar e é limitada pela porosidade aberta do material. O teor de água na saturação capilar é sempre menor que o máximo, pois parte dos poros são preenchidos com ar.

Após a umidificação, para que ocorra a secagem do material é necessário que ocorra uma queda da umidade relativa entre a superfície do material e o ar ambiente, antes que o equilíbrio da superfície com o ar ambiente seja novamente atingido pela movimentação da água. Ou seja, a distribuição da umidade no material dependerá da sua porosidade, da distribuição dimensional dos poros e das condições ambientais. Quando o líquido começa a evaporar-se dos poros, um menisco desenvolve em cada poro, e a pressão capilar no líquido diminui (CAMUFFO, 1982).

Considerando que um poro de raio grande ( $r_g$ ) e um poro de raio pequeno ( $r_p$ ) em um meio poroso, à medida que a água evapora a curvatura do menisco ( $r_m$ ) deve ser a mesma em cada poro, independentemente do seu tamanho, ou a pressão capilar induziria o fluxo entre poros até que o equilíbrio fosse estabelecido (Figura 2.14 - a). Quando a umidade relativa for suficientemente baixa para que o raio do menisco se torne menor que o raio do maior poro, o líquido irá escoar do poro maior para o menor (Figura 2.14 - b). Quando a frente de

secagem se torna mais profunda no poro de raio grande, o poro de menor raio começa a secar (Figura 2.14 - c). À medida que a frente de secagem se torna mais profunda, a umidade relativa próxima à superfície do menisco do poro aumenta ocasionando a diminuição da velocidade de evaporação. O fluxo de água líquida do poro maior para o poro menor, então, se torna mais lento que a evaporação. A partir de uma profundidade crítica ( $h_s$ ), a maior parte da secagem ocorrerá por evaporação partindo do menor menisco remanescente para a superfície externa e difusão do vapor de água até a superfície.

Figura 2.14 - cinética de secagem. a) Raio do menisco da água ( $r_m$ ) igual nos dois poros o de raio grande ( $r_g$ ) e o de raio pequeno ( $r_p$ ) e maior que ambos b) Raio do menisco da água ( $r_m$ ) menor que o raio do poro de raio grande ( $r_g$ ) c) Raio do menisco da água ( $r_m$ ) menor que o raio do poro de raio grande ( $r_p$ ) d) bolsões de água na estrutura seca (Adaptado de: SCHERER, 2004)



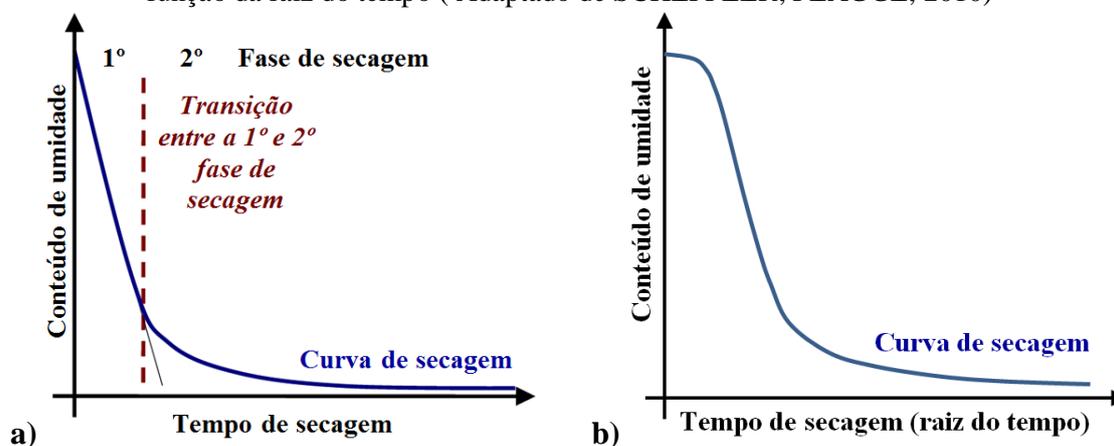
Nesse ponto dá-se origem ao processo reverso da adsorção, a dessorção, no qual a água é retirada da superfície dos poros em função da umidade. Em um material com uma vasta gama de tamanhos de poros, com o avanço da frente de secagem, podem existir bolsões de líquido isolados, pois as entradas dos poros sobre o perímetro da região são de pequena dimensão (Figura 2.14 - d). Quando a umidade local se tornar suficientemente baixa, permitindo que os meniscos passem pela entrada desses pequenos poros, os bolsões podem secar, pelo princípio explicado anteriormente pela lei de KELVIN LAPLACE.

Assim, pode-se dizer que poros pequenos são muito sensíveis à condensação em baixas umidades relativas. Como consequência, materiais com poros pequenos absorvem água

muito frequentemente e a retém por longos períodos, por isso se comportam diferente daqueles de poros grandes. Essa é uma das justificativas para a histerese observada entre a adsorção e a dessorção de materiais porosos (Figura 2.6). Além da diferença do raio do menisco líquido, o ângulo de contato diferente entre adsorção e dessorção; e as condições termodinâmicas diferentes entre as multicamadas e o líquido também justificam a histerese. Issaadii et al. (2015) ressalta que a histerese em materiais cimentícios pode se dar ao longo de todos os teores de umidade devido à complexa geometria dos poros.

Graficamente, a secagem pode ser representada pela curva de secagem, que retrata a perda do conteúdo de umidade em função do tempo ( $t$ ) ou em função da raiz do tempo. Ela pode ser separada em duas fases (SCHEFFLER; PLAGGE, 2010). A primeira é caracterizada pela perda linear de massa ao longo do tempo (Figura 2.15). Durante essa fase, a velocidade em que a umidade chega à superfície é mais rápida do que a velocidade em que essa umidade é evaporada. Na segunda fase, o transporte de umidade se torna mais lento se tornando possível perder mais umidade para o ambiente do que de fato chega à superfície para ser evaporado.

Figura 2.15 – Curva de secagem de materiais porosos. a) curva em função do tempo b) curva em função da raiz do tempo ( Adaptado de SCHEFFLER; PLAGGE, 2010)



Ao longo dos anos, muitos pesquisadores se propuseram a estudar a estrutura porosa das argamassas e seu comportamento na presença de umidade. A discussão das características higroscópicas em materiais de construção vem sendo feita há bastante tempo utilizando soluções salinas ou equipamentos para gerar ambientes com diferentes umidades relativas e temperatura constante (PHILIPPI et al., 1993; KRUS; KIEJ, 1998; KUIZHAN et al., 2009; ISSAADI et al., 2015).

A afinidade de um material poroso estocar umidade pode ser experimentalmente determinada por isotermas de adsorção e dessorção. As limitações do ensaio são o longo tempo para alcançar o equilíbrio e a imprecisão da técnica no regime capilar. No regime de saturação (sucção capilar), as isotermas são extremamente inclinadas e correlacionar o conteúdo de água com a umidade relativa se torna pouco confiável. Outras técnicas são necessárias para melhor compreensão do fenômeno higroscópico em altos teores de umidade (KRUS; KIEJ, 1998; ISSAADI et al., 2015)

Além das isotermas, a curva higroscópica de materiais porosos pode ser obtida indiretamente (ou complementarmente) através de técnicas de como a porosimetria por intrusão de mercúrio e microscopia eletrônica de varredura (PHILIPPI et al., 1994; QUENARD et al., 1998; MOSQUERA et al., 2006). Plagge (2006) propôs um método instantâneo de determinação do teor de umidade ao longo do tempo por constante dielétrica. Gong et al. (2013) correlacionou quantitativamente distribuição do tamanho de poros em materiais cimentícios com isotermas de adsorção de água, baseado no potencial químico da água dentro do poro.

Especificamente sobre a secagem, são recorrentes pesquisas que discutem sobre o método de ensaio uma vez que essa propriedade ainda não foi normatizada. Pel et al. (1996) apresenta resultados obtidos durante a secagem de argamassas e blocos, em ambiente controlado, com apenas uma face não selada para garantir ao fluxo unidirecional do fenômeno. Terheiden (2008) conduziu um experimento para medir simultaneamente a quantidade de água líquida e vapor em um corpo de prova ao longo da secagem. Maroulis; Saravacos (2005) ao estudar a cinética da secagem e concluiu que a temperatura do ar, a umidade relativa e a velocidade do ar afetam o processo de secagem.

Scheffler; Plagge (2010) reitera que os ensaios de secagem provem informação sobre a água no material no estado líquido e vapor e por isso é muito importante para a caracterização hídrica do material. O ensaio não requer equipamentos caros, mas depende muito das condições de fronteira nas quais é realizado. Ou seja, a combinação entre condição climática e condição de transporte (presença e velocidade do vento). Por isso, durante o ensaio, a temperatura e a umidade relativa devem ser monitoradas e mantidas

constantes, bem como - e principalmente - a velocidade do ar. Além disso, deve-se dar bastante atenção ao conteúdo hídrico inicial que deve sempre ser correspondente à saturação para possibilitar a reprodutibilidade e comparação de resultados.

Thomson et al. (2004) reforçam que a caracterização de propriedades de transporte de umidade deve ser feita num contexto de se saber onde a argamassa será aplicada e qual a sua função. A interpretação das variáveis que influenciam o transporte de umidade nos poros das argamassas é um importante fator para a interpretação do comportamento deste material em seu estado endurecido (SCHEFFLER; PLAGGE, 2010). Charola (2000) salienta que é importante entender como a água se movimenta dentro de um material poroso. Se ela se move como um líquido, ela será capaz de transportar substâncias deletérias como sais, já na forma de vapor, a água pode ser retida nos poros por higroscopicidade. O ponto de transição entre esses dois mecanismos define a quantidade crítica de umidade de um material poroso. Esse parâmetro é uma constante para cada material e depende principalmente de sua porosidade e distribuição dos poros.

### **3 – MITIGAÇÃO DO TRANSPORTE DE ÁGUA**

Alfano et al. (2006) destacam a umidade ascendente como um fenômeno amplamente difundido que se torna um dos principais responsáveis da deterioração de materiais como as rochas, blocos cerâmicos e argamassas, principalmente em construções antigas e históricas. Também em edificações construídas mais recentemente, a presença de umidade é uma das causas mais recorrentes para o surgimento de danos em fachadas, como eflorescências e manchas (ANTUNES, 2010)

Para proteger e tratar as construções da ação da umidade, várias técnicas são aplicadas na tentativa de minimizar os danos (FREITAS et al., 2008). A escolha do método de proteção deve se basear em análises minuciosas da estrutura tratada e de seus materiais, das condições de exposição e dos mecanismos de ingresso, movimentação e secagem da água. Os mais variados produtos de ação impermeabilizantes disponíveis no mercado são comercializados sem que suas propriedades sejam informadas, tais como, a composição química ou o mecanismo de ação. Isso significa que ainda existe um grande número de questionamentos sobre como os diversos tipos de aditivos modificam o desempenho das mais variadas composições de argamassas.

Vários trabalhos se dedicam a estimativa do desempenho de tratamentos impermeabilizantes aplicados sobre a superfície, notadamente por se tratar de estudos sobre construções antigas e restauro de monumentos (BINDA et al., 1999; WITTMANN et al., 2005; MARAVELAKI-KALAITZAKI, 2007; CARMONA-QUIROGA et al., 2010; LUBELLI et al., 2013). Esse tipo de avaliação é difícil de ser feita uma vez que os parâmetros que afetam a durabilidade dos produtos são complicados de serem medidos e numerosos (ação ambiental, características do material, compatibilidade com os materiais do revestimento etc.). Além disso, a própria aplicação de camadas de hidrofugantes é um processo que demanda tempo e custo extra, e ainda pode alterar a aparência final do sistema de revestimento.

Uma alternativa para a proteção de edificações contra a ação da umidade é a mistura de agentes hidrofugantes na própria argamassa. Esses aditivos podem ser de composição variada sendo mais recorrentes os sabões metálicos e os silicones em pó, além de outros

materiais produzidos a partir de polímeros sintéticos. Outro aspecto que pode influenciar no transporte de umidade é a própria composição da argamassa (parâmetros definidos na dosagem), quando ela altera a estrutura porosa do material.

### **3.1 – PARÂMETROS DE DOSAGEM**

A estrutura porosa pode se constituir de uma barreira natural que fisicamente dificulta o transporte de água líquida e vapor na argamassa. Para isso deve-se buscar uma mistura dos materiais constituintes que propicie o maior empacotamento da mistura para a formação de poros de menor volume e menor dimensão. A dosagem das argamassas constitui na definição da proporção entre os materiais constituinte com o objetivo de garantir um determinado comportamento (trabalhabilidade, facilidade de acabamento, resistência mecânica, impermeabilidade etc.).

Os materiais constituintes das argamassas são os aglomerantes, os agregados e a água. Sabe-se que cada um deles confere à argamassa determinadas características no estado fresco e no estado endurecido. Em termos de porosidade, os agregados conferem estabilidade volumétrica e por isso atuam como formadores do esqueleto da estrutura porosa. Os aglomerantes em conjunto com a água, formam a pasta que preenche a estrutura porosa. Os poros são, portanto, formados entre a pasta e os agregados, e na pasta pelas reações entre a água e os aglomerantes.

A relação entre a dimensão das partículas dos agregados e o transporte foi descrita em vários trabalhos (CARNEIRO; 1999, BONIN et al., 1999; ANGELIM et al., 2003; RATO, 2006). Tristão (1995) concluiu, a respeito da influência da granulometria dos agregados nas argamassas, que as argamassas produzidas com as areias classificadas como de uniforme média ou desuniforme apresentam menores volumes de vazios, comparadas àquelas produzidas com areias classificadas como muito uniformes.

De forma semelhante, Angelim et al. (2003) destaca que a continuidade da distribuição granulométrica de uma areia, expressa pelo coeficiente de uniformidade, reflete-se no índice de vazios, no consumo de aglomerante e de água de amassamento da argamassa. Assim, para uma mesma trabalhabilidade, a argamassa preparada com areia de curva de

distribuição granulométrica contínua, teoricamente, terá menor índice de vazios e, conseqüentemente, menor consumo de aglomerante. No que se refere à capilaridade, Salvador (2005) verificou que o aumento da continuidade da distribuição granulométrica provoca a diminuição da capilaridade nas argamassas endurecidas.

De forma semelhante, os trabalhos de Paes (2004) e Araújo Jr. (2004) estudaram, respectivamente, o transporte de água no estado fresco e as propriedades mecânicas de uma série de argamassas. Para tal, foram selecionadas argamassas com teores semelhantes de cal e cimento, porém com agregados miúdos de granulometria distintas. Observou-se que as argamassas com agregado de maior módulo de finura apresentaram maior absorção de água por capilaridade. A influência da granulometria dos agregados, com os quais as argamassas foram confeccionadas, foi evidenciada pela porosimetria por intrusão de mercúrio (ARAÚJO JR., 2004). Os resultados mostraram que quanto mais grossa a granulometria da areia, menor a quantidade de poros finos no interior da argamassa.

A distribuição granulométrica das partículas de agregado pode, portanto, ser utilizada para inferir sobre a distribuição de poros e as propriedades das argamassas. Sugrañez et al. (2013) conclui que a presença de materiais com partículas de tamanho grande são responsáveis pela formação de poros grandes em consequência do arranjo dessas partículas na mistura. Essa informação pode ser especialmente interessante na dosagem de argamassas para definição do teor de aglomerantes.

Algumas pesquisas evidenciaram que os aglomerantes normalmente utilizados nas argamassas brasileiras - a cal aérea e o cimento Portland - tem papéis distintos na formação da estrutura porosa e no comportamento das argamassas. Arandigoyen e Alvarez (2006) constataram que a estrutura porosa de pastas de cal hidratada e cimento aumenta a sua complexidade com o incremento do percentual de cimento. De acordo com Arandigoyen e Alvarez (2006) e Mosquera et al. (2006), o cimento diminui a porosidade total das argamassas. A medida com que se aumenta a porcentagem de cimento, a argamassa apresenta distribuição bimodal de poros menos acentuada, pois o volume de macroporos diminui uma vez que o cimento tende a ocupar os vazios gerados pela pasta de cal (MOSQUERA, 2006).

Outro parâmetro importante para mitigar o transporte de água é a quantidade de água utilizada nas misturas de argamassa. No estudo do proporcionamento de argamassas, Selmo (1989) demonstrou haver uma boa correlação entre a absorção de água e porosidade aparente das argamassas com a relação água/ cimento das misturas. No trabalho realizado por Arandigoyen et al. (2006) foi analisada a influência da água de amassadura considerando dois aspectos críticos das argamassas de cal aérea. Estes autores concluíram que, quando existe um aumento da quantidade de água de mistura a ser utilizada na execução de argamassas, tem-se como resultado um aumento da absorção de água por capilaridade nas fases iniciais. Já Issadii et al. (2015) demonstrou que os fenômenos de adsorção e dessorção em argamassas são dependentes da relação água cimento e aumentam com o aumento da quantidade de água.

## **3.2 – ADITIVOS**

### **3.2.1 – Polímeros sintéticos**

A incorporação de polímeros sintéticos em argamassas e concretos de cimento Portland começou a ser estudada na década de 1950 (WAGNER, 1965). Desde então, vários tipos de polímeros vem sendo largamente utilizados como os ésteres acrílicos (PAE), a borracha de estireno butadieno (SBR) e o etileno acetato de vinila (VAE) (RAMLI; TABASSI, 2012).

Com o objetivo de discutir o efeito de polímeros na permeabilidade de argamassas de cimento Portland, Ramli e Tabassi (2012) estudaram a adição dos polímeros sintéticos citados na forma de emulsão a base de água. Já o etileno acetato de vinila foi utilizado na forma de pó dispersível em água. Os resultados dos ensaios de permeabilidade apontaram o desempenho das emulsões de éster acrílico e borracha de estireno butadieno como mais satisfatório que o do pó de VAE. Mas, de forma geral, os polímeros diminuíram o transporte de água da argamassa de cimento. A baixa permeabilidade observada foi atribuída ao pequeno tamanho das partículas dos polímeros que, sendo menores que o cimento e agregados, preenchem os pequenos poros da argamassa.

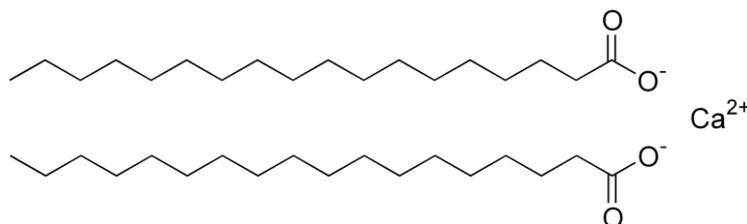
De forma semelhante, Lanzón e García-Ruiz (2009), ao avaliarem diversos aditivos hidrofugantes, notaram que o aditivo a base de lauril vinil etileno conferiu melhor

resultado nos ensaios de transporte de água em argamassas de cimento. Já Falchi et al. (2015) observou em um grupo de argamassas com variados aditivos que o aditivo vinil etileno conferiu maior porosidade às argamassas e facilitou o transporte de água.

### 3.2.2 – Estearatos e silanos

Os aditivos em pó à base de silicone são silanos organofuncionais de custo elevado e muito estáveis (LANZÓN; GARCÍA-RUIZ, 2009). Já os sabões metálicos são sais de ácidos graxos de cadeia longa, como o estearato de cálcio, estearato de zinco e oleato de sódio. Esses produtos são caracterizados por uma longa cadeia apolar de hidrocarbonetos e um grupo polar em uma ponta, ou seja, são tensoativos (de natureza bipolar) aniônicos. O oleato de sódio é solúvel em água, já os estearatos de cálcio e zinco, devido à sua dupla cadeia longa de hidrocarbonetos não são solúveis (Figura 3.1).

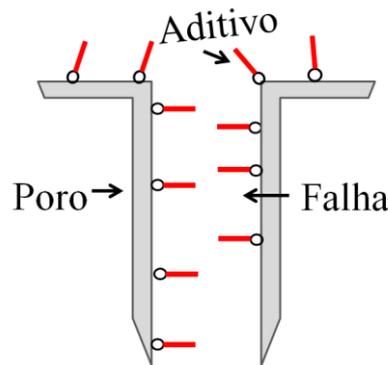
Figura 3.1 - Representação esquemática do estearato de cálcio



Tanto os estearatos quanto os oleatos são largamente comercializados como aditivos impermeabilizantes devido à eficiência alcançada e baixo custo. Em sistemas em que há reação química da parte polar com o sólido, como em pastas de cimento e cal, esses produtos são capazes de serem adsorvidos e concentrados na interface pasta/ar, criando uma superfície hidrofóbica permanente sobre o material (DALTIM, 2011).

Esses produtos são utilizados em baixa concentração, por isso, a camada de aditivos que recobre os poros possui falhas (espaços sem recobrimento) (Figura 3.2) que podem permitir a passagem de certa quantidade de água (RIXON; MAILVAGANAM, 1999). As longas cadeias orgânicas também impedem a formação de micelas (de ar) em baixa concentração de aditivo. Por isso, em condições usuais de concentração do aditivo, não ocorrerá incorporação de ar (DALTIM, 2011).

Figura 3.2 - Representação esquemática dos aditivos tensoativos adsorvidos nas paredes dos poros.



Com a finalidade de testar a eficiência desses agentes impermeabilizantes, Lanzón e García-Ruiz (2009) submeteram argamassas de cimento com diferentes dosagens de aditivos a ensaios de absorção. Os aditivos ensaiados foram o estearato de cálcio, o estearato de zinco, o oleato de sódio além de dois tipos de silicones em pó, em diferentes teores (entre 0,25% e 2,0% da massa total da argamassa). Por meio dos ensaios de absorção por capilaridade, os pesquisadores concluíram o trabalho comparando os resultados com os valores requeridos pela EN 998-1: 2010. Foi observado que os silicones em pó são muito eficientes como impermeabilizantes, inclusive em baixa dosagem (0,25%).

Dentre os sabões metálicos, o oleato de sódio foi considerado a melhor alternativa de hidro-repelente. As argamassas com estearato de zinco foram eficientes, mas somente apresentam desempenho equiparado ao do oleato para dosagens acima de 1,00%. Já naquelas dosadas com estearato de cálcio, o desempenho foi insatisfatório para dosagens abaixo de 1,00%, pois ultrapassa o limite de  $0,4\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{min}^{0,5})$  estipulado pela EN 998-1:2010.

A redução da absorção por capilaridade com a adição de sabões metálicos também foi observada por Li et al. (2011) em argamassas de cimento Portland. Falchi et al. (2015) a partir do estudo de argamassas de cimento calcário, cal hidráulica natural e cal pozolânica, e com oito tipos de aditivos demonstraram que a capacidade hidrofugante da argamassa está mais relacionada ao aditivo utilizado do que ao aglomerante escolhido. Nesse sentido, o silano foi o mais eficiente na redução da capilaridade seguido do estearato de zinco e do estearato de cálcio.

De maneira semelhante, Falchi et al. (2013), ao estudarem a adição de estearato de cálcio e silano em argamassas de cal hidratada e pozolanas notaram que os aditivos diminuíram o coeficiente de capilaridade e aumentaram a resistência à difusão de vapor de água das argamassas. A maior diferença foi notada para o coeficiente de capilaridade que reduziu na ordem de 99%, a resistência à difusão de vapor de água teve acréscimo na ordem de 20%. Cabe notar que o aditivo a base de silano utilizado no referido trabalho, quando utilizado em sua maior concentração provocou o aumento da porosidade através do acréscimo do volume de poros menores que  $0,1\ \mu\text{m}$ .

Izaguirre et al. (2010) também observaram melhor durabilidade do oleato de sódio comparado ao estearato de cálcio, em argamassas de cal hidratada expostas à variações de umidade e temperatura, e ciclos de gelo-degelo. Em outro trabalho também de Lanzón e García-Ruiz (2008) foi analisado o comportamento quanto à durabilidade e impermeabilidade, de argamassas com a adição de estearato de zinco, estearato de cálcio, oleato de sódio e silicone em pó. Neste estudo, foi observado que o estearato de cálcio e o estearato de zinco são pouco eficientes na mitigação do transporte de água em argamassas de pequenas idades (7 dias). Dessa forma, esses produtos não devem ser recomendados para argamassas que serão expostas a frequentes ou fortes chuvas nos primeiros dias após a aplicação. Para essas condições, o oleato de sódio e o silicone em pó parecem ser mais apropriados.

Lanzón e García-Ruiz (2008) observaram no entanto que, em termos de durabilidade, o oleato de sódio apresentou baixa resistência ao ataque de ácidos. Já os estearatos, apesar de menos eficientes quanto ao bloqueio da água, apresentaram melhor resistência ao ataque de ácido. Izaguirre et al. (2009) também constatou que apesar da boa repelência apresentada pelo oleato, esse aditivo afeta negativamente a trabalhabilidade, a pega e as propriedades mecânica das argamassas, comparado ao estearato e ao silicone.

Buscando estudar o mecanismo que confere aos aditivos hidrofobicidade, Lanzón et al. (2011) observaram que, em misturas ricas em filler calcário, o oleato de sódio reage na superfície do filler originando o oleato de cálcio. Esse processo forma uma camada insolúvel, quimicamente absorvida na superfície do filler, que pode explicar a alta atividade repelente dessa adição.

Izaguirre et al. (2009) também buscou estudar o mecanismo que confere propriedades hidrofugantes em argamassas de cal aérea com adição desses sabões. Para tal foram realizados ensaios de capilaridade, permeabilidade ao vapor, porosimetria por intrusão de mercúrio além de microscopias. Os resultados indicaram que argamassas com estearato ou oleato apresentaram menores coeficientes de capilaridade e maiores resistências à difusão de vapor, quando comparadas à argamassa referência. Esses resultados coincidem com os apresentados por Falchi et al. (2013).

A partir desses dados, Izaguirre et al. (2009) endossaram a teoria que o estearato e o oleato trabalham como tensoativos e por isso poderiam incorporar ar à mistura. Dessa forma, esses produtos podem modificar a distribuição de tamanho de poros na argamassa, de maneira que ocorra uma diminuição no número de poros grandes e um aumento na quantidade de microporos. Assim, a movimentação de água pelos capilares seria bloqueada pela presença de bolhas de ar, e pela repulsão do aditivo. Os resultados das porosimetrias e as imagens da microestrutura colaboraram com a hipótese sugerida. As misturas aditivadas apresentaram maior volume intrudido em poros menores que os da argamassa referência (IZAGUIRRE et al., 2009).

Posser (2004) por sua vez, ao avaliar argamassas mistas com a adição de estearato de cálcio constatou que a relação do teor de aditivo com o índice de vazios (porosidade aberta) não é linear. Também foi observado que o aumento do teor de aditivo hidrofugante (entre 0,53% e 1,20% da massa de cimento) tende a diminuir a incorporação de ar e a capilaridade.

Assim, os trabalhos apresentados demonstram que os estearatos, e silanos já foram tema de estudo em muitos trabalhos e, apesar de seu desempenho não ser ainda totalmente compreendido, suas propriedades vem sendo cada vez mais investigadas.

### **3.2.3 – Polímeros superabsorventes - SAP**

Os polímeros superabsorventes ou superabsorbent polymers (SAP) fazem parte de um grupo de materiais poliméricos que tem a habilidade de absorver uma quantidade

significante de água do meio e reter líquido em sua estrutura sem se dissolver (PAIVA et al., 2009). Trata-se de um copolímero de ligação cruzada (acrilamida / ácido acrílico), de partículas finas (< 0,25 mm), comercializado na forma de pó.

Esses polímeros são comumente sintetizados de duas formas. Um método é a polimerização que resulta em um material que necessita ser cominuída no tamanho desejado. A outra forma é por polimerização por suspensão inversa que resulta em partículas esféricas. Em ambas as soluções diferentes métodos de ligação cruzadas são aplicadas (SCHRÖFL et al.,2012).

Os polímeros superabsorventes aplicados em concretos são quimicamente estáveis e capazes de inchar, absorvendo água, mesmo na forte solução alcalina da pasta de cimento. Durante a mistura, o SAP absorve a água de amassamento retendo-a em seu interior, e incha à medida que aumenta o volume absorvido. Durante o processo de cura, o SAP libera água gradualmente para a matriz da argamassa e, à medida que diminui seu inchamento, forma poros esféricos na matriz. Assim, os SAPs aumentam o número de pequenos poros sem, no entanto afetar significativamente a resistência (KLEM; SIKORA, 2013).

No estudo de Paiva et al. (2009) realizado com argamassa de cimento, areia rica em silício e SAP, foi analisado o efeito dessa adição como agente retentor de água na argamassa. No estado fresco, a utilização de polímero superabsorvente mostrou afetar a plasticidade do sistema, sendo necessário a adição de plastificante para se obter a mesma trabalhabilidade da argamassa referência. Já no estado endurecido, o SAP se mostrou eficiente promovendo adequada retenção de água, mesmo sob condições severas de secagem.

Quando o SAP é misturado à argamassa (ou ao concreto) sua ação não se restringe à retenção de água. Após a cura, o SAP pode bloquear a passagem da água nos capilares ou em uma fissura devido à sua capacidade de inchar. Dessa forma, ele é capaz de reter a água impedindo que ela avance no revestimento, em profundidade e altura (SNOECK et al., 2012). Lee et al. (2015) demonstraram que o SAP é eficaz na selagem de trincas por interromper o fluxo de água. Nessa pesquisa, constatou -se que a mistura com SAP sela fissuras de 0,3mm após um período de poucas horas.

O efeito do SAP no transporte de água em argamassas de revestimento tem sido estudado devido ao seu potencial como regulador higrótérmico (SENFF et al.; 2016). Senff et al. (2015) observaram no estudo de argamassas mistas com diferentes teores de SAP que embora a relação água/aglomerante governe o resultado da capilaridade, as partículas de SAP tem um importante papel na redução dos valores dos coeficientes de capilaridade. O inchamento do polímero pode criar descontinuidades na estrutura de poros das argamassas afetando o transporte de água. As argamassas foram produzidas com relação água/aglomerante de no máximo 0,72% e 0,9% em massa de SAP. Ainda que a adição de polímeros na mistura tenha requerido a adição de água para manter a trabalhabilidade, o aumento da porosidade não foi significativa.

### **3.3 – Outros aditivos**

Além desses aditivos específicos, outros constituintes do revestimento podem ter efeito secundário de impermeabilização. No trabalho apresentado por Dafico et al. (2004), foi analisado o desempenho de aditivos como impermeabilizantes de argamassas. Para escolha dos aditivos Dafico et al. (2004) decidiu utilizar produtos amplamente comercializados ainda que esses não fossem comercializados como aditivos impermeabilizantes.

Os resultados de absorção por capilaridade apresentados na referida pesquisa indicaram que as argamassas aditivadas apresentam algum efeito impermeabilizante. Em determinados casos os aditivos trabalham como plastificantes e reduzem a quantidade de água necessária para produção das argamassas. Ou podem ainda formar cadeias de polímeros orgânicos que ajudam no tamponamento dos poros.

Os aditivos incorporadores são tensoativos aniônicos, assim como os estearatos porém mais solúveis em água e com maior capacidade de formar micelas de ar (RIXOM; MAILVAGANAM, 1999). Quando adicionados às pastas de cimento, a parte polar desses aditivos tende a se adsorver nas partículas sólidas da pasta (cimento), e a parte apolar, voltada para a fase aquosa, confere um caráter hidrofóbico às partículas de cimento. A formação das bolhas de ar é realizada pelos tensoativos que não foram adsorvidos e se agrupam na fase aquosa, formando micelas de ar.

Os incorporadores de ar também tem efeito no transporte de água em argamassas. Diversos trabalhos já observaram a redução da absorção de água por capilaridade das argamassas em função do aumento do teor de incorporador de ar (ALVES, 2002; POSSER, 2004; SANTOS, 2006; SILVA, 2011). Essa redução se deve ao fato do aditivo reduzir a necessidade de água na mistura (aumentando a trabalhabilidade) e por formar bolhas que interrompem o transporte de água capilar.

Na pesquisa apresentada por Alves (2002), foram utilizados 3 aditivos incorporadores de ar, com diferentes características de incorporação de ar. Foi observado que, para um mesmo teor de aditivo, os valores da absorção capilar foram maiores para as argamassas com menor teor de cimento, possivelmente, devido à maior compactidade que as argamassas com o maior teor de cimento apresentam.

Por sua vez, Posser (2004) notou que o efeito do incorporador é maior em argamassas com maior relação cal/cimento. Em outros trabalhos com argamassas aditivadas, como Silva (2011) e Santos (2006), os resultados apontaram para uma redução da absorção por capilaridade das argamassas em função do aumento do teor de incorporador.

Apesar do incorporador de ar dificultar o transporte por capilaridade, as bolhas de ar presentes nos poros que impedem a saturação do material podem ser removidas da estrutura porosa pelo procedimento de imersão da argamassa em água fervente. Nesse caso, percebe-se que o aditivo aumenta a absorção de água (por imersão), indicando um aumento na porosidade aparente do material (DAFICO et al., 2004).

Assim, o uso do aditivo incorporador de ar pode prejudicar outros aspectos relativos ao estado endurecido, e acima de certo valor o teor de ar ser maléfico à argamassa. Alves (2002) encontrou uma redução de até 55% no valor de aderência à tração, com o aumento do teor de ar em argamassas de revestimento.

#### **4 – PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS**

Para facilitar a organização do programa experimental, foram abordadas algumas questões principais para discutir o problema de estudo, gerar hipóteses e auxiliar na escolha dos métodos de ensaio. Em um primeiro momento, **se faz necessário compreender como os parâmetros de dosagem afetam o comportamento das argamassas em relação ao transporte de água.**

Como foi elucidado no Capítulo 3, durante a dosagem das argamassas é possível modificar a proporção entre os materiais que as compõem para criar misturas diferentes. Uma mesma gama de materiais pode originar argamassas que se diferenciam, por exemplo, quanto ao teor de finos, quanto à granulometria do agregado e quanto ao teor de água. Dessa forma, argamassas desenvolvem estruturas porosas distintas e então, desempenho frente ao transporte de água também diferenciado.

Uma discussão que surge dessa observação diz respeito à função que cada material constituinte exerce no desenvolvimento da estrutura porosa, e por consequência no transporte de umidade. Em um agregado com partículas de diversos tamanhos, o volume de vazios entre as partículas será menor com a maior continuidade da distribuição granulométrica. O menor volume de poros pode ser considerado um obstáculo ao transporte de água. De maneira análoga, supõe-se que a elevada densidade dos produtos de hidratação dos aglomerantes, em especial o cimento, diminui a dimensão dos poros na matriz cimentícia. Ou seja, quanto maior o teor de aglomerantes, mais finos são os poros. Por isso, pretende-se variar esses parâmetros de dosagem e avaliar a influência das mudanças no comportamento relativo ao transporte de água das argamassas.

Essa modificação do comportamento é ainda mais notável com a presença de aditivos. No entanto, a ação dos aditivos para argamassas de revestimentos não se dá da mesma maneira que a modificação dos parâmetros de dosagem. Eles podem ser declaradamente hidrofugantes ou de outra natureza que, a depender do teor e da mistura, interferem o transporte de água. **Por isso, é necessário se conhecer como os aditivos afetam os processos de molhagem e secagem.**

O mecanismo de ação dos aditivos pode ser físico ou químico-físico. Os produtos comumente utilizados podem trabalhar como formadores de barreiras físicas tamponando

os poros ou criando camadas hidro-repelentes. Por outro lado, ele pode atuar modificando a formação dos poros ou polarizando a superfície dos poros. A depender do teor utilizado, os aditivos podem ainda afetar as propriedades mecânicas ou a trabalhabilidade das argamassas.

Diante do exposto se faz necessário testar a eficiência e o desempenho das argamassas produzidas com diferentes aditivos em diferentes teores, na molhagem e secagem. Pretende-se assim contribuir com o conhecimento do desempenho e do mecanismo de ação (físico-químico) de aditivos para argamassas de revestimento.

A partir desses pontos, o programa experimental foi dividido em duas etapas. Na Etapa 1, foi avaliada a alteração dos parâmetros de dosagem de argamassas mistas de cimento e cal. Já na Etapa 2, estudou-se a ação de aditivos nas argamassas no que diz respeito ao transporte de água.

#### **4.1 – ETAPA 1: CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSAS MISTAS (SEM ADITIVO).**

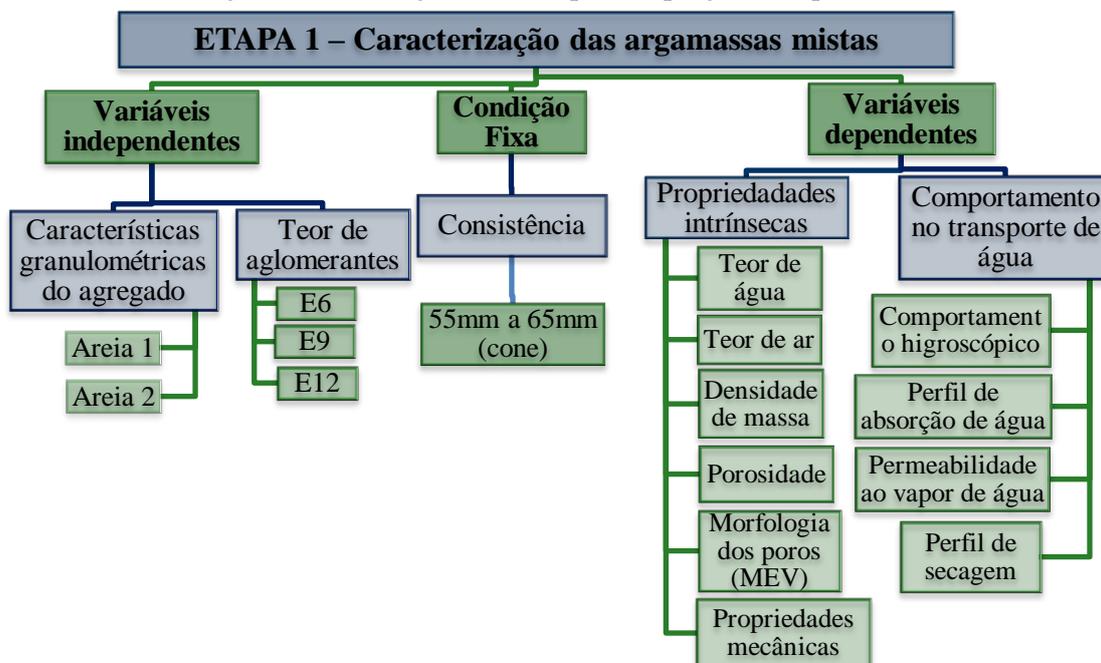
O objetivo desta etapa é caracterizar a estrutura porosa e o desempenho quanto ao transporte de água na forma líquida e de vapor, de argamassas mistas aplicáveis como revestimento, produzidas com diferentes misturas de cimento, cal e areia natural. Com base nos resultados obtidos, observar nos critérios analisados a influência dos parâmetros de dosagem: característica granulométrica e teor de aglomerantes. Além disso, selecionar a argamassa que menos favorece o transporte de água, chamada “referência”, para dosagem da Etapa 2 do programa experimental. A Etapa 1 pode ser resumida conforme apresentado no fluxograma da Figura 4.1.

##### **Variáveis independentes:**

- a) **CARACTERÍSTICA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO:** Seleção de duas areias adequadas para o uso como agregado na produção de argamassas de revestimento. As areias, denominadas Areia A1 e Areia A2, são distintas entre si em relação às características granulométricas como à continuidade da distribuição granulométrica e ao módulo de finura. Dessa forma, a combinação das granulometrias das areias com os demais componentes constituintes das argamassas podem alterar o volume de poros nas argamassas.

- b) **TEOR DE AGLOMERANTE:** escolha de teores de aglomerantes obtidos a partir do método de dosagem de Selmo (1989). Os teores denominados E6 (Teor 1), E9 (Teor 2) e E12 (Teor 3) variam da maior quantidade de aglomerantes (em E6) para a menor quantidade de aglomerantes (em E12).

Figura 4.1 - Fluxograma da Etapa 1 do programa experimental



**Condição fixa:** Consistência aferida pela profundidade de penetração de cone (ASTM C780:2014) adotada entre 55 mm e 65 mm, para produção de argamassas aplicáveis como revestimento (SOUSA, 2005; BAUER et al., 2006; BAUER et al., 2007). A adoção da consistência como condição fixa permite avaliar as argamassas a partir de um parâmetro de trabalhabilidade e o consumo de água com a modificação dos parâmetros de dosagem.

#### Variáveis dependentes:

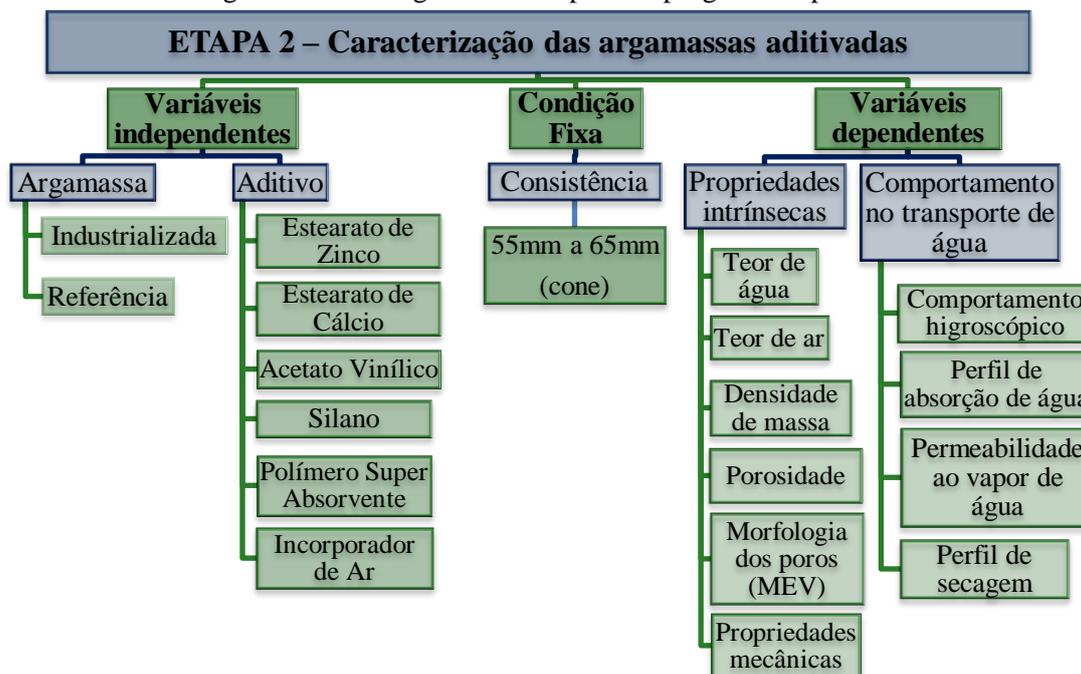
- a) **PROPRIEDADES INTRÍNSECAS:** Propriedades avaliadas a partir de ensaios que caracterizam a organização das partículas e a formação da estrutura porosa. No estado fresco, a partir da consistência fixada, são avaliados o teor de água, a incorporação de ar e a densidade de massa. No estado endurecido, a estrutura porosa é caracterizada por meio do volume e distribuição de poros obtidos, por porosimetria por intrusão de mercúrio; pela superfície específica dos poros, medida por adsorção de gás Hélio; e pela morfologia dos poros, obtida por microscopia eletrônica de varredura. Complementarmente, as propriedades mecânicas e densidade são mensuradas.

b) **TRANSPORTE DE ÁGUA:** Avaliação da quantidade de água presente na estrutura porosa das argamassas em processos de molhagem e secagem. Os procedimentos adotados envolvem: a caracterização do comportamento higroscópico, na qual a quantidade de vapor de água adsorvida e dessorvida em condições isotérmicas é medida; a quantificação da absorção de água por imersão e capilaridade; a caracterização da difusão do vapor de água por permeabilidade ao vapor de água, na qual são mensurados a permeabilidade ao vapor de água, a espessura de ar equivalente e o fator de resistência ao vapor de água; e a caracterização do processo de secagem, com a avaliação do índice de secagem das argamassas.

#### 4.2 – ETAPA 2: CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSAS COM ADITIVO

O objetivo desta etapa é caracterizar argamassas com aditivos e uma argamassa industrializada, considerando as mesmas variáveis e utilizando as mesmas técnicas propostas na Etapa 1. A primeira parte desta Etapa 2 consiste na da adição de aditivos na argamassa referência selecionada na Etapa 1, para avaliar a modificação no transporte de água e na estrutura porosa. Mais especificamente, pretende-se verificar o possível efeito de aditivos hidrofugantes (e não hidrofugantes) no transporte de água na argamassa referência. A segunda parte desta etapa consiste na avaliação de uma argamassa industrializada do tipo multiuso quanto ao transporte de água. Além disso, por meio da produção de uma argamassa com desempenho abaixo ao da referência (em termos de transporte de massa), espera-se comparar o efeito do aditivo hidrofugante com o efeito da formulação da argamassa, na mitigação do transporte de água. O resumo da Etapa 2 pode ser observado no fluxograma apresentado na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Fluxograma da Etapa 2 do programa experimental



**Variáveis independentes:**

- a) ARGAMASSA: Escolha de argamassa Referência a partir do resultado da Etapa 1. A seleção se dá pelo melhor desempenho frente ao transporte de água. Utilização de uma argamassa industrializada multiuso para efeitos comparativos.
- b) ADITIVOS: A escolha dos aditivos utilizados nessa pesquisa se deu com base em estudos relatados na literatura (apresentados anteriormente no item 3.2) e de acordo com a disponibilidade desses produtos no mercado ou junto a fornecedores de aditivos brasileiros. São utilizados como aditivos hidrofugantes quatro produtos, sendo eles: um Estearato de Zinco, um Estearato de Cálcio, um aditivo a base de acetato vinílico e um aditivo a base de Silano. Para avaliar um possível efeito hidrofugante de outros aditivos, são utilizados outros dois produtos: um Polímero Superabsorvente e um Incorporador de ar.

**Condição fixa:** Consistência aferida pela profundidade de penetração de cone (ASTM C780:2014) adotada entre 55 mm e 65 mm, para produção de argamassas aplicáveis como revestimento (SOUSA, 2005; BAUER et al., 2006; BAUER et al., 2007). A adoção da consistência como condição fixa permite avaliar as argamassas a partir de um parâmetro de trabalhabilidade e o consumo de água com a modificação dos parâmetros de dosagem.

**Variáveis dependentes:**

- a) PROPRIEDADES INTRÍNSECAS: Propriedades avaliadas a partir de ensaios que caracterizam a organização das partículas e a formação da estrutura porosa. No estado fresco, a partir da consistência fixada, são avaliados o teor de água, a incorporação de ar e a densidade de massa. No estado endurecido, a estrutura porosa é caracterizada por meio do volume e distribuição de poros obtidos, por porosimetria por intrusão de mercúrio; pela superfície específica dos poros, medida por adsorção de gás Hélio; e pela morfologia dos poros, avaliada por microscopia eletrônica de varredura. Complementarmente, as propriedades mecânicas e densidade são mensuradas.
- b) TRANSPORTE DE ÁGUA: Avaliação da quantidade de água presente na estrutura porosa das argamassas em processos de molhagem e secagem. Os procedimentos adotados envolvem: a caracterização do comportamento higroscópico, na qual a quantidade de vapor de água adsorvida e dessorvida em condições isotérmicas são medidas; a quantificação da absorção de água por imersão e capilaridade; a caracterização da difusão do vapor de água por permeabilidade ao vapor de água, na qual são mensurados a permeabilidade ao vapor de água, a espessura de ar equivalente e o fator de resistência ao vapor de água; e a caracterização do processo de secagem, com a avaliação do índice de secagem das argamassas.

### 4.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Nessa seção serão caracterizados os materiais utilizados nessa pesquisa, para a dosagem de argamassas de revestimento a partir da mistura de cimento Portland, cal hidratada e areia natural. Esses materiais foram escolhidos por serem comumente utilizados na execução de revestimentos em argamassa e facilmente adquiridos na região de Brasília, onde a pesquisa foi realizada. Já os aditivos selecionados, foram escolhidos a partir de pesquisa de referências bibliográficas e da disponibilidade desses materiais junto a fabricantes. Além das argamassas mistas, também foi selecionada para ser investigada uma argamassa industrializada de projeção já caracterizada pelo Laboratório de Ensaio de Materiais.

#### 4.3.1 – Aglomerantes

##### 4.3.1.1 – Cimento Portland

O cimento empregado na confecção das argamassas foi do tipo Portland de alta resistência inicial, CP V-ARI (ABNT, 1991). O cimento CP V-ARI não contém adições como as escórias e pozolanas (apenas uma porcentagem mínima de materiais carbonáticos é permitida). Dessa forma, o uso desse cimento minimiza incompatibilidades entre os materiais empregados nas argamassas, em especial os aditivos. O cimento em questão foi produzido pela fábrica de cimento CIPLAN (Cimento Planalto S.A.), localizada no Distrito Federal. Conforme apresentado na Tabela 4.1, o cimento utilizado atende as exigências normativas necessárias ao uso.

Tabela 4.1 - Caracterização física e química do cimento CPV - ARI

Propriedades determinadas		Resultados	Limites
Massa específica [g/cm <sup>3</sup> ]		3,11	-
Massa unitária [g/cm <sup>3</sup> ]		1,01	-
Finura	Retido na # 200 [%]	0,2	≤8,0
	Retido na # 325 [%]	2,6	-
Tempo de Pega (h:min)	Início (h:min)	02:40	≥ 1:00
	Fim (h:min)	05:10	≤ 12:00
Água de Consistência - Pasta [%]		32,2	-
Expansibilidade de Le - Chatelier [mm] - A Quente		0	≤ 5
Expansibilidade de Le - Chatelier [mm] - A Frio		1	≤ 5
Resistência à Compressão [MPa]	3 dias	35,1	≥ 10,0
	7 dias	42,0	≥20,0
	28 dias	47,1	≥32,0 ≤ 49,0

Continuação: Tabela 4.1 - Caracterização física e química do cimento CPV - ARI

Componentes Químicos [%]	Perda ao fogo		1,55	≤4,5	
	Resíduo insolúvel		6,17	-	
	Trióxido de Enxofre (SO <sub>3</sub> )		3,4	≤ 4,0	
	Óxido de Magnésio (MgO)		4,33	≤6,5	
	Dióxido de Silício (SiO <sub>2</sub> )		22,89	-	
	Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		2,97	-	
	Óxido de Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		7,17	-	
	Óxido de Cálcio (CaO)		54,42	-	
	Óxido de Cálcio livre (Cao)		5,18	-	
	Álcalis totais	Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O)		0,43	-
		Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O)		0,94	-
		Equiv. Alcalino		1,05	-
	Álcalis solúveis em água	Óxido de Sódio (Na <sub>2</sub> O)		0,2	-
		Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O)		0,71	-
		Equiv. Alcalino		0,67	-
Sulfato de Cálcio (CaSO <sub>4</sub> )		5,18	-		

#### 4.3.1.2 Cal Hidratada

A cal utilizada na composição das argamassas mistas foi uma cal dolomítica hidratada CH-I (ABNT, 2003) fabricada pela ICAL-Indústria de Calcinação Ltda. Este material foi adquirido em sacos de 20 kg, de um mesmo lote. Conforme apresentado na caracterização química e física (Tabela 4.2), a cal atende as exigências normativas necessárias para uso do material como aglomerante em argamassas.

Tabela 4.2 - Caracterização física e química da cal hidratada CH-I

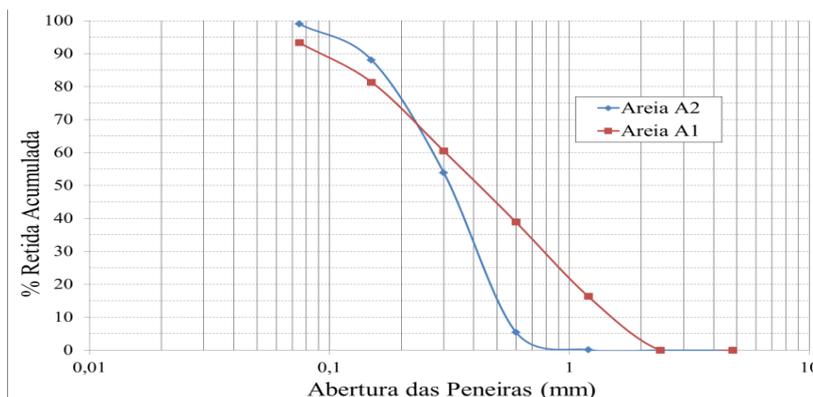
Propriedades Determinadas		Resultados		
Massa Específica [g/cm <sup>3</sup> ]		1,98		
Massa Unitária [g/cm <sup>3</sup> ]		0,50		
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO <sub>total</sub> + MgO <sub>total</sub> ) [%]		97,29		
Componentes Químicos (%)	Perda ao fogo		18,93	
	Resíduo insolúvel		0,49	
	Trióxido de enxofre (SO <sub>3</sub> )		---	
	Óxido de magnésio (MgO)		17,67	
	Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )		1,56	
	Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		0,37	
	Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		0,75	
	Óxido de cálcio (CaO)		61,2	
	Álcalis Totais	Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)		0,07
		Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)		0,18
Equiv. alcalino		0,19		

#### 4.3.2 – Agregados

Como agregado miúdo, foram selecionadas duas areias naturais lavadas, adequadas para serem utilizadas como agregados na produção de argamassa de revestimento. Foram utilizados dois agregados distintos quanto a um conjunto de características ( módulo de

finura, uniformidade etc.) com o intuito de buscar uma mudança na composição granulométrica das argamassas que favoreça a mudança na estrutura porosa. A distribuição granulométrica das areias denominadas A1 e A2 está apresentada na Figura 4.3, e foi obtida de acordo com os procedimentos descritos na ABNT NBR NM 248:2003.

Figura 4.3 - Curva de distribuição granulométrica dos agregados



Cabe ressaltar que antes da caracterização e utilização dos agregados, foi realizado um peneiramento de forma a ser utilizada na confecção das argamassas somente a fração de grãos inferiores a 2,4 mm, procedimento usual para produção de revestimentos em argamassa. As areias diferem-se quanto à granulometria e quanto às características apresentadas na Tabela 4.3. A areia A1 pode ser considerada um agregado bem graduado e de uniformidade média. A areia A2 (mais fina que A1) é um agregado uniforme e mal graduado. Ao longo do trabalho foi considerado a ação conjunta das características dos agregados, ou seja, não foi analisada separadamente a influência de cada característica na estrutura porosa.

Tabela 4.3 - Caracterização dos agregados Areia 1 e Areia 2

<b>Propriedades</b>	<b>Areia A1</b>	<b>Areia A2</b>
Massa Específica [g/cm <sup>3</sup> ] (ABNT, 2009)	2,64	2,64
Massa unitária [g/cm <sup>3</sup> ] (ABNT, 2006)	1,57	1,56
Módulo de Finura	1,97	1,48
Coefficiente de uniformidade	6,2	2,5
Coefficiente de curvatura	1,0	0,8

### 4.3.3 – Aditivos

Nessa pesquisa foram utilizados seis aditivos para argamassas, selecionados a partir de pesquisa bibliográfica apresentada em 3.2. Dentre esses produtos, quatro são comercializados como aditivos hidrofugantes. No entanto, também foi estudado o

comportamento no transporte de água de argamassas produzidas com aditivo incorporador de ar e de polímero superabsorvente. A composição e caracterização desses produtos são apresentadas na Tabela 4.4. É observado que a caracterização consiste apenas na determinação da massa específica, obtida pelo picnômetro de gás Hélio. Neste trabalho optou-se por não caracterizar os aditivos pelos métodos sugeridos na ABNT NBR 10908:2008, pois ela não se adequa à caracterização dos materiais estudados.

Tabela 4.4 - Apresentação e caracterização dos aditivos

Denominação	Descrição	Composição	Massa específica [g/cm <sup>3</sup> ]
Eca	Hidrofugante	Estearato de Cálcio (C <sub>36</sub> H <sub>70</sub> CaO <sub>4</sub> )	1,30
EZn	Hidrofugante	Estearato de Zinco (C <sub>36</sub> H <sub>70</sub> O <sub>4</sub> Zn)	1,17
Sil	Hidrofugante	Silano organofuncional	1,09
Vin	Hidrofugante	Acetato de Vinila-Etileno	1,11
Inc	Incorporador de ar	Lauril Éter Sulfato de Sódio	1,05
SAP	Polímero superabsorvente	Copolímeros de ácido acrílico/acrilamida	1,46

Dentre os aditivos hidrofugantes, foram selecionados dois estearatos adquiridos na forma de pó branco, em sacos de 15 Kg. Os estearatos são sabões metálicos produzidos a partir do aquecimento do ácido esteárico (ácido graxo) com óxidos metálicos. O éster estearato de cálcio (Eca), além da utilização na fabricação de concretos e argamassas, é muito utilizado nas indústrias de tintas e vernizes como agente de suspensão de pigmentos; e nas indústrias fabricantes de plásticos atua como desmoldantes e estabilizante em compostos de PVC. O estearato de Zinco (EZn) também é comumente utilizado em indústrias de tintas e vernizes, atua como agente de alisamento; e na de plásticos como elemento lubrificante junto com o estearato de cálcio para PVC, é estabilizante para o PVC.

O produto denominado SIL é um silicone hidrofugante, redispersível em água e comercializado como aditivo hidrofugante para argamassas e concretos. Este silano organofuncional foi obtido junto à empresa que o produz na forma de pó, em embalagem de 1 Kg.

O aditivo denominado VIN se trata de um polímero hidrofóbico a base de Acetato de Vinila-Etileno. Esse produto foi obtido diretamente com o fabricante na forma de pó e é recomendado para uso em argamassas de revestimentos. Já a denominação INC se refere a

um aditivo incorporador de ar a base de Lauril Éter Sulfato de Sódio com 50% de ativo. O produto foi obtido com o fabricante na forma de pó, em embalagem de 1 Kg.

A influência de polímeros superabsorventes (SAP) no transporte de água líquida foi estudada utilizando o polímero caracterizado por Manzano et al. (2015). Esse material se trata de copolímeros de ácido acrílico/acrilamida interligados por ligações covalentes cruzadas, e é produzido através de polimerização por suspensão. Além de ser utilizado em pesquisas sobre concretos e argamassas, esse material é habitualmente utilizado na indústria de higiene.

#### 4.3.4 – Argamassa industrializada

A argamassa industrializada selecionada para estudo é um produto para uso como revestimento externo e interno, adequado para aplicação através de equipamento de projeção. Essa argamassa é disponibilizada no comércio local em sacos de 40 quilos.

A caracterização da argamassa foi feita primeiramente no Laboratório de Ensaio em Materiais da UnB (LEM/UnB), e utilizada para auxiliar na execução dos ensaios de comportamento. A argamassa foi produzida com os valores de consumo de água indicados pelo fabricante. Os resultados da caracterização da argamassa são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Caracterização física e mecânica da argamassa industrializada

Propriedades	Resultado
Massa específica anidra [g/cm <sup>3</sup> ]	2,88
Teor de água [%]	15
Profundidade de penetração de cone [mm]	43
Densidade de Massa Fresca [g/cm <sup>3</sup> ]	1,66
Teor de ar incorporado gravimétrico [%]	28
Resistência à tração por Flexão [MPa]	1,36
Resistência à compressão [MPa]	4,23
Coefficiente de Capilaridade [g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	5,0

#### 4.4 – DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS MISTAS

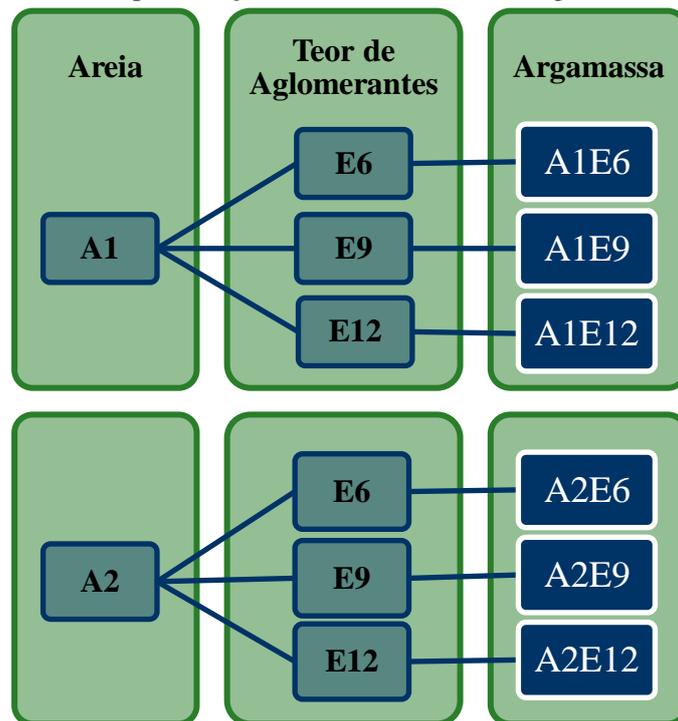
Esta etapa teve como objetivo definir a dosagem das argamassas de revestimento utilizadas na pesquisa. O estudo de dosagem das argamassas à base de cimento e cal hidratada para revestimento baseou-se em um método bastante utilizado no Laboratório de

Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM/UnB), com base nos estudos de Selmo (1989), a partir da definição do parâmetro “E”, cuja formulação analítica é descrita na Equação 4.1

$$E = \frac{(Agregado+Cal)}{Cimento} \quad (4.1)$$

Com intuito de obter argamassas que demonstrassem a relação entre os parâmetros de mistura e a estrutura interna, de interesse para essa pesquisa, foi definido o parâmetro “E” como a principal variável dessa fase do estudo. Optou-se por variar esse parâmetro nos valores estimados de E igual a 6 (E6), 9(E9) e 12(E12). Assim, a partir de uma quantidade pré-fixada de areia (A1 e A2), varia-se a quantidade de aglomerante (E6, E9 e E12) de modo a criar matrizes com diferentes teores de aglomerantes (BAUER; et al., 2006). Sendo E6 a mistura mais rica em aglomerantes, seguido de E9 e E12. O fluxograma com as areias utilizadas, o teor de aglomerantes e a nomenclatura adotada para as argamassas é apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Apresentação da nomenclatura das argamassas mistas



Para essa pesquisa foi definido que a consistência ideal seria representada pela profundidade de penetração de cone ideal entre 55 e 65 milímetros (ASTM C780:2014). A definição do teor de água e de cal foi feita a partir de mistura manual nas seguintes etapas:

- a) determinação, em balança, das massas de cimento, cal, areia e água;
- b) pré-umedecimento da areia;
- c) mistura do agregado e do cimento, a fim de homogeneizar os materiais; e
- d) adição de cal e água na mistura,
- e) e correção da quantidade de água até se obter a trabalhabilidade desejada.

Uma vez que as proporções de cal e água foram pré-determinadas manualmente para as misturas com as areias A1 e A2, a produção das argamassas foi ajustada para mistura mecânica, mantendo a mesma proporção dos materiais, com a correção da quantidade de água. A cada mistura foram utilizados 2500 g de material anidro e um misturador mecânico, da marca Hobart, modelo N-50. A metodologia utilizada se baseia nas recomendações de mistura da norma ABNT NBR 13276:2005 e podem ser resumida nas seguintes etapas:

- a) determinação, em balança, das massas de cimento, cal, areia e água;
- b) mistura em velocidade baixa por 4 minutos, no recipiente do misturador, da areia, cal hidratada e 60% da massa total de água;
- c) acréscimo do cimento e nova homogeneização por mais 4 minutos, em velocidade baixa, no recipiente do misturador.

Na Tabela 4.6 são apresentados os traços das seis argamassas mistas de cimento, cal e areia estudadas nessa pesquisa, em massa e em volume aparente. Na Figura 4.5 e na Figura 4.6 estão apresentados os parâmetros de dosagem “E” comparados com as relações cal/cimento e água/cimento.

Tabela 4.6 - Traço e parâmetros de mistura das argamassas mistas

Argamassa	“E” (estimado)	“E” (real)	Traço (massa) (cimento:cal:areia)	Traço (volume aparente) (cimento:cal:areia)	água/ cimento	Teor de finos [% massa] (agregado + aglomerantes)
A1E6	6	6,17	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	1,22	19
A1E9	9	9,37	1 : 0,37 : 9	1 : 0,74 : 5,66	1,79	16
A1E12	12	12,66	1 : 0,66 : 12	1 : 1,32 : 7,55	2,41	15
A2E6	6	6,07	1 : 0,07 : 6	1 : 0,14 : 3,77	1,17	14
A2E9	9	9,22	1 : 0,22 : 9	1 : 0,44 : 5,66	1,86	11
A2E12	12	12,45	1 : 0,45 : 12	1 : 0,90 : 7,55	2,54	10

Figura 4.5 - Relação entre cal/cimento e o parâmetro "E".

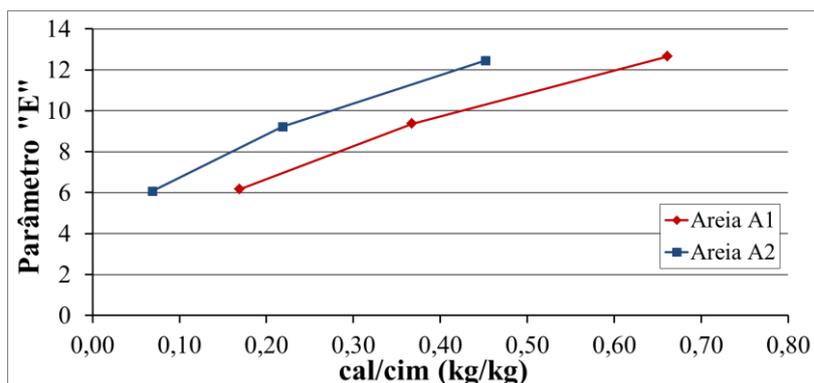
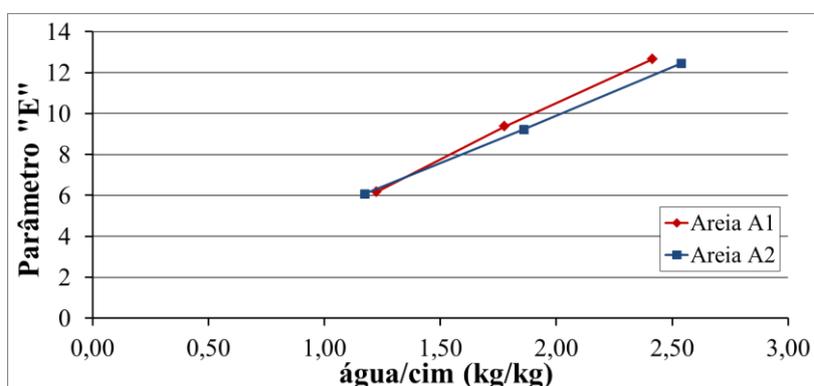
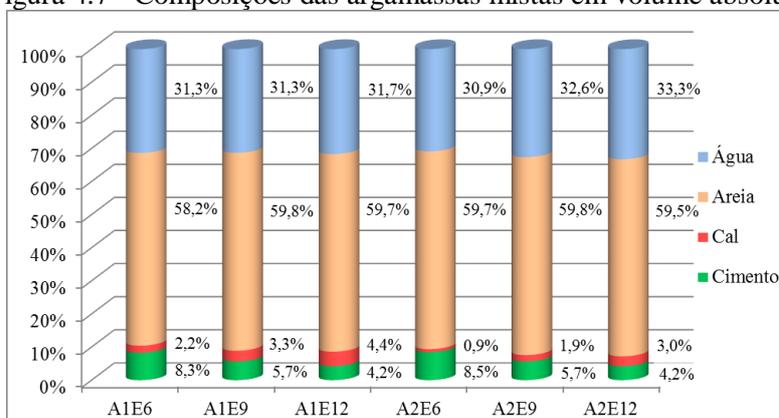


Figura 4.6 - Relação entre água/cimento e o parâmetro "E".



A Figura 4.7 ilustra as composições, em porcentagem de volume absoluto, das argamassas mistas obtidas após as dosagens. Observa-se que o teor de água variou pouco entre as argamassas: de 30,9% a 33,3%, indicando que o processo de preparação dos materiais secos foi executado corretamente para todos os traços. O teor de cal é maior com o decréscimo do teor de cimento, evidenciando o papel do aglomerante para alcançar a trabalhabilidade desejada.

Figura 4.7 - Composições das argamassas mistas em volume absoluto



## 4.5 – DEFINIÇÃO E PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS ADITIVADAS

Para a produção das argamassas aditivadas, a seleção da argamassa referência da Etapa 1 se baseou no comportamento quanto ao transporte de água. A argamassa A1E6, dentre as estudadas na Etapa 1, se mostrou a menos propícia para o transporte de água, conforme será apresentado nos resultados do Capítulo 5. A partir dessa mistura, foram acrescentados seis aditivos apresentados em 4.3.3, de modo a gerar as argamassas aditivadas.

Em um primeiro momento foram fabricadas argamassas com os teores de aditivos hidrofugantes sugeridos em literatura ou pelos fabricantes, mantendo a condição fixa de profundidade de penetração de cone. A partir dessas misturas, optou-se por selecionar o teor de aditivo que conferisse ao traço A1E6 coeficiente de capilaridade inferior a 0,5 g/(dm<sup>2</sup>.√min). Esse valor foi escolhido para potencializar a diferença de comportamento entre as argamassas mistas e as argamassas com hidrofugantes. Os teores de aditivos estão apresentados na Tabela 4.7. Para conferir à argamassa referência o coeficiente de capilaridade desejado, os aditivos ECa e Vin foram adicionados em porcentagens elevadas comparados aos demais aditivos: 2,00% e 2,50% da massa de materiais secos, respectivamente.

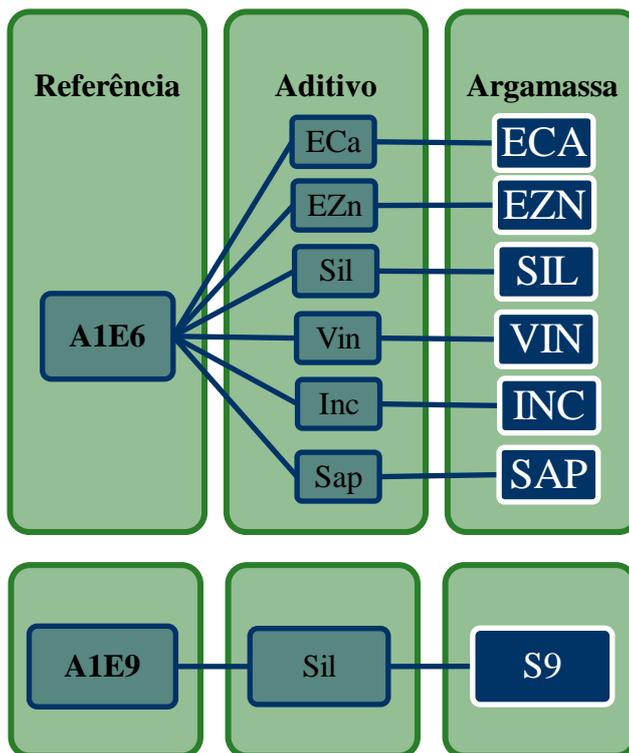
Tabela 4.7 - Teores dos aditivos

<b>Aditivo</b>	<b>Teor [% massa de materiais secos]</b>	<b>Teor [% massa de cimento]</b>
ECa (Hidrofugante - Estearato de Cálcio)	2,00	14,34
EZn (Hidrofugante - Estearato de Zinco)	1,00	7,17
Sil (Hidrofugante - Silano organofuncional)	0,50	3,58
Vin (Hidrofugante - Acetato de Vinila-Etileno)	2,50	17,92
Inc (incorporador de ar - Lauril Éter Sulfato de Sódio)	0,05	0,01
Sap (Polímero superabsorvente - Copolímeros de ácido acrílico/acrilamida)	0,04	0,30

Para o aditivo incorporador de ar, optou-se por testar os teores utilizados por Alves (2002) ao estudar um aditivo de composição semelhante ao utilizado neste estudo. Verificou-se a influência do teor no coeficiente de capilaridade e selecionou-se o teor que produziu uma argamassa com menor coeficiente de capilaridade. Já o teor de polímero superabsorvente utilizado baseou-se nos valores utilizados na literatura (MANZANO et al., 2015). Para esse produto não foi executado uma dosagem teste para definição do teor de aditivo, apenas para definição do teor de água.

Além das argamassas citadas, foi formulada uma mistura com o intuito de avaliar o efeito do teor de aglomerantes (parâmetro de mistura) e de um hidrofugante, separadamente. Para isso foi produzida uma argamassa A1E9 (com menor teor de aglomerante que A1E6) com o aditivo Sil, a base de silano. Essa argamassa produzida a partir de A1E9, com adição de Sil foi chamada de S9. Assim, um total de sete argamassas aditivadas é avaliado nessa etapa. A nomenclatura das misturas é apresentada na Figura 4.8.

Figura 4.8 - Apresentação da nomenclatura das argamassas aditivadas



Para a produção das argamassas, os aditivos foram previamente pesados misturados à massa de cimento. Em seguida o procedimento e os equipamentos utilizados para a mistura foram semelhantes aos adotados para as argamassas mistas. Na Tabela 4.8 são apresentados os traços das sete argamassas aditivadas estudadas nessa pesquisa.

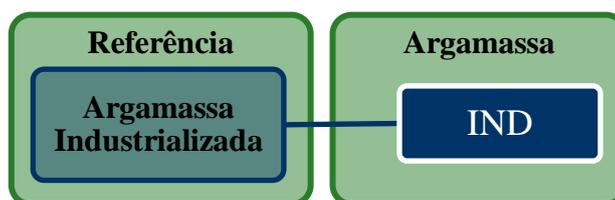
Tabela 4.8 - Traço das argamassas aditivadas

Argamassa	Traço (massa) (cimento:cal:areia)	Traço (volume aparente) (cimento:cal:areia)	Água/ cimento	Teor [% massa de cimento]
ECA	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	1,25	14,34
EZN	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	1,26	7,17
SIL	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	1,23	3,58
VIN	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	0,99	17,92
INC	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	0,98	0,01
SAP	1 : 0,17 : 6	1 : 0,34 : 3,77	1,22	0,30
S9	1 : 0,37 : 9	1 : 0,74 : 5,66	1,78	5,18

## 4.6 – PRODUÇÃO DA ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

A produção argamassa industrializada, denominada neste trabalho de IND (Figura 4.9), foi dividida em duas etapas. Em um primeiro momento ela foi caracterizada com o teor de água indicado pelo fabricante (Tabela 4.5). Em um segundo momento foi definido o teor de água para atingir a condição fixa de consistência, e então foi produzida a mistura estudada (Tabela 4.9).

Figura 4.9 - Apresentação da nomenclatura da argamassas industrializada



Para a argamassa industrializada a mistura também foi realizada de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 13276:2005, do seguinte modo:

- inicialmente foi feita a pesagem da massa de água e da argamassa anidra (2500 g),
- a água foi adicionada no recipiente do misturados, e a argamassa adicionada no recipiente de modo contínuo, dentro de um período de 30 segundos;
- a mistura foi realizada, na velocidade baixa, durante 30 segundos;
- depois foi retirada da pá e feita a raspagem da pá e da superfície interna do misturador, no intervalo de 60 segundos;
- por fim, o material foi misturado por mais 30 segundos, na velocidade baixa.

Tabela 4.9 - Traço da argamassa industrializada

Argamassa	Traço (massa) (argamassa anidra:água)	Traço (volume absoluto) (argamassa anidra:água)
IND	1 : 0,17	1 : 0,48

## 4.7 – MÉTODOS

Após a produção das argamassas, foram coletadas amostras e estas foram imediatamente submetidas aos ensaios de caracterização no estado fresco. Também foram moldados corpos de prova os ensaios no estado endurecido. Os métodos de ensaio são descritos a seguir.

#### 4.7.1 – Estado Fresco

O controle das argamassas foi feito após cada mistura, utilizando o método de determinação do índice de consistência pela penetração de cone, além da determinação da densidade de massa e da determinação do teor de ar incorporado pelo método gravimétrico.

##### 4.7.1.1 – Ensaio de penetração de cone

O índice de consistência foi determinado pelo método da penetração do cone, prescrito pela norma (ASTM C780:2014), para controle da consistência das argamassas (Figura 4.10). Este ensaio, já consagrado em diversas pesquisas (SOUSA, 2005; BAUER et al., 2006; BAUER et al., 2007), consiste em mensurar a consistência da argamassa por meio de determinação da resistência de penetração de um cone metálico, de massa padronizada, sob ação da gravidade.

Figura 4.10 – Equipamento utilizado para ensaio de penetração de cone



A sequência de realização deste ensaio é composta das seguintes etapas:

- a) após o preparo da argamassa, preencher três recipientes cilíndricos (com capacidade aproximada de 400 ml), procurando distribuir em três camadas iguais ao longo da altura, aplicando 20 golpes por camada com espátula;
- b) rasar o topo e posicionar o cone rente à superfície do recipiente, efetuar a leitura inicial;

c) liberar o cone em queda livre para que ocorra a penetração na argamassa, por gravidade e efetuar a leitura da profundidade.

Como resultado, o ensaio fornece uma avaliação indireta da consistência do material a partir da profundidade de penetração do cone, expressa em milímetros. Foi adotado como resultado a média de três determinações consecutivas realizadas em amostras diferentes de uma mesma argamassa.

#### 4.7.1.2 – Determinação da densidade de massa

A densidade de massa foi determinada conforme preconiza a ABNT NBR 13278:2005 e consiste nas seguintes etapas:

- a) pesar e anotar a massa de três recipientes cilíndricos de volume conhecido;
- b) após o preparo da argamassa, preencher três recipientes, procurando distribuir em três camadas iguais ao longo da altura, aplicando 20 golpes por camada com espátula;
- c) rasar o topo e pesar o conjunto recipiente-argamassa.

O cálculo da densidade de massa ( $D$ ) é feito da relação entre a diferença de massa entre o conjunto ( $M_c$ ) e o recipiente ( $M_{recip}$ ); e o volume do recipiente ( $V_{recip}$ ), conforme demonstra a Equação 4.2:

$$D = \frac{(M_{conj} - M_{recip})}{V_{recip}} \quad (4.2)$$

O resultado final do ensaio corresponde à média de três determinações consecutivas, realizadas em amostras diferentes de uma mesma argamassa. A densidade da argamassa no estado fresco é expressa em quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) e arredondada ao número inteiro mais próximo.

No documento da ABNT NBR 13281:2005 é apresentada uma classificação de densidade de massa para argamassas de revestimento, cujos valores foram utilizados para classificar as argamassas dessa pesquisa.

#### 4.7.1.3 – Determinação do teor de ar

A ABNT NBR 13278:2005 também especifica o método de ensaio para determinação do teor de ar em argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. O teor de ar expresso em porcentagem é uma relação entre a densidade de massa no estado fresco (D) e o valor da densidade teórica da argamassa ( $d_t$ ) (Equação 4.3). A densidade teórica, por sua vez, é obtida a partir da razão entre a soma das massas e a soma dos volumes absolutos dos componentes das argamassas, obtidos a partir da proporção e massa específica dos materiais.

$$\text{Teor de ar} = 100 \left( 1 - \frac{D}{d_t} \right) \quad (4.3)$$

#### 4.7.2 – Estado Endurecido

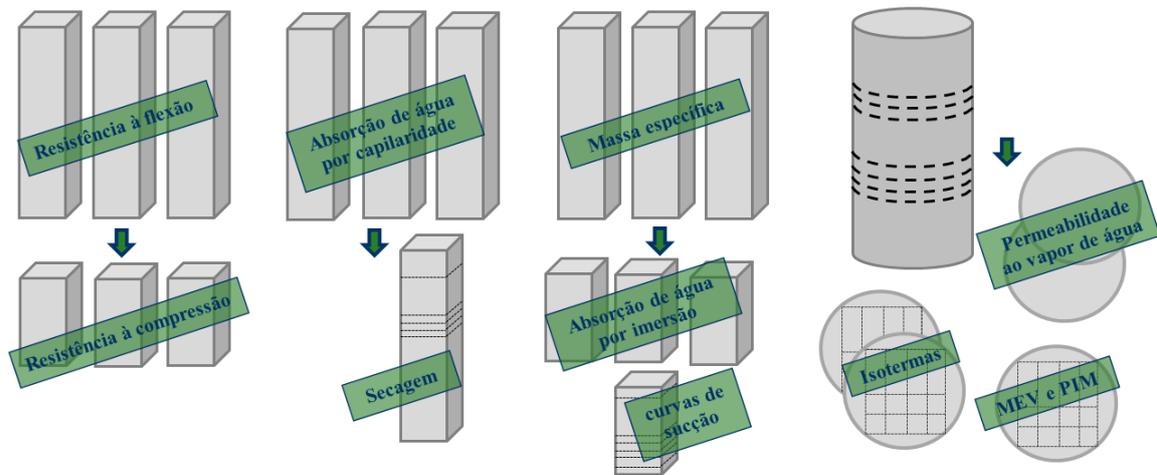
Para a avaliação das propriedades no estado endurecido, foi necessária a utilização de corpos de prova de dimensões variadas (Figura 4.11). A determinação das propriedades mecânicas fez uso de três primas (4 cm x 4 cm x 4 cm), por cada traço de argamassa. Para a caracterização dos índices de vazios, densidade aparente e massa específica (seca, saturada, real), também foram utilizados os corpos de prova prismáticos, moldados de acordo com a ABNT NBR 13276:2005.

Os prismas foram adotados ainda nos ensaios de absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade e secagem. Especificamente para a secagem, esses corpos de prova foram seccionados transversalmente (em “fatias”). Para a obtenção das curvas de sucção, foram utilizadas seções transversais de 0,5 cm obtidas do terço médio dos corpos de prova prismáticos, com as arestas ajustadas para alcançar um diâmetro aproximado de 3,5 cm, compatível com a dimensão do porta amostras do equipamento.

Já para a realização dos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM), microscopia eletrônica de varredura (MEV), permeabilidade ao vapor de água e isotermas de solução salinas foram utilizadas amostras de corpos de prova cilíndricos (Ø 10 cm x 20 cm). Esses corpos de prova foram moldados em 3 camadas, e adensados manualmente com haste metálica.

Para a permeabilidade ao vapor, adotou-se como dimensão das amostras uma seção transversal de aproximadamente 1 cm de espessura, retirada do terço médio dos corpos de prova. As amostras para o ensaio das isotermas também foram produzidas a partir de uma seção transversal dos corpos de prova cilíndricos. No entanto, elas foram seccionada em pequenos pedaços de aproximadamente 4 cm x 4 cm. Procedimento semelhante foi adotado para as amostras d a porosimetria por intrusão de mercúrio e da microscopia eletrônica de varredura. Neste último ensaio, a seção analisada foi a resultante da fratura dessas amostras.

Figura 4.11 - Esquema de fabricação e utilização dos corpos de prova por ensaio



#### 4.7.2.1 – Absorção por imersão, massa específica, índice de vazios e densidade de massa aparente

A partir dos procedimentos descritos pela ABNT NBR 9778:2005, três corpos de prova prismáticos foram ensaiados por traço para a determinação da absorção, do índice de vazios, da massa específica seca, da massa específica saturada e da massa específica real.

A execução do ensaio para determinação dessas propriedades consiste nas seguintes etapas:

- a) secagem dos corpos de prova em estufa à  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  até constância de massa, para a determinação da massa seca ( $m_{\text{seca}}$ );
- b) imersão das amostras em água a temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  por 72 horas;
- c) após a saturação, fervura dos corpos de prova por 5 horas, para a determinação da massa saturada das amostras ( $m_{\text{sat}}$ );

d) pesagem das amostras através de balança hidrostática, imersas em água a temperatura ambiente, para determinação da massa imersa ( $m_{imersa}$ ).

A absorção representa a ocupação da água nos poros permeáveis de um corpo sólido poroso. A absorção ( $A$ ) é expressa em porcentagem pela Equação 4.4. Para as argamassas com hidrofugante a saturação por imersão só foi atingida utilizando seções transversais cortadas dos corpos de prova.

$$A = \frac{m_{sat} - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad (4.4)$$

O índice de vazios ( $I_v$ ) representa a relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis. O índice de vazios é expresso em porcentagem pela Equação 4.5

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_{seca}}{m_{seca} - m_{imersa}} \times 100 \quad (4.5)$$

A massa específica da amostra saturada ( $\rho_{sat}$ ) representa a relação entre a massa do material saturado e o volume total da amostra (Equação 4.6).

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_{imersa}} \quad (4.6)$$

A massa específica da amostra seca ( $\rho_{seca}$ ) representa a relação entre a massa do material seco e o volume total da amostra (Equação 4.7).

$$\rho_{seca} = \frac{m_s}{m_{sat} - m_{imersa}} \quad (4.7)$$

A massa específica real ( $\rho_{real}$ ) é a relação entre a massa do material seco e o volume real da amostra, ou seja, desconsiderando os poros permeáveis. (Equação 4.8).

$$\rho_{real} = \frac{m_{seca}}{m_{seca} - m_{imersa}} \quad (4.8)$$

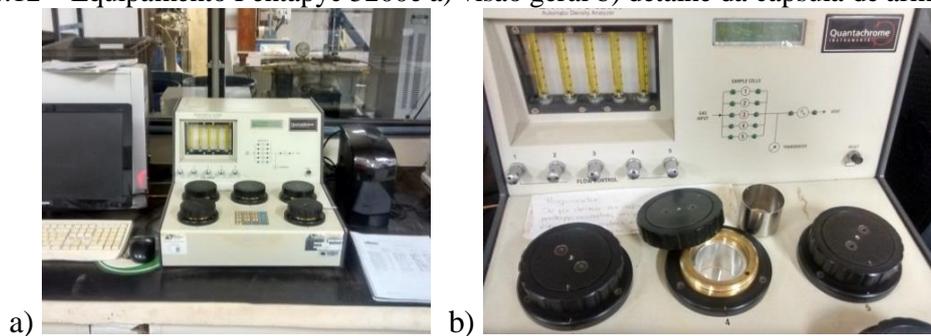
Além desses ensaios, a caracterização física das argamassas também foi realizada pelo cálculo da densidade de massa aparente no estado endurecido e pela determinação da massa específica real por picnômetro de gás Hélio.

A densidade de massa aparente é conceitualmente igual à massa específica da amostra seca. No entanto, a execução do ensaio diferencia os dois métodos. A densidade de massa aparente ( $\rho_{aparente}$ ) é determinada de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 13280:2005. A relação entre massa ( $m$ ) e volume ( $v$ ) é expressa em gramas por centímetro cúbico (Equação 4.9).

$$\rho_{aparente} = \frac{m}{v} \quad (4.9)$$

A determinação da massa específica real por picnômetro de gás Hélio consiste na intrusão de moléculas de gás hélio nos poros permeáveis do material permitindo, a princípio, determinar a densidade real das amostras. Assim, o valor medido deve ser semelhante ao obtido pelo método da ABNT NBR 9778:2005. Além disso, essa técnica é mais adequada no estudo das argamassas com hidrofugantes, uma vez que não utiliza a água para caracterizar o material. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília, no equipamento Pentapyc 5200e fabricado pela Quantachrome Instruments (Figura 4.12).

Figura 4.12 – Equipamento Pentapyc 5200e a) visão geral b) detalhe da capsula de armazenamento



#### 4.7.2.2 – Porosimetria por intrusão de mercúrio e superfície específica

A porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) no Rio Grande do Sul.

As amostras foram retiradas de corpos de prova cilíndricos (Figura 4.11) e enviadas para o ensaio após secagem em estufa à 100°C, por 24 horas. No ensaio, o mercúrio foi intrudido nas amostras de forma contínua e em velocidade média sendo considerado um ângulo de contato de 140° e uma tensão superficial do mercúrio de  $4,8 \cdot 10^{-1}$  N/m. O resultado do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio é expresso em volume de mercúrio intrudido em relação à massa total do corpo-de-prova, dado em ml/g.

A pressão aplicada pelo equipamento permite caracterizar poros na faixa de 300  $\mu\text{m}$  à 0,009  $\mu\text{m}$ . Conforme apresentado na seção 2, os poros podem ser classificados de acordo com suas dimensões em microporos, mesoporos e macroporos. Neste trabalho, para

facilitar a avaliação do comportamento das argamassas os macroporos foram divididos em duas faixas denominadas macroporos capilares ( $0,05\mu\text{m}$  a  $10\mu\text{m}$ ) e “poros grandes” (maiores que  $10\mu\text{m}$ ).

Os resultados dos ensaios de porosimetria possuem duas formas de apresentação:

- a) volume de intrusão de mercúrio pelo diâmetro dos poros: indica, por meio do volume de mercúrio intrudido, a quantidade de poros de um determinado diâmetro;
- b) volume de mercúrio acumulado pelo diâmetro dos poros: representa a quantidade total de mercúrio intrudido, por unidade de massa da amostra, representando a porosidade do material até um determinado diâmetro de poro.

A partir desses resultados é possível calcular outros parâmetros importantes para caracterizar a estrutura porosa: o diâmetro crítico, o diâmetro de maior volume, o diâmetro médio e a área lateral dos poros. O diâmetro crítico é definido como a menor dimensão de poro acima da qual se estabelece uma trajetória de poros conectados de uma extremidade a outra da amostra. Graficamente ele representa a menor dimensão de poro onde se observa uma mudança na curvatura na curva obtida pelo volume de mercúrio acumulado versus diâmetro dos poros.

O diâmetro de maior volume é definido como o tamanho de poros onde se tem o valor máximo de volume intrudido, sendo este valor retirado dos resultados de volume incremental. Já o diâmetro médio corresponde ao diâmetro para o qual o volume de intrusão é metade do volume total de intrusão. A área lateral dos poros é determinada a partir do diâmetro dos poros e considerando os mesmos como cilíndricos.

A fim de complementar esses dados com informação sobre os poros de menor dimensão (mesoporos e microporos), utilizou-se a técnica de adsorção de nitrogênio. O ensaio foi realizado no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília com o equipamento da marca Quantachrome Instruments modelo Nova 2200e (Figura 4.13).

O equipamento gera duas curvas: uma de adsorção e outra de dessorção em função da variação de pressão. Com base nessas curvas o software faz os cálculos pelo método BET

para obtenção da superfície específica, e pela teoria BJH para cálculo do volume de poros (ANEXO A). Essa técnica mensura poros de 0,003  $\mu\text{m}$  à 0,05  $\mu\text{m}$ , ou seja, microporos e mesoporos (QUANTACHROME, 2015).

Figura 4.13 – Equipamento Nova 2200e para adsorção de nitrogênio



#### 4.7.2.3 – Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada nesse trabalho com o objetivo de explorar a morfologia dos poros capilares e verificar possíveis alterações geradas pelos parâmetros de dosagem e pelos aditivos.

Os ensaios foram realizados no Instituto de Biologia da Universidade de Brasília, utilizando um microscópio eletrônico de varredura, modelo Jeol JSM 7001F. O procedimento de preparação das amostras constituiu na fratura das amostras em dimensão compatível com o porta-amostras do instrumento, posterior secagem das mesmas e metalização da superfície ensaiada com ouro.

O ensaio foi conduzido em alto vácuo com duas amostras de cada argamassa. Procurou-se focar em poros esféricos observando modificações de morfologia na superfície dos mesmos. Quando pertinente, foi realizada análise química por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) em pontos das amostras. Cabe ressaltar que não é objetivo deste trabalho utilizar a técnica de microscopia para identificação dos produtos hidratados na microestrutura das argamassas.

#### 4.7.2.4 – Propriedades mecânicas

As argamassas foram submetidas a ruptura para determinação da resistência à tração à compressão, baseados nos procedimentos da ABNT NBR 13279:2005. Os ensaios foram realizados em três corpos de prova na idade de 28 dias.

Os resultados foram calculados em megapascal e representam a média dos valores individuais, respeitando o desvio absoluto máximo de 0,3 MPa para a resistência à tração e 0,5 MPa para a resistência à compressão. A partir dos resultados, as argamassas são classificadas de acordo com as faixas apresentadas na norma ABNT NBR 13281:2005 para a resistência a compressão e para a resistência à tração.

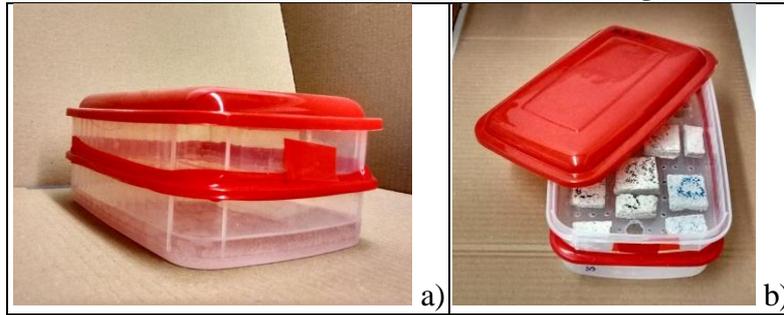
#### 4.7.2.5 – Isotermas de adsorção e dessorção

As isotermas são as curvas higroscópicas que fornecem os valores do teor de água do material em função da umidade relativa do ar do ambiente, para uma temperatura fixa. As isotermas podem ainda ser utilizadas para estimar a distribuição de volume de poros em função da massa de água adsorvida (SATO, 1998; PAES, 2004). A partir de modelos de adsorção física e condensação capilar, neste trabalho o método se aplica para a medição de poros na faixa de 0,0008 a 0,5  $\mu\text{m}$  (SATO, 1998).

As isotermas de adsorção e dessorção foram obtidas em 4 baterias de ensaio. Em um primeiro momento, foi obtida a isoterma de adsorção das argamassas mistas. Em seguida, foi montado o ensaio para obter a dessorção dessas argamassas. Depois, foi obtida a adsorção das argamassas aditivadas e industrializadas. E por fim, a dessorção dessas argamassas. Cada bateria de ensaio teve duração de aproximadamente 3 meses.

O ensaio se baseia nas normas ASTM C1498:2005 e ISO 12571:2000. Ele consiste em armazenar as amostras em recipientes com umidades relativas variadas, mantidas com o uso de soluções salinas, até as amostras atingirem atingir o equilíbrio de massa. Os recipientes desenvolvidos pelo LEM/UnB e empregado por Lara (2003) para armazenar as amostras e a solução saturada dispõem de dois níveis separados por uma superfície perfurada (Figura 4.14).

Figura 4.14 – Recipiente utilizado no ensaio de isotermas de adsorção e dessorção. a) solução salina no nível inferior. b) amostras no nível superior



No nível inferior é colocada a solução saturada e no superior são colocadas as amostras. A umidade relativa nos recipientes foi mantida utilizando soluções de Acetato de Potássio (23%, à 20°C), Brometo de Sódio (59%, à 20°C), Cloreto de Sódio (75%, à 20°C), Cloreto de Potássio (85%, à 20°C), Cloreto de Bário (91%, à 20°C), Sulfato de Potássio (97,6%, à 20°C), além de água destilada e sílica gel.

As soluções foram previamente preparadas e armazenadas nos recipientes. Os recipientes foram mantidos em ambiente climatizado (20°C e 50% U.R.) e, para o início dos ensaios, foi aguardado até que as soluções estabilizassem a umidade, conforme o estabelecido na norma ASTM C1498:2005. A Figura 4.15 (a) e (b) apresenta os recipientes para armazenamento das amostras, bem como o equipamento utilizado na verificação das umidades relativas.

Figura 4.15 - Foto do ensaio de isotermas. [a] Recipientes para ensaio. [b] Medição de umidade relativa no recipiente



Conforme descrito anteriormente, as amostras utilizadas nesse ensaio tem dimensão aproximada 4 cm x 4 cm, e foram obtidas a partir de uma seção transversal de um corpo de prova prismático (Figura 4.11). Para cada ponto das curvas e para cada teor de umidade relativa foram utilizadas duas amostras. Para as isotermas de adsorção, as amostras foram preparadas com secagem a 105°C, com exceção da argamassa SAP que foi seca a 50°C

para que não houvesse prejuízo à integridade do polímero. Para o trecho de dessorção, as amostras foram saturadas com imersão e fervura, com exceção da argamassa SAP que não foi exposta à fervura também para preservar a integridade do polímero.

A partir dos dados encontrados com o ensaio experimental, o comportamento das isotermas de adsorção foi ajustado ao modelo matemático de GAB, conforme descrito em Santos (2006) e Andrade et al. (2015) (Equação 4.10).

$$W = \frac{UR}{A \times UR^2 + B \times UR + C} \quad (4.10)$$

Onde UR é a umidade relativa (%) e W é o conteúdo mássico da fase adsorvida (%). Quanto aos parâmetros A, B e C, são determinados por regressão quadrática a partir dos pontos experimentais. Para o ajuste citado, além dos pontos experimentais, utilizou-se o ponto de umidade relativa nula, onde se assumiu conteúdo de umidade nulo, conforme indicado por Fernandes (1990). Os resultados individuais e o detalhamento dos cálculos são apresentados no APÊNDICE A.

#### 4.7.2.6 – Curva de sucção

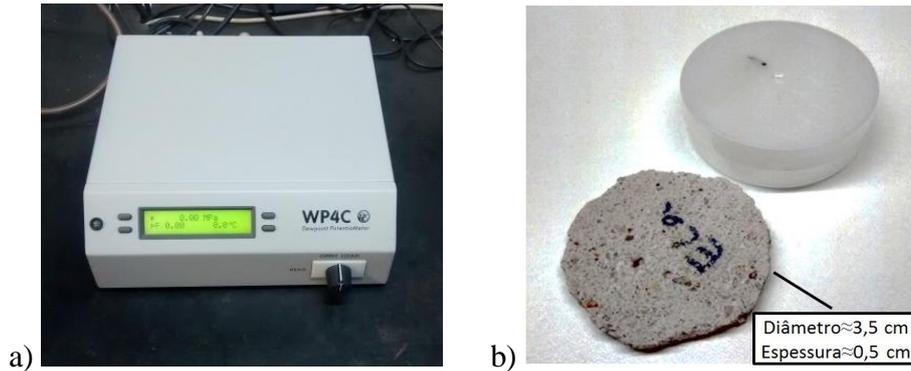
A metodologia utilizada para a determinação das isotermas de adsorção e dessorção já foi consolidada em diversos trabalhos: Lara (2003), Paes (2004), Santos (2006), entre outros. No entanto, nessa técnica pequenas variações na temperatura ambiente podem provocar alterações na umidade alcançada pelas soluções e, conseqüentemente, no teor de água no material.

Além disso, na faixa de umidade de saturação, pequenas variações de umidade relativa representam uma grande mudança na umidade estocada, o que dificulta a obtenção da curva de transporte de umidade completa. Dessa forma, é importante testar outras técnicas que possibilite investigar o comportamento das argamassas na zona de saturação.

Nesse sentido, as técnicas de construção de curvas de sucção de água utilizadas na área de Mecânica dos Solos são de grande valia (JANZ, 2000; ASTM C1699:2015). Essas curvas são apresentadas na relação de conteúdo de água nos poros do material pela tensão (sucção) com que ela está retida pelo material.

Uma maneira de se obter a curva de sucção de um material poroso é utilizando o equipamento WP4C (Dewpoint Potentiometer). Esse equipamento fornece valores de sucção total de forma bastante rápida, em torno de trinta minutos por ponto e por amostra. Ele consiste em uma câmara selada constituída de um espelho, um sensor fotoelétrico, um par termoeletrico, um termômetro infravermelho e um ventilador (Figura 4.16).

Figura 4.16 – Equipamento WP4C. a) visão geral b) amostra e recipiente



Baseado na técnica do ponto de orvalho, quando o material é colocado dentro da câmara, o equipamento detecta a presença de água através do sensor fotoelétrico, devido à redução de reflexão do espelho. O par termoeletrico determina a temperatura em que ocorreu a condensação e o termômetro infravermelho determina a temperatura da amostra. A partir da diferença entre essas duas temperaturas é fornecido o valor de sucção (DECAGON DEVICES, 2014).

O equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília. Ele mede sucção total, em uma escala de 0 a 300 MPa. A principal desvantagem é o tamanho reduzido da amostra e a baixa precisão para medidas abaixo de 0,3 MPa. Nesse trabalho, uma única amostra por traço foi utilizada, na trajetória de secagem e os valores de sucção abaixo de 300 kPa foram descartados. Os resultados individuais estão apresentados no APÊNDICE B.

Para possibilitar a comparação (e conexão) dos resultados das duas técnicas de obtenção do comportamento higroscópico, os valores de umidade relativa obtidos na construção das isotermas foram apresentados em valores de sucção. Para isso, foi utilizada a relação entre a umidade relativa (UR) e a sucção ( $P_s$ ) em kPa, definida pela lei de Kelvin e simplificada conforme apresenta a Equação 4.11 (ASTM C1699: 2015).

$$P_s = -135022 \ln UR \quad (4.11)$$

Os dados obtidos nesse ensaio foram acrescentados aos obtidos no ensaio de dessorção com solução salina, para cálculo das curvas higroscópicas e porosimetria por dessorção de vapor de água. Os resultados individuais estão apresentados no APÊNDICE C.

#### 4.7.2.7 – Absorção de água por capilaridade

A metodologia do ensaio de absorção por capilaridade foi adaptada na norma europeia EN 1015-18:2002. O ensaio consiste na medida ao longo do tempo da massa do corpo de prova, que permanece posicionado sobre apoios para permitir o contato de uma das faces transversais com uma lâmina de água de 5 mm de profundidade.

Nesse ensaio foram utilizados três corpos de prova prismáticos que, após secagem em estufa a 60°C por 48 horas, tiveram as laterais dos corpos de provas pintadas com adesivo estrutural a base de resina epóxi (Figura 4.17). Seguido à secagem da pintura, os exemplares foram novamente submetidos à secagem em estufa à 60°C por 24 horas e estabilização de massa por outras 24 horas em ambiente de temperatura 20°C e umidade 50%, onde posteriormente foram ensaiados.

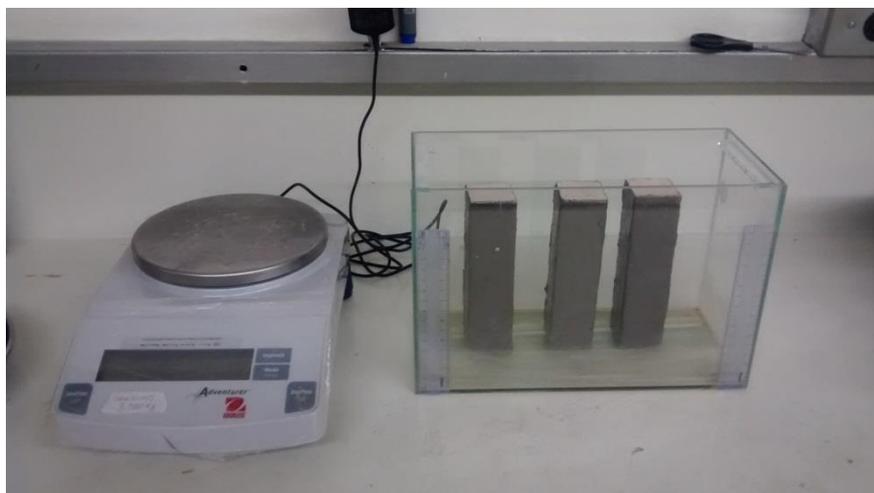
Figura 4.17 – Corpo de prova selado lateralmente para ensaio de capilaridade



As medidas da variação de massa dos corpos de prova (massa de água absorvida) se deram ao longo de 72 horas de ensaio, nas argamassas sem aditivos e 24 horas nas argamassas aditivadas (Figura 4.18). A partir da diferença de massa entre as medidas ao longo do tempo e a massa seca, é possível avaliar a massa de água absorvida por capilaridade ao

longo do tempo. Esse resultado é exposto como uma curva de absorção por capilaridade, relacionando a raiz do tempo em minutos na abcissa e a massa de água por área de contato com a água, em  $\text{g}/\text{cm}^2$ , no eixo das ordenadas.

Figura 4.18 – Ensaio de capilaridade



A partir dessa curva é possível observar graficamente e calcular o coeficiente de capilaridade, determinado a partir da inclinação do trecho inicial da curva de capilaridade. O coeficiente de capilaridade foi calculado, conforme indicado na norma brasileira ABNT NBR 15259:2005, a partir da diferença de massa das determinações realizadas aos 90 e 10 minutos, e expresso em  $\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ . O resultado foi categorizado de acordo com a classificação indicada na ABNT NBR 13281:2005. Os resultados individuais estão apresentados no APÊNDICE D.

#### 4.7.2.8 – Permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de determinação da permeabilidade ao vapor das argamassas mede o fluxo de vapor de água que atravessa a argamassa, em condições de equilíbrio isotérmico e foi adaptado a partir dos procedimentos das normas ISO 12572:2001 e EN 1015-19:2000.

Para a execução deste ensaio foi utilizado o aparato desenvolvido no LEM/UnB, que consiste de uma câmara vedada para armazenamento dos corpos de prova. O método utilizado foi o da “tina seca”, no qual a direção do fluxo de umidade foi definido do ambiente para dentro do corpo de prova. Para definir a direção do fluxo de umidade, foram utilizados moldes preenchidos com o dessecante cloreto de cálcio anidro, ou seja, um sal

que induz uma umidade relativa próxima de 0% (ISO 12572:2001). Na presente pesquisa, os moldes foram mantidos em recipiente com ambiente climatizado em torno de 20 ° C e com controle de umidade feito por solução saturada de cloreto de sódio, que induz o ambiente a uma umidade relativa próxima de 70% (Figura 4.19).

Figura 4.19 - Aparato para determinação da variação de massa no ensaio de permeabilidade ao vapor



Para este ensaio foram produzidos dois corpos de prova para cada traço de argamassa na forma de disco, a partir de seções transversais dos cilindros de argamassa ( $\varnothing$  10 cm x 20 cm) de espessura em torno de 1 centímetro, para cada traço de argamassa. Os discos foram selados lateralmente, reduzindo a área da seção permeável para 7 centímetros. Posteriormente eles foram encaixados e selados nos moldes de ensaio criando uma diferença de pressão de vapor entre as faces, permitindo a transferência de umidade entre os poros. O esquema de preparação é apresentado na Figura 4.20.

Figura 4.20 - Preparação do ensaio de permeabilidade ao vapor



A aferição da variação da massa dos corpos de prova foi feita duas vezes por semana, sem que as amostras fossem retiradas da atmosfera de umidade relativa de 70%. Para isso foi utilizado uma balança analítica adaptada com gancho de pesagem suspensa. O ensaio foi conduzido até que a quantidade do vapor de água passando pelo disco de argamassa fosse constante, esse período durou em torno de seis semanas.

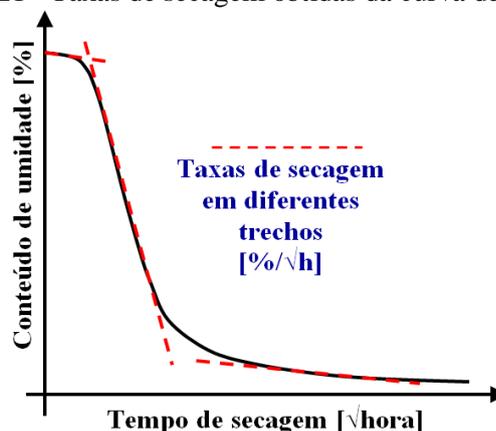
Com os dados do ensaio foi possível calcular a permeabilidade ao vapor de água ( $\delta$ ) em  $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ , a espessura de ar equivalente ( $S_d$ ) em metros, e o fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ), que é obtido pela relação adimensional entre a permeabilidade ao vapor de água do ar e a permeabilidade ao vapor de água do próprio material. As etapas de cálculo e os resultados individuais são apresentados no APÊNDICE E.

#### 4.7.2.9 – Secagem

O ensaio de secagem é uma adaptação do procedimento preconizado em Rilem (1980). O ensaio é realizado em ambiente de temperatura de  $20^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 50%, e os resultados individuais desse ensaio são apresentados no APÊNDICE F. A preparação das amostras de argamassa consiste na saturação das amostras por imersão e, para garantir a evaporação por apenas uma face dos corpos de prova, o documento Rilem (1980) sugere que cinco das seis faces da amostra sejam seladas.

A partir do conteúdo de umidade mássico (calculado a partir da variação da massa no decorrer do ensaio e da massa seca), representando dá-se origem à curva de secagem. Da curva de secagem em função da raiz do tempo é possível obter avaliar as taxas de secagem ao longo do ensaio, a partir da inclinação da curva (Figura 4.21).

Figura 4.21 - Taxas de secagem obtidas da curva de secagem.



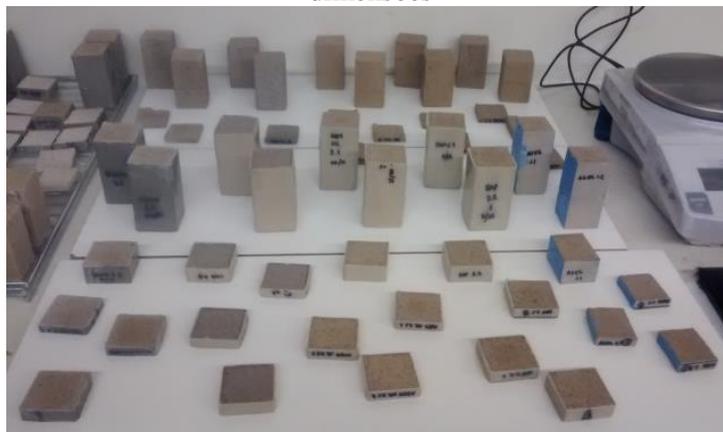
Além das curvas de secagem, este ensaio permite calcular o índice de secagem que tem por objetivo avaliar a velocidade e a quantidade de água perdida ao longo do tempo nas amostras de argamassas. O índice de secagem se relaciona com a resistência da argamassa à secagem e é obtido pela Equação 4.12 (SOARES et al., 2014). Onde  $M_x$  é a massa do corpo de prova durante o processo de secagem (g);  $M_1$  é a massa do corpo de prova, seco em estufa (g);  $M_3$  a massa do corpo de prova, saturado (g) que corresponde à massa inicial do processo de secagem; e o  $t_f$  é o tempo final do ensaio de secagem.

$$I_s = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f\left(\frac{M_x - M_1}{M_1}\right) dt}{\left(\frac{M_3 - M_1}{M_1}\right) \times t_f} \quad (4.12)$$

Neste trabalho, a definição do tamanho e selagem dos corpos de prova foi feita mediante estudo piloto. Este estudo foi necessário para verificar a viabilidade de serem utilizadas amostras de menor espessura para facilitar a saturação das amostras de argamassas com aditivos hidrofugantes.

Para o estudo piloto foram utilizados corpos de prova prismáticos seccionados com diferentes espessuras: 8 centímetros, 2,5 centímetros e 1 centímetro (Figura 4.22). Além das alturas, as amostras se diferenciam quanto à selagem das laterais: foram ensaiados corpos de prova selados lateralmente com resina epóxi (de espessura igual a 8 centímetros, 2,5 centímetros e 1 centímetro), e corpos de prova sem a selagem lateral (de espessura igual a 8 centímetros e 1 centímetro).

Figura 4.22 – Ensaio de secagem: estudo piloto com corpos de prova prismáticos de diferentes dimensões

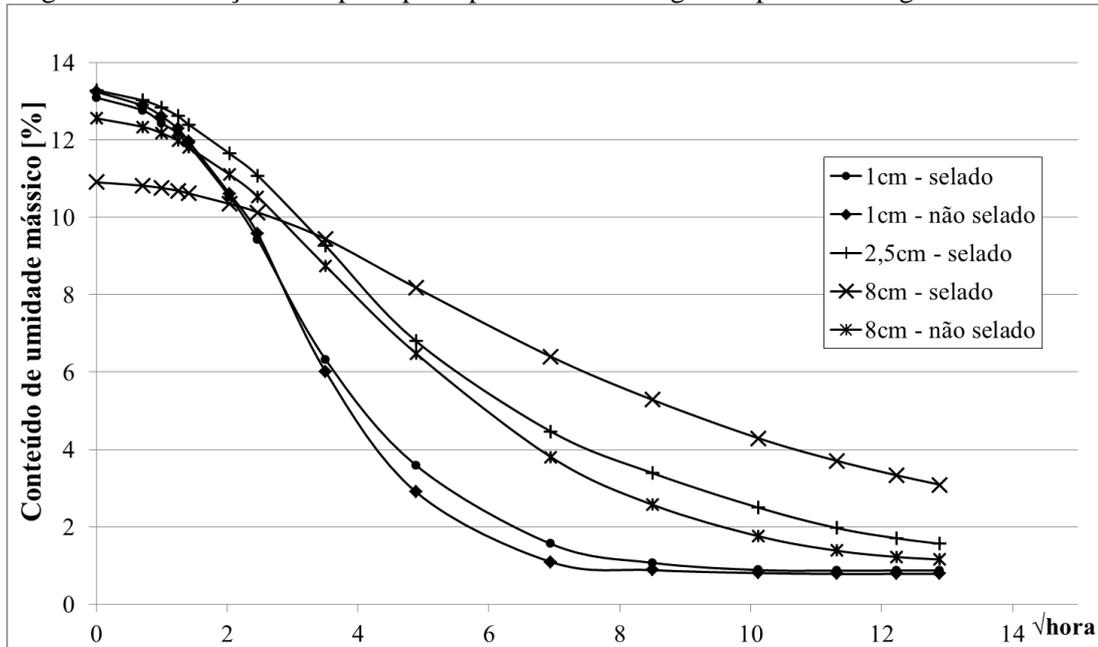


A curva de secagem apresentada na Figura 4.23 mostra que a amostra de oito centímetros selada não foi completamente saturada. As amostras das demais dimensões alcançaram

porcentagem de saturação com valores próximos. Os corpos de prova de 8 centímetros não selada e a amostra de 2,5 centímetros selada apresentaram curva de secagem bastante similar. De maneira análoga, as curvas das amostras de 1 centímetro selada e não selada foram bastante similares.

Os ensaios coincidem com os fatos observados por Páscoa (2012): a curva de secagem depende da espessura da amostra ensaiada. Porém, mesmo em espessura reduzida, na curva de secagem da amostra de 1 centímetro é possível observar os trechos representativos da cinética de secagem. Assim, para facilitar a saturação e por se tratar de uma pesquisa cujos resultados são comparativos, foi escolhido adotar essas amostras de 1 centímetro de espessura como representativas para o ensaio de secagem.

Figura 4.23 - Definição do corpo de prova para ensaio de secagem. Espessura e selagem das amostras



## **5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO - PROGRAMA EXPERIMENTAL - ETAPA 1 - ARGAMASSAS SEM ADITIVO.**

Conforme estabelecido na seção 4.1, o objetivo da Etapa 1 do Programa Experimental é caracterizar a estrutura porosa e o comportamento quanto ao transporte de água na forma líquida e de vapor. Para tal, foram dosadas seis argamassas a partir de três teores de aglomerantes e dois tipos de agregado, com a finalidade de produzir argamassas com diferentes estruturas porosas. O resultado da caracterização dessas argamassas no estado fresco e no estado endurecido, e o comportamento quanto ao transporte de água estão apresentados nas seções seguintes.

### **5.1 – PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DAS ARGAMASSAS**

As propriedades intrínsecas das argamassas se referem à definição das características relacionadas somente à sua composição e organização estrutural. Neste trabalho, são denominadas características intrínsecas no estado fresco o teor de água, o teor de ar incorporado e a densidade de massa fresca. No estado endurecido, as características intrínsecas se referem às propriedades mecânicas, às características físicas como massa específica e índice de vazios; e à caracterização dos volumes de poros.

#### **5.1.1 – Caracterização no estado fresco**

Os resultados das propriedades das misturas no estado fresco estão apresentadas na Tabela 5.1. A consistência medida pela profundidade de penetração de cone se trata de uma condição fixa de dosagem definida no item 4.1, para gerar argamassas no estado fresco com consistência similar. A faixa desejada de 55 mm a 65 mm foi atingida para todas as argamassas, ou seja, segundo esse aspecto de avaliação, as seis argamassas possuem trabalhabilidade similar.

Tabela 5.1 - Propriedades das argamassas no estado fresco

	<b>A1E6</b>	<b>A1E9</b>	<b>A1E12</b>	<b>A2E6</b>	<b>A2E9</b>	<b>A2E12</b>
<b>Profundidade de penetração de cone (ASTM C780) - [mm]</b>	58	58	58	56	58	58
<b>Teor de ar (gravimétrico) - [%]</b>	8	7	7	9	7	7
<b>Teor de água (água/ materiais secos) - [%]</b>	17	17	18	17	18	19
<b>Água / aglomerantes - [kg/kg]</b>	1,05	1,31	1,45	1,10	1,53	1,75
<b>Agregado/aglomerantes - [kg/kg]</b>	5,13	6,58	7,23	5,61	7,38	8,27
<b>Densidade de massa fresca (NBR 13278) - [kg/m<sup>3</sup>]</b>	1987	1994	1958	1962	1964	1957
<b>Classificação Densidade de massa (NBR 13281)</b>	D5	D5	D5	D5	D5	D5

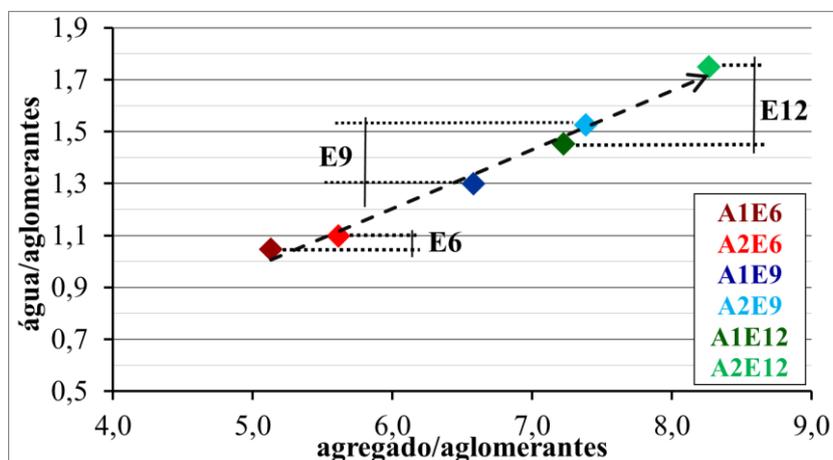
O teor de ar medido nas argamassas variou entre 7% e 9%. A variação da quantidade de água e do teor de aglomerante, notadamente de cal hidratada produziu essa diferença nos valores medidos nas argamassas, mas não foi possível identificar separadamente a influência do agregado, da quantidade de cal e de água. Entende-se que essa variação pode ser considerada pequena e não modifica substancialmente o comportamento das argamassas no estado fresco.

O teor de água das misturas representa a quantidade de água adicionada para alcançar a condição de consistência fixada. Nota-se que o teor de água das argamassas em relação aos materiais secos (aglomerantes e agregado) variou entre 17% e 19%. Os menores teores foram observados nas argamassas com maior teor de aglomerantes (E6) e na argamassa A1E9. O maior valor foi observado em A2E12.

Portanto, o teor de água aumentou ligeiramente com a diminuição do teor de aglomerante (de E6 para E12) e com a mudança da areia A1 para A2. Como essa variação é pequena, é possível afirmar que o consumo de água em relação à quantidade total de material seco é muito semelhante para todos os traços. Em outras palavras, avaliar somente esses valores não diferencia claramente o comportamento das seis argamassas produzidas.

A interpretação da relação água/aglomerantes e da relação agregado/aglomerantes - ambas em massa - permite uma avaliação mais clara da diferença entre as argamassas (Figura 5.1). Para atingir a consistência desejada, a relação água/aglomerantes aumentou à medida que o teor de aglomerante diminuiu, de E6 para E12 (indicado pela seta tracejada).

Figura 5.1 - Relação entre proporção de água/aglomerantes e agregado/aglomerante



Nas argamassas A2, observa-se ainda que a relação agregado/aglomerantes é maior que a observada nas argamassas A1, para todos os teores de aglomerantes. Ou seja, quando o agregado utilizado foi A2, as argamassas foram produzidas com maior adição de água e menor adição de cal, comparadas com aquelas produzidas com o agregado A1. Essa diferença é mais evidente nas argamassas E9 e E12.

A densidade de massa fresca por sua vez variou entre 1994 kg/m<sup>3</sup> (A1E9) e 1957 kg/m<sup>3</sup> (A2E12) (Tabela 5.1). Todas as argamassas são classificadas na faixa D5, segundo a norma ABNT NBR 13281:2005. Observa-se, portanto, que a densidade de massa no estado fresco não se diferenciou suficientemente as argamassas para ser considerada uma variável na interpretação do comportamento das mesmas.

De maneira geral, os resultados apresentados para o estado fresco demonstram que a definição das argamassas de estudo foi eficaz. Apenas os parâmetros de dosagem definidos como variáveis no programa experimental são os responsáveis pela diferenciação das argamassas no estado fresco. Ou seja, no estado fresco as argamassas são semelhantes quanto à trabalhabilidade e suas características no estado fresco são direcionadas pela diferença no teor de aglomerantes e o pelo tipo de agregado.

### 5.1.2 – Caracterização física no estado endurecido e propriedades mecânicas

Na Tabela 5.2 estão apresentados os resultados da caracterização física das argamassas no estado endurecido.

Tabela 5.2 - Caracterização física no estado endurecido

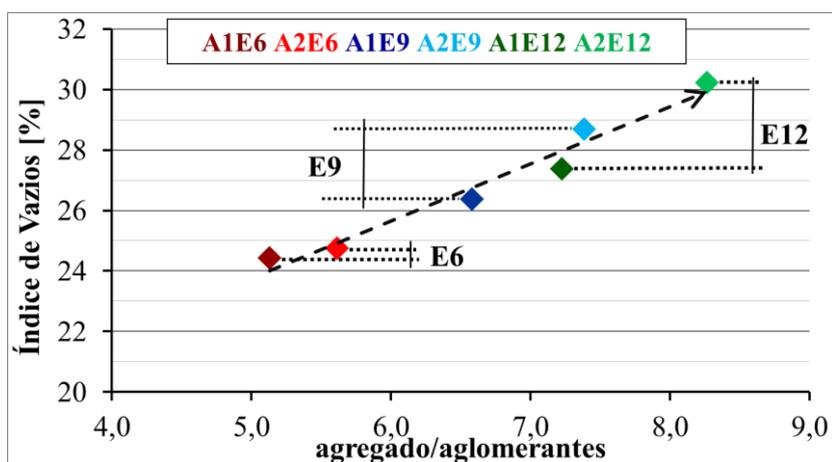
	A1E6	A1E9	A1E12	A2E6	A2E9	A2E12
<b>Índice de vazios - Iv (NBR 9778)- [%]</b>	24	26	27	25	29	30
<b>Densidade de massa aparente (NBR 13280) - [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,84	1,83	1,76	1,82	1,80	1,76
<b>Massa específica amostra seca (NBR 9778) - [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,88	1,86	1,83	1,87	1,84	1,80
<b>Massa específica amostra saturada (NBR 9778) -[g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,13	2,12	2,10	2,12	2,13	2,11
<b>Massa específica real (NBR 9778) -[g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,49	2,53	2,52	2,48	2,58	2,59
<b>Massa específica (picnômetro de gás) - [g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,71	2,70	2,61	2,60	2,53	2,73

Foi observado que o índice de vazios aumenta com a diminuição do teor de aglomerante indicando uma matriz porosa com maior volume de poros acessíveis pela água.

Comportamento semelhante também é observado comparando as argamassas A1 e A2 para os mesmos teores de aglomerantes: a mudança do agregado A1 para o agregado A2 também provocou um aumento no índice de vazios.

Em valores, o índice de vazios variou entre 24% observado na argamassa A1E6 e 30% na argamassa A2E12. Esses resultados coincidem com aqueles apresentados na Tabela 5.1. O aumento na relação água/aglomerantes e agregado/aglomerantes de A1E6 para A2E12 contribui para o aumento do teor de vazios das argamassas endurecidas (Figura 5.2).

Figura 5.2 - Relação entre índice de vazios e proporção de agregados e aglomerantes



Quanto às relações entre as massas e os volumes das argamassas (Tabela 5.2), foi observado que aquelas que consideram o volume aparente de materiais - densidade de massa aparente, massa específica da amostra seca e massa específica da amostra saturada - apresentaram menores valores à medida com que o teor de aglomerante foi diminuído, e o agregado mudou de A1 para A2. Ou seja, para um mesmo volume aparente a massa é menor. Isso indica um acréscimo de volume de poros acessíveis à água líquida na mistura, com o decréscimo do teor de aglomerante, e a mudança do agregado A1 para A2.

A relação massa e volume de sólidos foram obtidos por dois ensaios diferentes: a massa específica real baseada no ensaio da ABNT NBR 9778:2005 e a massa específica medida com o picnômetro de gás Hélio. No ensaio preconizado pela ABNT NBR 9778:2005, as argamassas E6 exibiram os valores mais baixos de massa específica: 2,49 g/cm<sup>3</sup> e 2,48 g/cm<sup>3</sup> para A1E6 e A2E6, respectivamente. Nas argamassas E9 e E12 os valores da massa específica foram muito próximos. Baseado nesses resultados apresentados, não foi possível concluir sobre a influência do agregado. No ensaio com o picnômetro de gás Hélio, os

valores variaram entre 2,60 e 2,73 g/cm<sup>3</sup> e também não foi possível estabelecer nenhuma relação entre a massa específica e a variação da composição das argamassas.

Nesse caso, como se tratam de argamassas com variação na proporção, mas com a mesma constituição mineralógica, e sem variação acentuada de vazios, entende-se que os valores de massa específica não podem ser muito distintos. No entanto, observa-se que os valores encontrados nas duas técnicas não convergiram. Uma possível justificativa está relacionada à técnica preconizada pela ABNT NBR 9778:2005 se baseia em uma medida indireta, portanto, menos precisa. Dessa forma, nesta pesquisa optou-se por utilizar os valores resultantes da picnometria.

Os resultados dos ensaios mecânicos são apresentados na Tabela 5.3, juntamente com a classificação proposta pela ABNT NBR 13281:2005 para resistência a compressão e à tração. Conforme esperado, os resultados apontam que as argamassas se mostraram mais resistentes à compressão e tração com o aumento no teor de aglomerantes (E12<E9<E6). Além disso, o uso do agregado A1 também favoreceu o aumento da resistência mecânica, possivelmente pelo aumento do empacotamento das argamassas. Assim, os resultados das propriedades mecânicas acompanham a tendência observada para o índice de vazios.

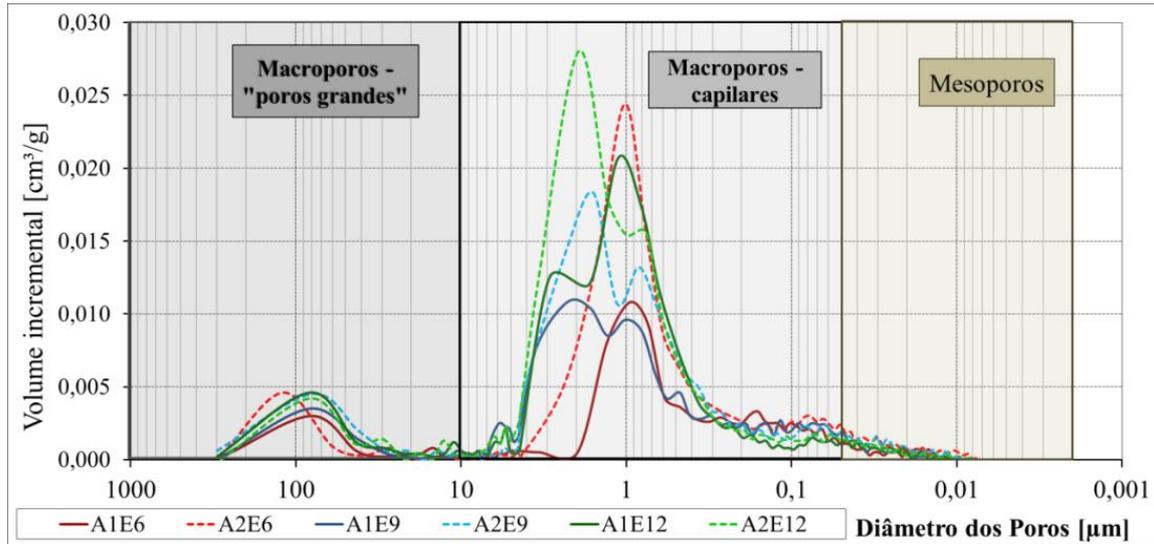
Tabela 5.3 - Propriedades mecânicas

	A1E6	A1E9	A1E12	A2E6	A2E9	A2E12
<b>Resistência à compressão (NBR 13279) - [MPa]</b>	15,0	7,6	4,2	14,1	6,7	3,6
<b>Classificação Resistência à compressão (NBR 13281)</b>	P6	P5	P3	P6	P5	P3
<b>Resistência à tração na flexão (NBR 13279) - [MPa]</b>	4,4	2,1	1,4	4,1	1,7	1,0
<b>Classificação Resistência à tração na flexão (NBR 13281)</b>	R6	R3	R2	R6	R3	R1

### 5.1.3 – Caracterização dos poros - Porosimetria por intrusão de mercúrio e Superfície Específica BET

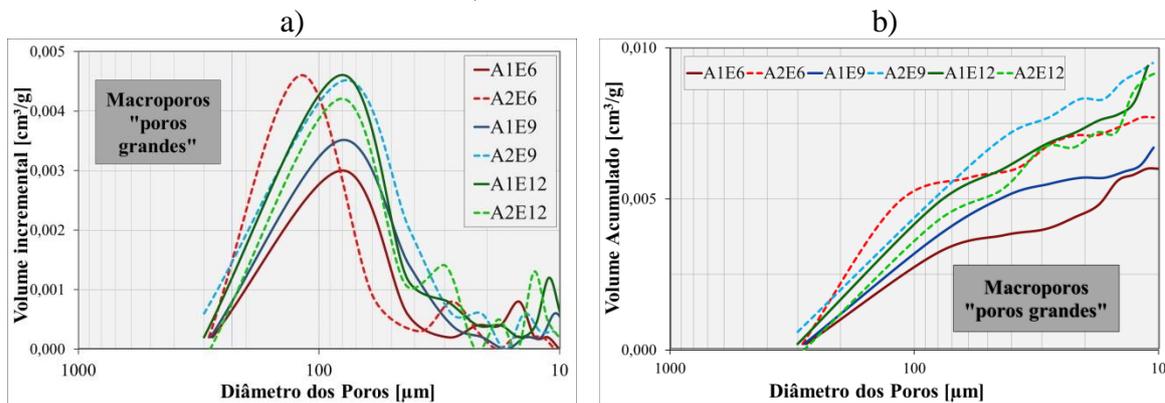
A caracterização dos poros foi realizada por meio de duas técnicas: a porosimetria por intrusão de mercúrio e a dessorção de gás Nitrogênio. Com os resultados obtidos pela porosimetria por intrusão de mercúrio é possível caracterizar o diâmetro dos poros e associando-os ao volume de mercúrio intrudido. A Figura 5.3 apresenta o diagrama de dimensão dos poros em relação ao volume incremental de mercúrio intrudido.

Figura 5.3 - Distribuição incremental de volume de poros



Para todas as argamassas percebe-se a presença de duas faixas de dimensão de diâmetro dos poros com grande volume de mercúrio intrudido. Dentro dessas faixas, as argamassas são diferentes entre si em relação ao volume de poros e ao diâmetro de maior volume. Entre 50  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$  é observado um volume expressivo de poro (poros grandes) (Figura 5.4-a), no entanto, o intervalo de diâmetros com maior volume de poros está entre 5,0 e 0,1  $\mu\text{m}$  (poros capilares).

Figura 5.4 - Detalhe da distribuição dos poros macroporos “poros grandes”. a) volume incremental b) volume acumulado

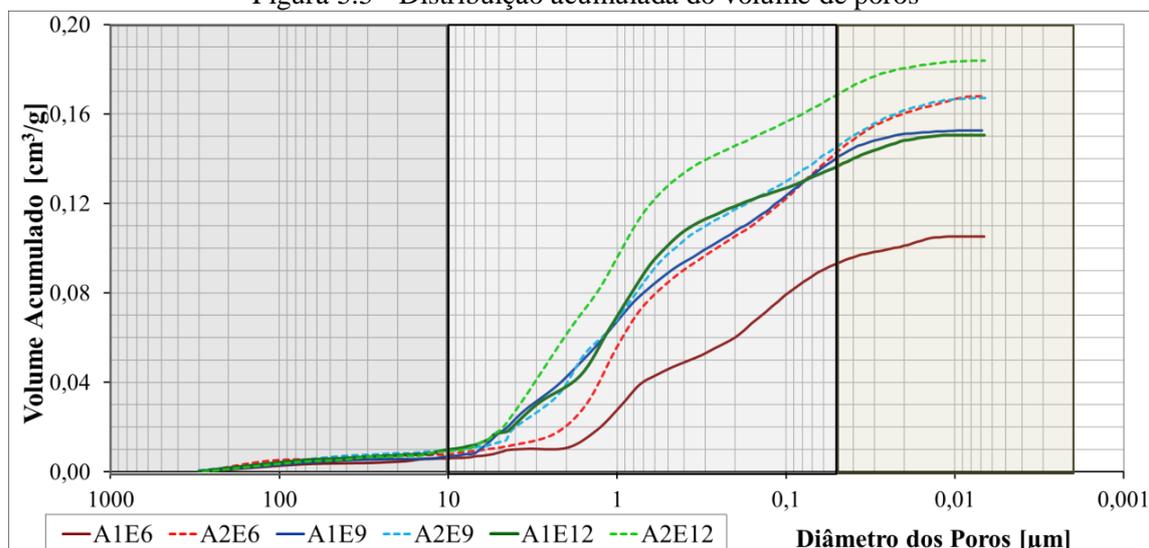


Em geral, percebe-se que nas argamassas E6 o diâmetro com maior volume tem menores dimensões: 0,9  $\mu\text{m}$  e 1,0  $\mu\text{m}$ , respectivamente nas argamassas A1E6 e A2E6. Os picos das argamassas E9 são menores (menos volume) comparadas às argamassas E12. Nas argamassas E9 e E12 observa-se ainda a presença de dois picos de diâmetros distintos o primeiro em torno de 1,0  $\mu\text{m}$  e o segundo de aproximadamente 2,0  $\mu\text{m}$ .

Na Figura 5.5 está apresentada a distribuição acumulada do volume de poros. Por meio do volume acumulado de poros nota-se a relação entre a porosidade e o parâmetro “E” nas misturas estudadas. O menor valor de volume de poros foi observado na argamassa A1E6, em torno de 0,10 cm<sup>3</sup>/g. Já a argamassa A2E12 apresentou o maior valor de volume intrudido acumulado, aproximadamente 0,18 cm<sup>3</sup>/g.

Outra diferença evidenciada neste gráfico diz respeito à estrutura porosa das argamassas A1 e A2. As argamassas com areia A2 são mais porosas que as argamassas produzidas com a areia A1, para um mesmo teor de aglomerantes. Nas argamassas E6, o maior volume de poros é observado em A2E6, no entanto, a alteração no diâmetro de maior volume é muito pequena entre as argamassas A1E6 e A2E6. Comportamento semelhante foi notado na distribuição e volume de poros das argamassas A1E9 e A2E9.

Figura 5.5 - Distribuição acumulada do volume de poros



Já as argamassas E12 se diferem tanto na distribuição do tamanho dos poros quanto no volume dos mesmos. A argamassa A1E12 tem diâmetro de maior volume de 1,1μm, enquanto a argamassa A2E12, além de maior volume acumulado, possui diâmetro de maior volume de 2 μm.

A Tabela 5.4 reúne as informações sobre a caracterização da estrutura porosa das argamassas. O diâmetro médio calculado, semelhantemente ao diâmetro de maior volume, aumenta com a diminuição do teor de aglomerantes. Para as demais características, existe uma diferença clara entre as argamassas E6 e as demais (E9 e E12), mas essa distinção não é tão evidente entre as misturas E9 e E12.

A área lateral dos poros é calculada assumindo os poros como cilíndricos. Como se trata de uma razão entre o volume e o diâmetro, menores diâmetros e/ou maiores volumes são responsáveis por aumentar o resultado do cálculo da área lateral. Em geral, observa-se que as argamassas A1 apresentaram menor área lateral, comparadas às argamassas A2. Além disso, a área aumenta com o aumento do teor de aglomerantes nas argamassas.

Tabela 5.4 - Dados da caracterização dos poros

	<b>A1E6</b>	<b>A1E9</b>	<b>A1E12</b>	<b>A2E6</b>	<b>A2E9</b>	<b>A2E12</b>
<b>Diâmetro Crítico [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	2,0	7,0	8,0	2,5	5,0	8,0
<b>Diâmetro de maior volume [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,9	2,0	1,1	1,0	1,7	2,0
<b>Diâmetro médio [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	0,3	0,8	0,9	0,55	0,7	1,1
<b>Volume total de poros [<math>\text{cm}^3/\text{g}</math>]</b>	0,1052	0,1526	0,1505	0,1679	0,1671	0,1838
<b>Volume de mesoporos [<math>\text{cm}^3/\text{g}</math>]</b>	0,0123	0,0135	0,0150	0,0251	0,0225	0,0154
<b>Mesoporos [% do total de poros]</b>	12%	9%	10%	15%	13%	8%
<b>Volume de macroporos [<math>\text{cm}^3/\text{g}</math>]</b>	0,0929	0,1391	0,1355	0,1404	0,1446	0,1684
<b>Macroporos [% do total de poros]</b>	88%	91%	90%	85%	87%	92%
<b>Volume de “poros grandes” [<math>\text{cm}^3/\text{g}</math>]</b>	0,006	0,007	0,009	0,008	0,010	0,009
<b>Volume de poros capilares [<math>\text{cm}^3/\text{g}</math>]</b>	0,087	0,132	0,126	0,135	0,135	0,158
<b>Área lateral dos poros [<math>\text{m}^2/\text{g}</math>]</b>	3,87	3,77	3,54	7,02	5,65	4,19
<b>Superfície específica (BET) - [<math>\text{m}^2/\text{g}</math>]</b>	1,03	0,45	0,37	0,93	0,46	0,49

Mais especificamente, a argamassa A1E6 - com menor diâmetro de maior volume, mas menor volume de poros - possui maior área lateral, comparada à A1E9 e à A1E12. Entre essas últimas, percebe-se que o volume total de poros é muito semelhante. Porém o menor diâmetro médio de A1E9 pode ser utilizado para explicar sua maior área lateral.

Nas argamassas A2, o maior volume de poros tem como consequência o aumento da área lateral, comparadas ao A1. A argamassa A2E6 é a mistura com maior porcentagem de mesoporos, e possui estrutura porosa mais refinada que as argamassas A2E9 e A2E12. A área lateral dos poros da argamassa A2E6 é a maior calculada dentre as argamassas.

No outro extremo, a argamassa A2E12 possui o maior volume de poros, porém a dimensão do diâmetro médio é a maior entre as argamassas. Dessa forma, a área lateral desta argamassa é superior a todas as áreas laterais das argamassas A1 (devido ao volume de poros), mas é sensivelmente menor que o valor calculado para a argamassa A2E6, provavelmente influenciado pela dimensão dos poros.

A superfície específica calculada no ensaio de dessorção de nitrogênio mede a área superficial de microporos e parte dos mesoporos (até 0,03  $\mu\text{m}$ ). Os resultados apresentados permitem inferir que as argamassas com maior teor de aglomerante são constituídas de maior volume de poros menores e, em consequência, maior superfície específica. Nas argamassas produzidas com a areia A1, é possível notar esse comportamento nas três faixas de teor de aglomerante por meio da alteração da superfície específica. Entre A1E6 e A1E9 a diferença no volume de poros total é grande, e os diâmetros que caracterizam a amostra (crítico, de maior volume e médio) são muito menores em A1E6 do que em A1E9.

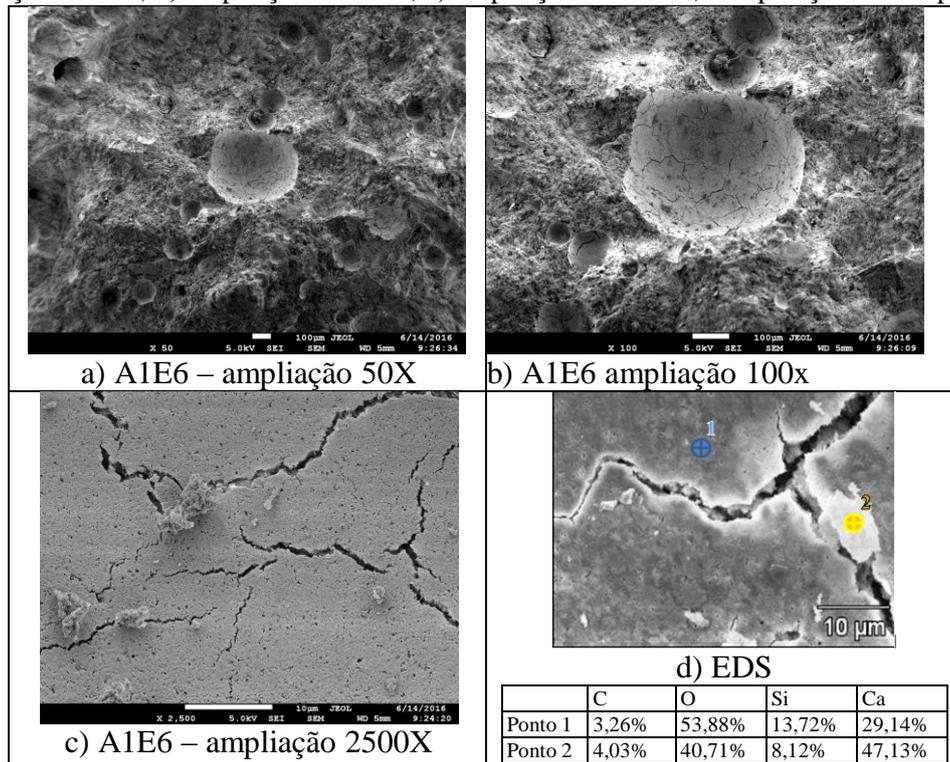
Já para as argamassas A2, a mudança expressiva na distribuição do tamanho dos poros para uma pequena alteração no volume total é percebida na diferença da superfície específica de A2E6 e A2E9. Semelhante ao observado em A1 entende-se que a maior superfície é causada pela maior proporção de poros pequenos. Essa relação, no entanto, não pode ser usada para caracterizar a argamassa A2E12. Apesar de apresentar o maior volume total de poros e menor volume de mesoporos, ela pouco se difere da argamassa A2E9 quanto à superfície específica.

#### **5.1.4 – Caracterização dos poros – Microscopia eletrônica de varredura**

Na Figura 5.6 estão apresentadas algumas imagens dos poros da argamassa A1E6 obtida pelo MEV. Optou-se por realizar as ampliações em poros de maior dimensão (“poros grandes”), de formato esférico. Essa opção reflete o fato desses poros estarem presentes em todas as misturas estudadas. Além disso, em menores magnitudes é possível observar as distribuições das dimensões dos poros na matriz de aglomerantes e as modificações morfológicas na matriz.

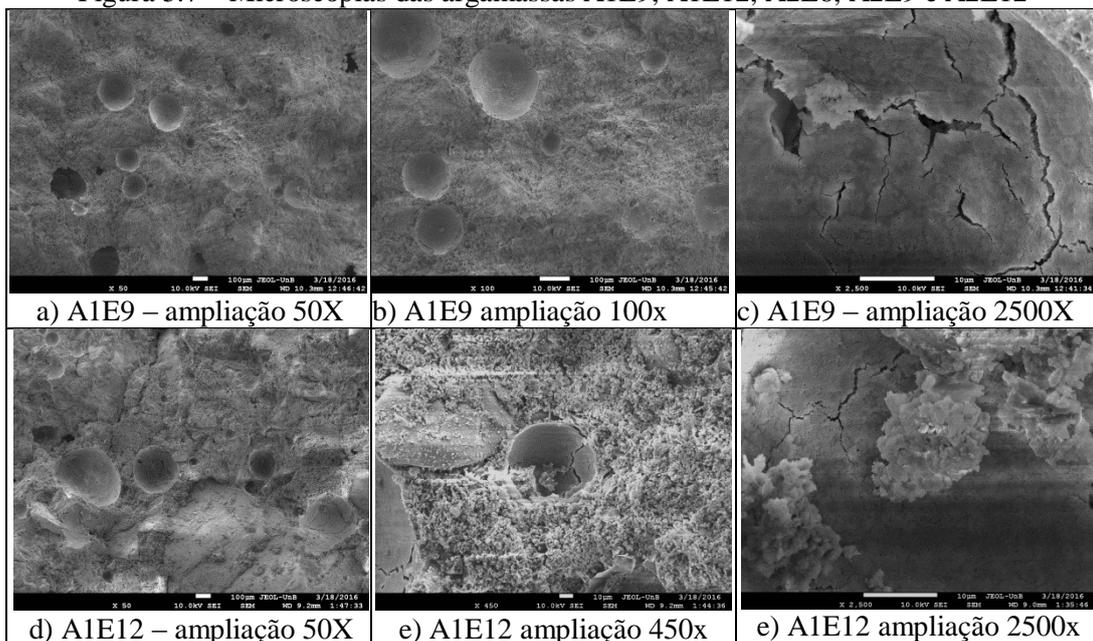
Na seção analisada da argamassa A1E6, uma vez que não foi observado nenhum agregado, supõe-se que a pasta da mistura foi suficiente para recobrir os agregados, indicando uma significativa quantidade de pasta de aglomerantes. Percebe-se para essa argamassa que a composição da matriz consiste em Carbono, Oxigênio, Cálcio e Silício – elementos típicos dos produtos hidratados do cimento e cal. Por se tratarem de argamassas com composição química semelhante, não foram realizadas caracterização química de produtos hidratados nas demais argamassas.

Figura 5.6 – Microscopia eletrônica de varredura por elétrons secundários da argamassa A1E6. a) ampliação de 50x; b) ampliação de 100x; c) ampliação de 2500x; composição obtida por EDS

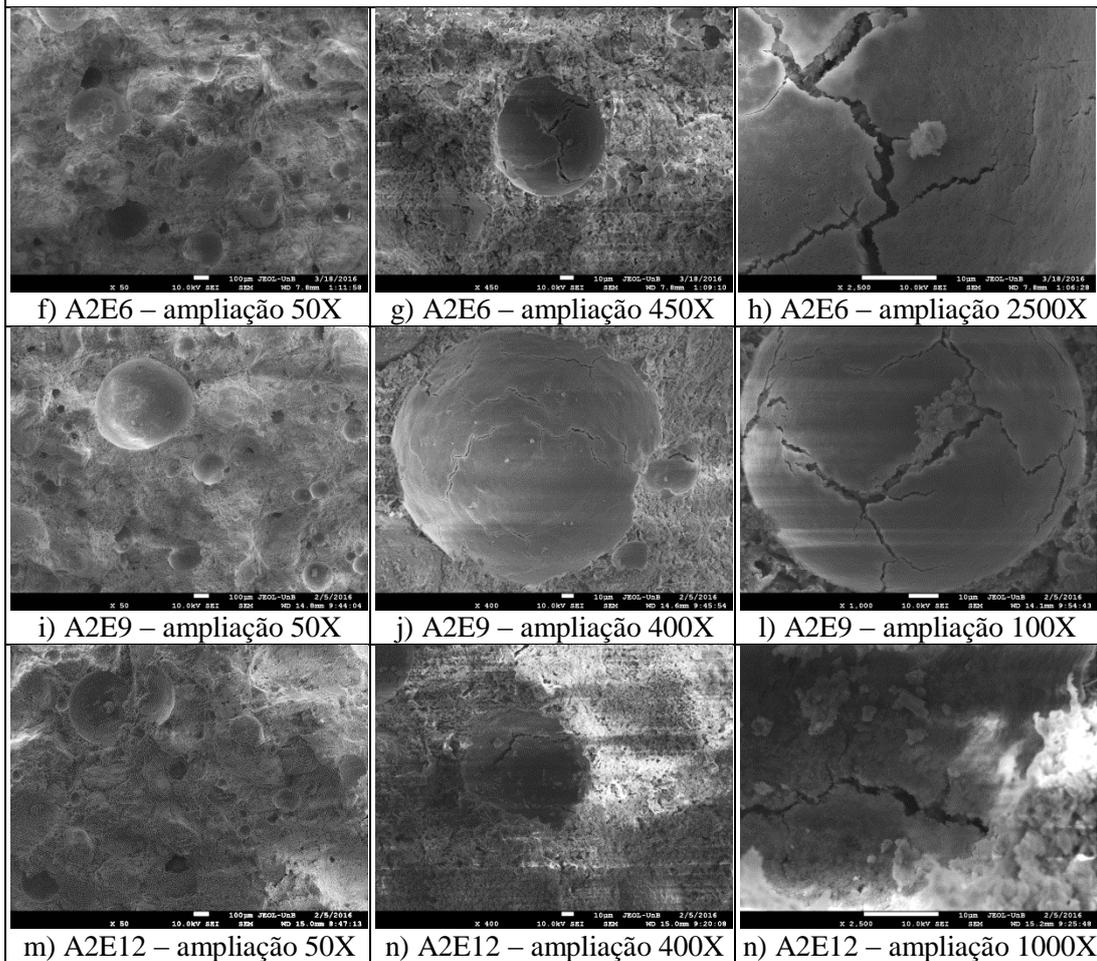


Na Figura 5.7 estão apresentadas as microscopias das demais argamassas. Na medida em que se diminui a quantidade de aglomerantes (de E6 para E12), observa-se maior quantidade de agregados na matriz uma vez que a pasta se torna insuficiente para preencher os vazios dos agregados. Nota-se ainda que nas argamassas A2 a quantidade de poros (de diversos tamanhos) é maior quando comparada às argamassas A1.

Figura 5.7 – Microscopias das argamassas A1E9, A1E12, A2E6, A2E9 e A2E12



Continuação Figura 5.7 – Microscopias das argamassas A1E9, A1E12, A2E6, A2E9 e A2E12



## 5.2 – COMPORTAMENTO QUANTO AO TRANSPORTE DE ÁGUA

O comportamento quanto ao transporte de água das argamassas se refere ao desempenho das argamassas na presença de água no estado de vapor ou no estado líquido, durante o processo de molhagem e no processo de secagem.

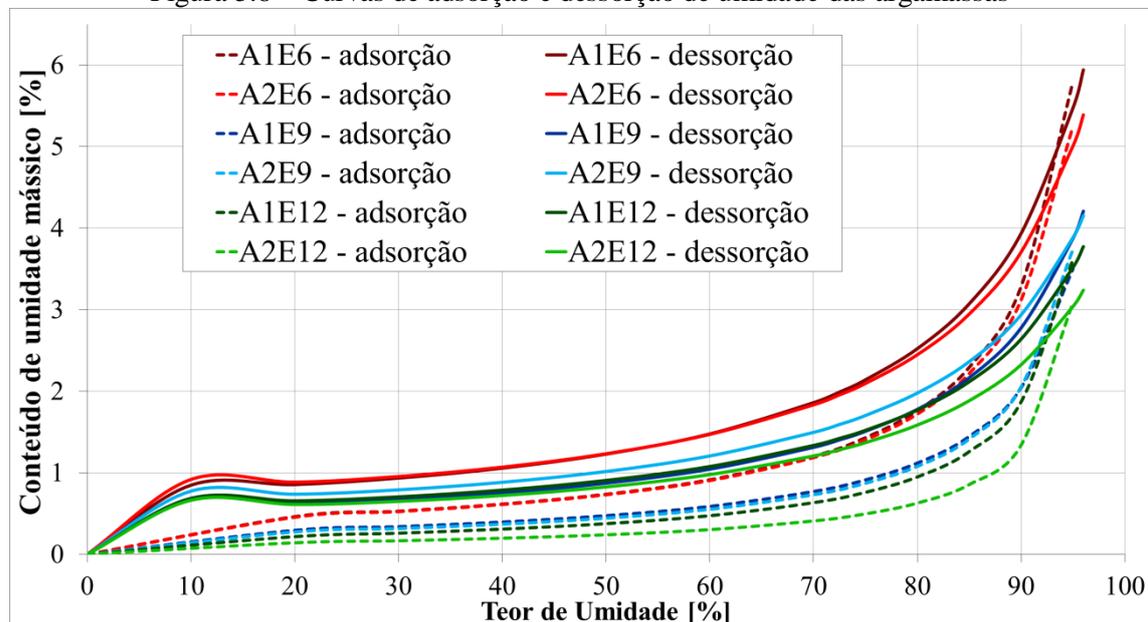
### 5.2.1 – Comportamento higroscópico

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade são representadas agrupadas na Figura 5.8. Conforme indicado na seção 4.7.2.5, o ajuste dos pontos experimentais foi feito através do modelo GAB. A curva do modelo é considerada confiável, mas apresentou alguns problemas de ajuste.

Nas umidades mais baixas, as curvas de dessorção exibem uma inflexão que não deve ser considerada para efeitos de comportamento. Muito embora o ensaio tenha sido realizado de

acordo com as recomendações prescritivas, é provável que este comportamento anômalo seja decorrente de alguma variação de temperatura e umidade ocorrida durante o ensaio, inerente à técnica e relatado por outras pesquisas como Janz (2000) e Issaadi et al. (2015).

Figura 5.8 – Curvas de adsorção e dessorção de umidade das argamassas

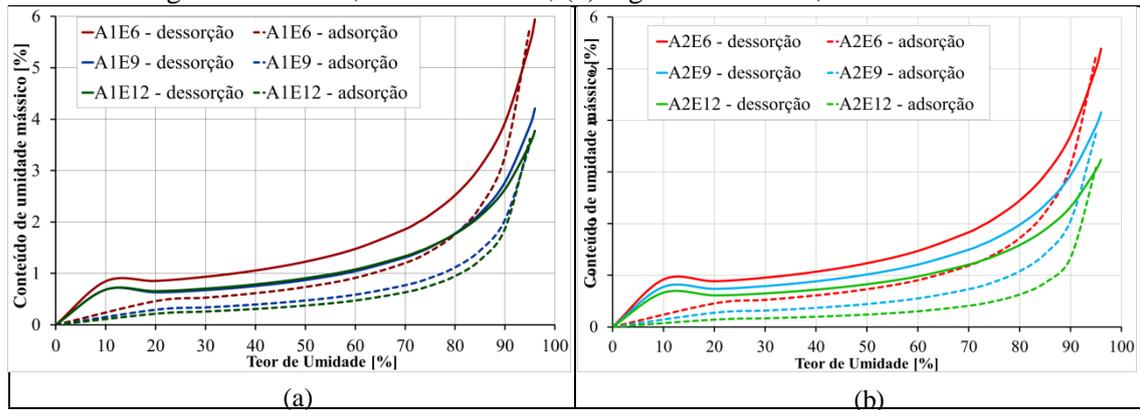


De maneira geral, pode-se dizer que as curvas de adsorção são mais adequadas para representar o fenômeno do que as curvas de dessorção, pois apresentam o trecho de umidade elevada (maiores que 0,9) mais vertical. Ou seja, mais similar ao comportamento esperado em uma curva higroscópica onde, em elevada umidade, ocorre o aumento brusco do conteúdo de umidade mássico com pequena variação da umidade relativa.

Na Figura 5.9 estão representadas as isotermas de todas as argamassas, agrupadas por agregado (A1 e A2) para melhor avaliar a influência do teor de aglomerantes. Observa-se que o conteúdo de umidade é maior nas argamassas E6. Em A1E6, o maior conteúdo de umidade mensurado foi em torno de 6%. Já na argamassa A2E6, em umidades elevadas a porcentagem de umidade medida foi em torno de 5,5%.

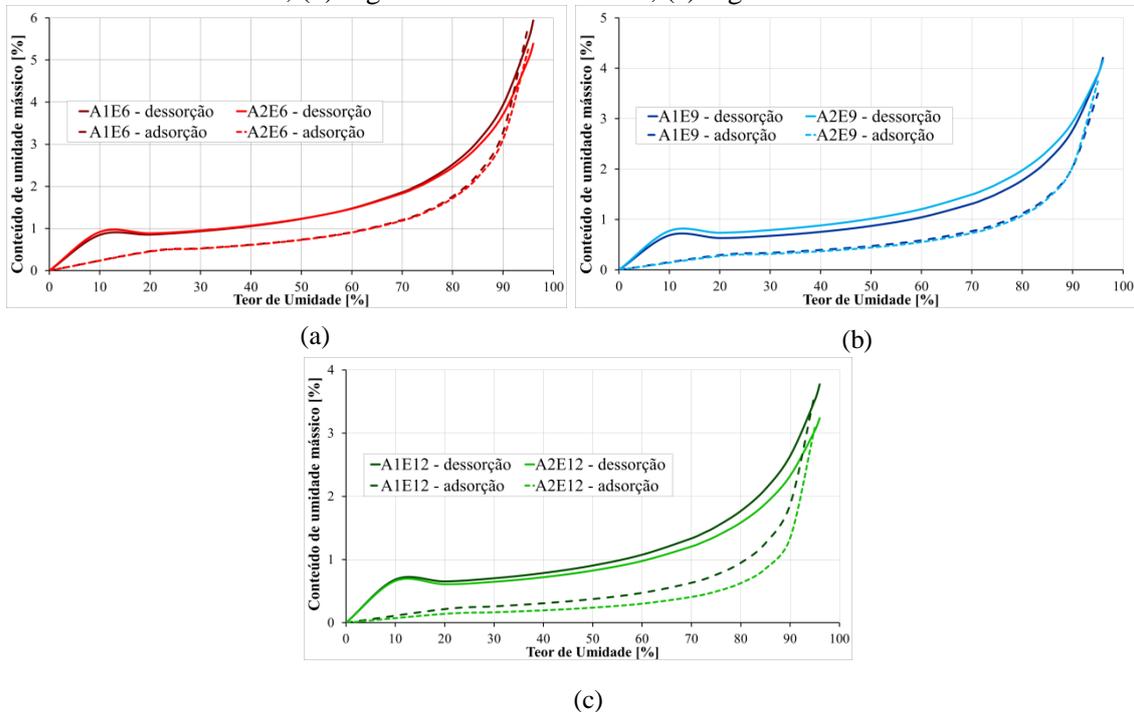
A diferença entre o conteúdo mássico das argamassas E9 e das argamassas E12 é menos acentuada do que a notada entre as argamassas E6. Para esses teores de aglomerantes, a diferença entre o comportamento de A1E9 e A1E12 foi muito reduzida. Já para as argamassas A2E9 e A2E12, o conteúdo de umidade mássico se mostrou maior em A2E9 do que em A2E12 ao longo de todas as faixas de umidade.

Figura 5.9 – Avaliação da influencia do teor de aglomerante no comportamento higroscópico. (a) argamassas A1E6, A1E9 e A1E12; (b) argamassas A2E6, A2E9 e A2E12



Quanto à influência do agregado (Figura 5.10), observa-se que as argamassas A1E6 e A2E6 tem comportamento bastante semelhante. No entanto, à medida que se diminuiu o teor de aglomerantes, as argamassas de mesmo teor de aglomerantes apresentaram comportamentos ligeiramente distintos. Percebe-se para as argamassas A1E12 e A2E12, que a argamassa com areia A1 é mais favorável à adsorção e desorção de umidade (maior conteúdo de umidade) do que a argamassa com areia A2.

Figura 5.10 – Avaliação da influencia do agregado no comportamento higroscópico. (a) argamassas A1E6 e A2E6; (b) argamassas A1E9 e A2E9; (c) argamassas A1E12 e A2E12



### 5.2.1.1 – Curva de sucção - WP4C

As curvas de sucção de água obtidas com o equipamento WP4C foram comparadas às isotermas de desorção. Conforme elucidado na seção 4.7.2.6, o principal objetivo é

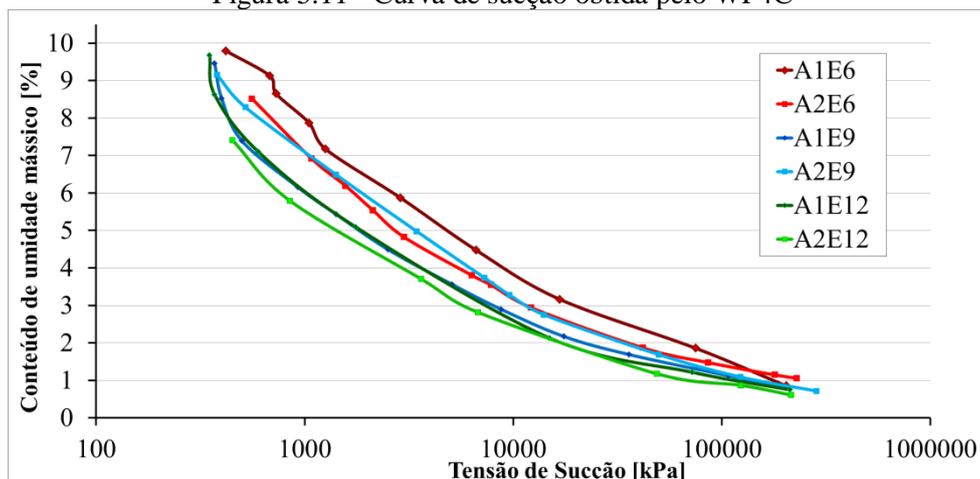
validar a técnica WP4C como alternativa às isotermas de solução salina. Para comparar as duas técnicas, os teores de umidade medidos nos recipientes com soluções salinas durante o ensaio de dessorção foram convertidos em valores de pressão de sucção (Equação 4.11). Observando os valores apresentados na Tabela 5.5, nota-se que a sucção nas argamassas varia entre 6 000 kPa e 300 000 kPa para a faixa de umidade avaliada na determinação da curva isotérmica de dessorção.

Tabela 5.5 - Conversão dos teores de umidade das soluções salinas em sucção

Teor de umidade	0,07	0,25	0,54	0,58	0,74	0,81	0,87	0,93	0,96
Sucção [kPa]	359059	185037	83951	72854	41021	27953	19426	9799	6217

As curvas de sucção das argamassas, medidas na trajetória de secagem, estão apresentadas na Figura 5.11. Como se trata de dois ensaios que mensuram propriedades correlatas (umidade e sucção), seria esperado que as argamassas se agrupassem em três faixas como nas isotermas: de acordo com o teor de aglomerantes.

Figura 5.11 - Curva de sucção obtida pelo WP4C



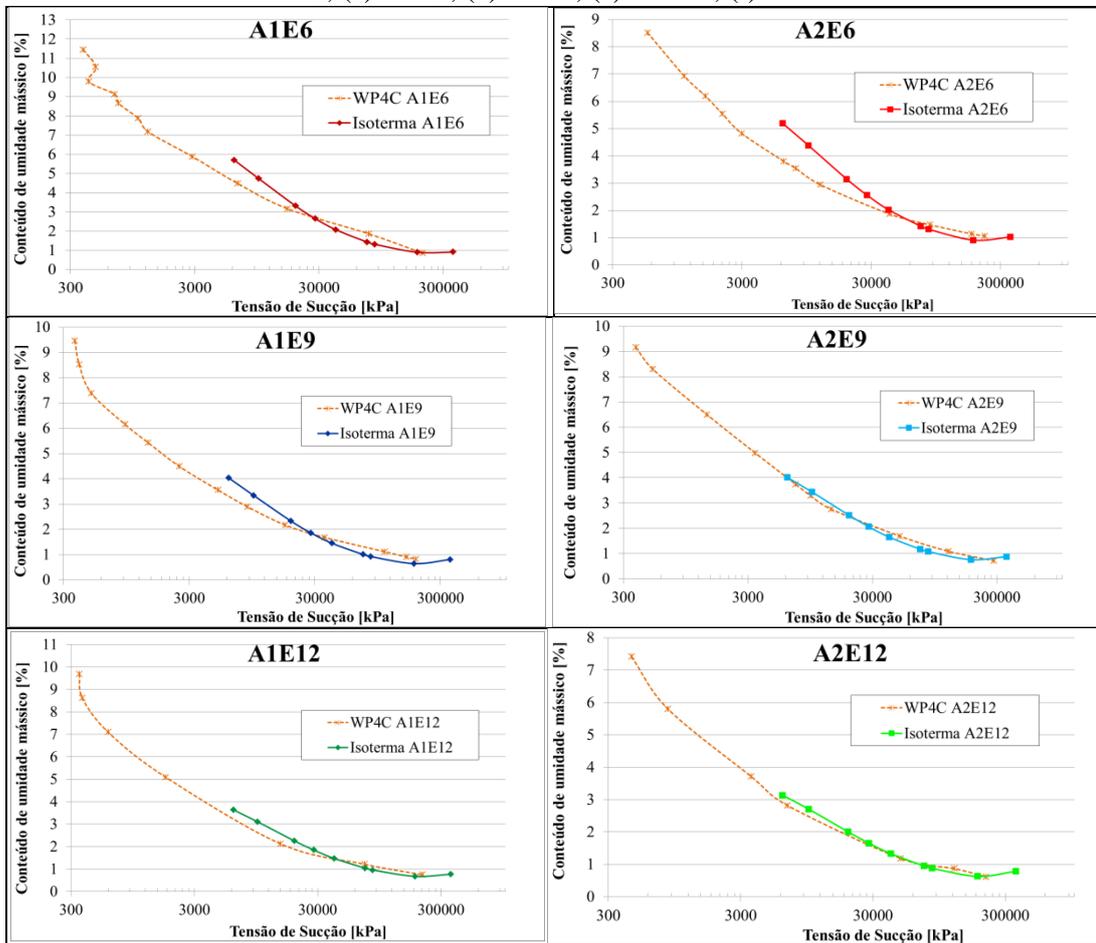
Observa-se que o conteúdo de umidade mássico medido na argamassa A1E6 foi maior para todos os pontos de sucção e, no outro extremo, na argamassa A2E12 foram observados os menores conteúdos de umidade. Análogo às isotermas, as curvas das argamassas A1E9 e A1E12 se mostraram muito semelhante. Porém, diferente do observado nas isotermas, o comportamento das argamassas A2E6 e A2E9 foi muito próximo.

A comparação das duas técnicas permite observar as semelhanças e diferenças das duas curvas, ambas representativas da secagem. Conforme apresentado nos gráficos da Figura 5.12, as curvas de conteúdo de umidade mássico versus a pressão, geradas pelo WP4C e

pelas isotermas são bastante semelhantes. Nota-se que para as maiores pressões (umidades mais baixas) os valores de conteúdo mássico encontrados nos dois métodos são próximos. Outro ponto observado foi que as curvas se ajustaram melhor nas argamassas com menor teor de aglomerante e maior relação água/ aglomerante (A2E9, A1E12 e A2E12).

De maneira geral, na faixa de menor pressão (maiores teores de umidade) houve maior discrepância entre os valores de conteúdo de umidade mássicos. Entende-se que essa diferença pode ter explicação na dificuldade de medida para elevadas umidades inerente ao método das soluções salinas (ISSAADI et al. 2015).

Figura 5.12 - Comparação das curvas de sucção de água e isotermas de dessorção. (a) A1E6, (b) A2E6, (c) A1E9, (d) A2E9, (e) A1E12, (f) A2E12

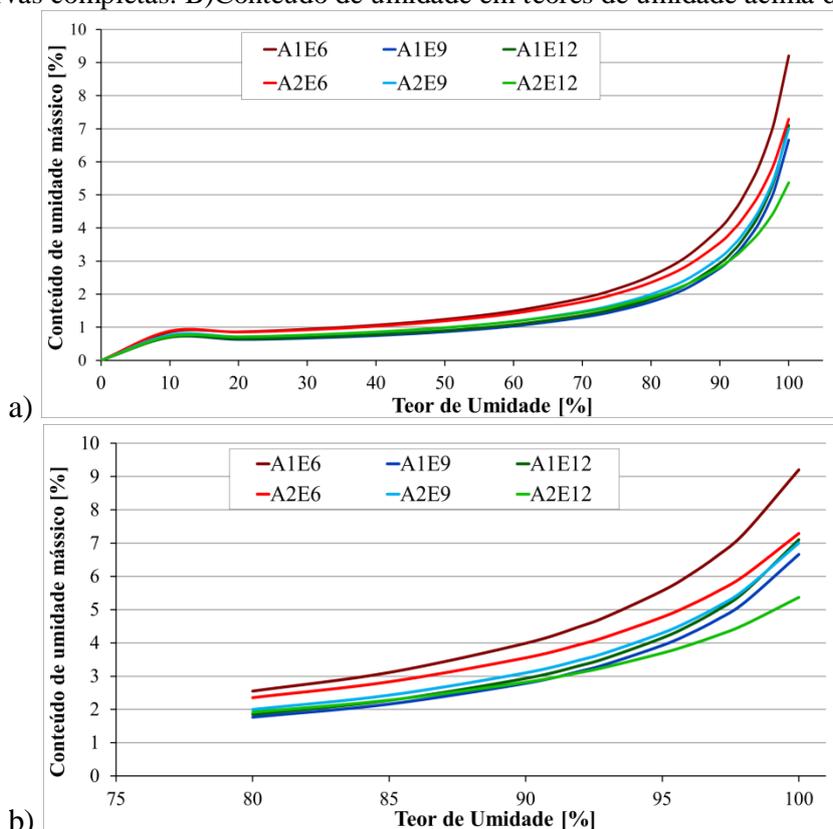


De toda forma, uma afirmação mais incisiva sobre a compatibilidade das duas técnicas deve ser feita com um maior número de amostras ensaiadas para cada argamassa. Ainda assim, o ensaio foi considerado válido em termos de resultados e utilizou-se as curvas de

sucção para completar as curvas higroscópicas obtidas pelas isothermas de dessorção, com solução salina.

Os valores de conteúdo de umidade alcançados em teores de umidades elevados (acima de 96%) foram utilizados para calcular novas curvas higroscópicas. Com os dados extraídos pelo ensaio com soluções salinas e pelas curvas de sucção, uma nova curva foi ajustada através do modelo GAB. As curvas completas são apresentadas na Figura 5.13-a.

Figura 5.13 - Curvas higroscópicas obtidas a partir das isothermas de solução salina e WP4C. a) curvas completas. B) Conteúdo de umidade em teores de umidade acima de 0,8



Observa-se nesse novo ajuste características semelhantes às notadas nas isothermas de dessorção por solução salina: as argamassas E6 apresentam maior conteúdo de umidade mássico que as demais argamassas. No outro extremo, na argamassa A2E12 o conteúdo de umidade mássico foi pequeno para todos os teores de umidade, mas é especialmente menor nos teores de umidade mais elevados. No trecho de umidades relativas mais elevadas (Figura 5.13b), nota-se que o conteúdo de umidade mássico de A1E6 é maior que o observado em A2E6. Conforme observado nas isothermas de solução salina, em A2E9 o conteúdo de umidade é mais elevado em relação à A1E9, e muito semelhante à A1E12 no trecho final.

## 5.2.2 – Absorção de água

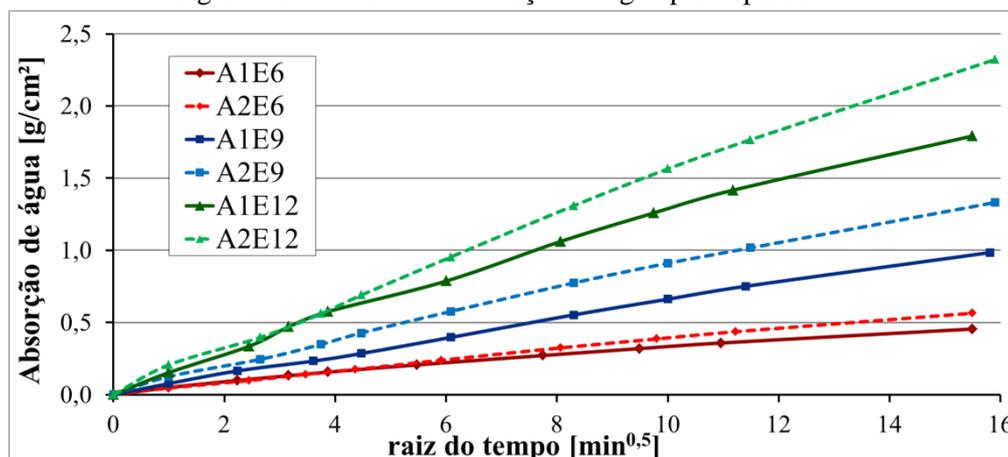
No ensaio de absorção de água notou-se que a absorvidade, bem como o coeficiente de capilaridade, das argamassas A2 é maior que os das argamassas A1 (Tabela 5.6). Nas curvas de absorção de água por capilaridade, apresentadas na Figura 5.14, observa-se o comportamento distinto das argamassas, permitindo classificá-las em três grupos distintos. A absorção de água foi maior com a diminuição da quantidade de aglomerantes na mistura. As argamassas que apresentaram menor absorção de água foram as da faixa “E6” (classificadas como C3), seguidas das argamassas “E9” (classificadas como C4 e C5) e das argamassas “E12” (classificadas como C6).

Tabela 5.6 - Características de absorção de água das argamassas

	A1E6	A1E9	A1E12	A2E6	A2E9	A2E12
<b>Coefficiente de capilaridade (NBR 15259 e EN 1015-18 ) [g/(dm<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>)]</b>	3,0	6,9	12,6	3,9	8,5	14,6
<b>Absortividade [mm.min<sup>-1/2</sup>]</b>	0,38	0,65	1,31	0,40	0,95	1,57
<b>Classificação Coeficiente capilaridade (NBR 13281)</b>	C3	C4	C6	C3	C5	C6

Quanto à influência da areia utilizada na mistura, as argamassas dosadas com a areia A1 (menos uniforme e com maior módulo de finura) absorveram menor quantidade de água ao longo do ensaio, quando comparadas às A2. Essa diferença é mais evidente entre as argamassas E9 e E12.

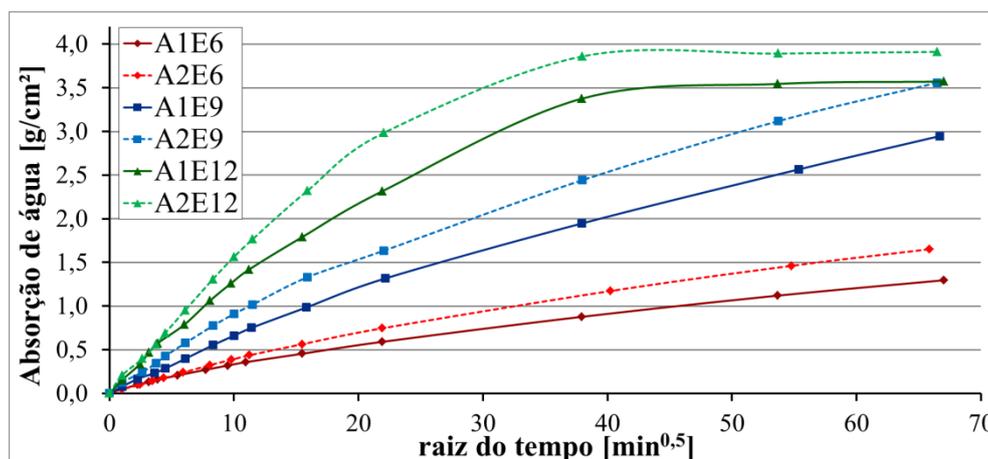
Figura 5.14 - Curvas de absorção de água por capilaridade



Os ensaios de capilaridade foram conduzidos até 72 horas e, ao fim deste período, somente as argamassas E12 atingiram o valor assintótico, ou seja, a maior quantidade de água absorvida por capilaridade (Figura 5.15).

Na Tabela 5.7 são apresentados os teores de água absorvidos por imersão, que variou entre 13% para as argamassas A1E6 e A2E6, e 17% na argamassa A2E12. Nota-se que a absorção é maior nas argamassas com menor teor de aglomerantes. À medida que se aumenta o teor de aglomerantes, observa-se que as argamassas produzidas com agregado A2 absorvem mais água.

Figura 5.15 - Absorção de água por capilaridade após 72 horas



Na Tabela 5.7 também são apresentados os teores de água volumétricos absorvidos ao fim de 72 horas do ensaio de capilaridade e após o ensaio de saturação por imersão, em kg/m<sup>3</sup>. Observa-se que para as argamassas E12 (com maior volume de poros e que atingiram o patamar de saturação por capilaridade) os dois valores de absorção de água se assemelham indicando que poucos poros não são preenchidos por sucção capilar. Entende-se que, teoricamente, a diferença do teor de saturação de água absorvida por imersão e por capilaridade é pouco expressiva comparada ao valor total absoluto. Assim, apenas para fins comparativos, seria possível estimar a duração da absorção de água até a saturação de um corpo de prova prismático, considerando como teor final a absorção de água por imersão.

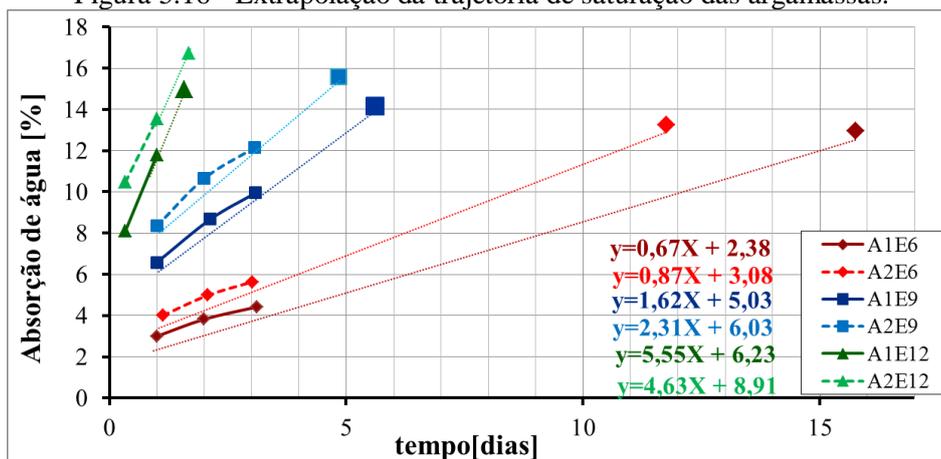
Tabela 5.7 - Características de saturação em água das argamassas

	A1E6	A1E9	A1E12	A2E6	A2E9	A2E12
A - absorção por imersão (NBR 9778) - [%]	13	14	15	13	16	17
Massa de água -72 horas de capilaridade [kg/m <sup>3</sup> ]	81,31	182,28	219,53	102,10	218,99	242,60
Massa de água saturação por imersão [kg/m <sup>3</sup> ]	238,36	259,04	263,39	240,07	280,45	294,95

Para estimar o tempo até a saturação foi utilizado a inclinação da reta de absorção por capilaridade entre a medida de 1 e 2 dias. Esse período foi escolhido mediante observação da variação na velocidade de absorção das argamassas. Para as argamassas A1E12 e A2E12 foi utilizado o trecho entre 8 horas e 1 dia de absorção por ser mais representativo nessas argamassas. É importante ressaltar que não se trata da representação do comportamento real do material composto de duas fases com velocidades de absorção bastante distintas. Nesse caso, considera-se uma única fase de velocidade constante até a saturação.

Feita essa ressalva, essa extrapolação é apresentada a Figura 5.16 e permite diferenciar o comportamento das argamassas. As argamassas levam mais tempo até a saturação à medida que se aumenta o teor de aglomerantes e, como observado anteriormente, aumenta a quantidade de poros pequenos.

Figura 5.16 - Extrapolação da trajetória de saturação das argamassas.



Graficamente isso pode ser observado por meio da inclinação das retas que é maior em E12, seguido de E9 e por fim E6. As argamassas E12 atingem a saturação com menos de 48 horas, as E9 com 5 e 6 dias e A2E6 com quase 12 dias. Já a argamassa A1E6, com menor volume total de poros, levaria mais tempo para atingir a saturação: quase 16 dias.

### 5.2.3 – Permeabilidade ao vapor de água

Na Tabela 5.8 estão apresentados os resultados da caracterização quanto à permeabilidade ao vapor de água das argamassas. A partir dos resultados nota-se que a permeabilidade ao vapor foi maior à medida que o teor de aglomerantes foi reduzido. No entanto, a ordem de

grandeza da permeabilidade é muito próxima entre todas as argamassas. Os valores medidos variaram entre  $6,9 \times 10^{-12}$  e  $1,1 \times 10^{-11}$  [kg/(m.s.Pa)]. Os valores de Sd indicam que o uso dessas argamassas como revestimento equivale, em termos de permeabilidade, a adoção de uma camada de ar com espessura variando de 0,20 m à 0,36m barrando a passagem do vapor de água.

Tabela 5.8 - Parâmetros de permeabilidade ao vapor de água

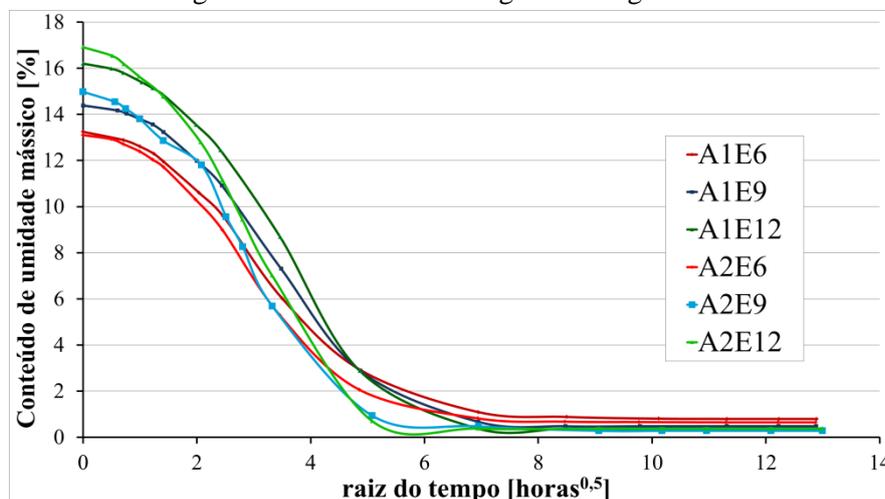
	A1E6	A1E9	A1E12	A2E6	A2E9	A2E12
$\delta$ - Permeabilidade ao vapor de água [(10 <sup>-12</sup> )kg/(m.s.Pa)]	7,0	7,9	12	8,0	10	12
Sd - Espessura de ar equivalente [m]	0,36	0,31	0,21	0,30	0,24	0,20
$\mu$ - fator de resistência à difusão do vapor de água	28	24	17	24	19	17

Outra maneira de expressar esses resultados é por meio do fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ). A resistência à passagem do vapor de água aumenta com o incremento da quantidade de aglomerantes. Nota-se também que as argamassas A2 tem menor resistência ao vapor de água nas faixas E6 e E9, comparadas às argamassas A1. A exceção foi observada nas argamassas A1E12 e A2E12 que apresentaram o mesmo comportamento quanto à permeabilidade ao vapor.

#### 5.2.4 – Secagem

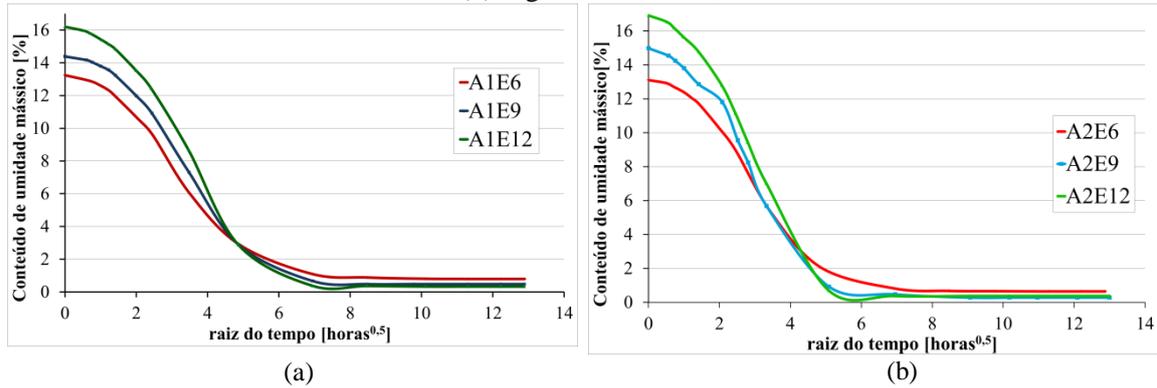
Ao se observar o valor inicial das curvas de secagem das argamassas (Figura 5.17), percebe-se que eles são muito semelhantes ao conteúdo de umidade mássico (teor de água) obtido por imersão (Tabela 5.7) foi semelhante para as argamassas. Isso indica que a condição inicial de ensaio reproduz o comportamento da argamassa na molhagem.

Figura 5.17 - Curva de Secagem das argamassas



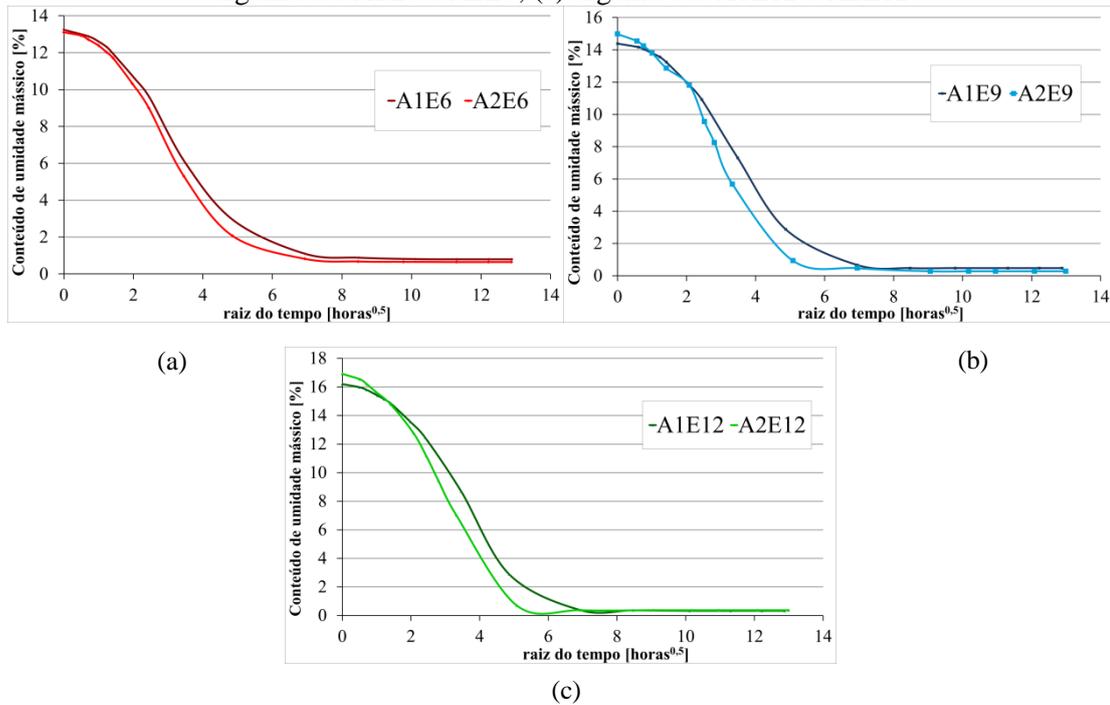
Graficamente se torna mais clara a observação da diferença de secagem entre as argamassas E6, E9 e E12 (Figura 5.18). As argamassas E9 e E12 começam o ensaio com conteúdo de umidade mássico mais elevado que as argamassas E6. No entanto, ao longo do ensaio as argamassas do grupo E6 perdem água mais lentamente. Ao final da secagem o conteúdo de água remanescente é mais alto para essas argamassas.

Figura 5.18 – Avaliação da influencia do teor de aglomerante na secagem. (a) argamassas A1E6, A1E9 e A1E12; (b) argamassas A2E6, A2E9 e A2E12



Já nas argamassas dos grupos E9 e E12, foi possível observar que além do teor de aglomerante o agregado utilizado foi determinante na secagem. As argamassas com agregado A1 secaram mais lentamente que aquelas com agregado A2 (Figura 5.19).

Figura 5.19 – Avaliação da influencia do agregado na secagem. (a) argamassas A1E6 e A2E6; (b) argamassas A1E9 e A2E9; (c) argamassas A1E12 e A2E12



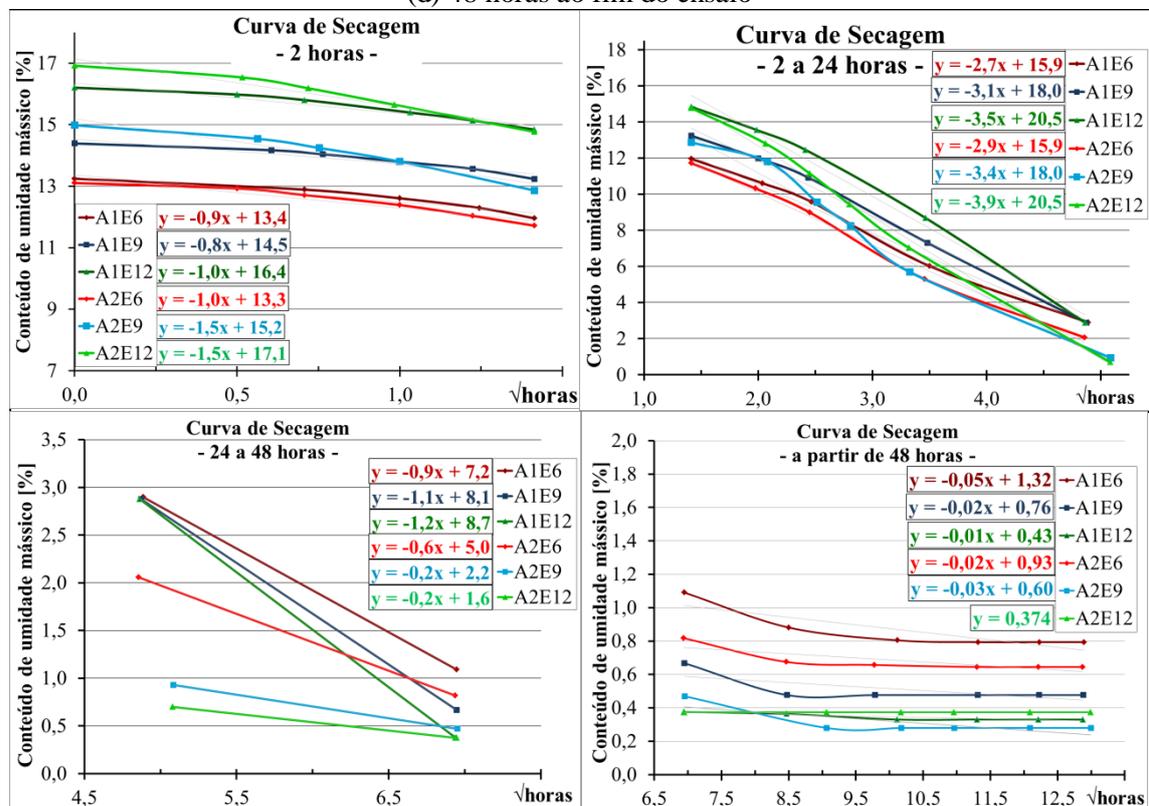
O índice de secagem foi calculado conforme indicado pela Equação 4.12 (Tabela 5.9) pode ser interpretado como uma facilidade de saída da água no estado líquido e vapor dos poros da argamassa. Observa-se que os menores valores de índice de secagem encontrados nas argamassas E12 indicam nesses sistemas maior facilidade de secagem. Já as argamassas E6 apresentaram os maiores índices de secagem. Em relação à areia utilizada, foi observado as argamassas A1 possuem maiores índices de secagem se comparadas àquelas de mesma quantidade de aglomerantes, porém produzidas com a areia mais uniforme A2.

Tabela 5.9 - Índice de secagem das argamassas

	A1E6	A1E9	A1E12	A2E6	A2E9	A2E12
<b>Is</b> - índice de Secagem	0,14	0,13	0,11	0,14	0,08	0,09

Para melhor avaliar a cinética de secagem das argamassas, as curvas de secagem foram divididas em trechos lineares a partir da observação da mudança de inclinação das mesmas. Nos gráficos da Figura 5.20 a velocidade de secagem das argamassas é indicada pelo coeficiente angular das linhas de tendência lineares adicionadas a cada argamassa.

Figura 5.20 – Cinética de secagem. (a) 2 horas; (b) de 2 horas às 24 horas; (c) 24 horas a 48 horas (d) 48 horas ao fim do ensaio



Nas duas primeiras horas a secagem é baixa e corresponde ao período no qual a água é trazida à superfície por capilaridade. As argamassas podem ser divididas em dois grupos de velocidade ligeiramente distintas. As argamassas A1E6, A1E9, A1E12 e A2E6 apresentam perda de água em torno de  $0,9\%/ \sqrt{h}$ ; e as argamassas A2E9 e A2E12  $1,5\%/ \sqrt{h}$ .

Em um segundo momento, a taxa de secagem aumenta bruscamente para todas as argamassas. As misturas E6 já nesta fase se diferem das demais e apresentam as menores taxas de secagem:  $2,7$  e  $2,9\%/ \sqrt{h}$ , para A1E6 e A2E6 respectivamente. A argamassa A2E12 ( $3,9\%/ \sqrt{h}$ ) apresentou nesta faixa a maior taxa de secagem, seguida das argamassas A2E9 e A1E12 de comportamento semelhante ( $3,4$  e  $3,5\%/ \sqrt{h}$ ). A argamassa A1E9 se manteve entre as primeiras e as últimas, apresentando taxa de secagem de ( $3,1\%/ \sqrt{h}$ ). Nesse intervalo de tempo as argamassas (para essa dimensão de amostra) perdem cerca de 80% do conteúdo de água absorvido, a frente úmida se encontra no interior do corpo de prova e a difusão de vapor se torna o processo de transporte dominante.

Após as 24 horas de ensaio, devido ao baixo conteúdo de umidade, a secagem diminui a velocidade. Esse período corresponde à remoção da água adsorvida, por difusão de vapor e difusão superficial. Nesta fase, ficou bastante evidente a influência do agregado na secagem. As argamassas A2E9 e A2E12 já se mostram basicamente estáveis com taxa de secagem muito baixa:  $0,2\%/ \sqrt{h}$ . As argamassas A1E9 e A1E12 apresentaram a maior taxa de secagem:  $1,1$  e  $1,2\%/ \sqrt{h}$ , respectivamente.

Por fim, após 48 horas do início da secagem as argamassas o conteúdo de umidade mássico se estabiliza atingindo o equilíbrio higroscópico. Esse valor residual aumenta com o refinamento da dimensão e interconectividade dos poros. Neste estágio, as argamassas E6 apresentam maior conteúdo de umidade seguidas da argamassa A1E9. As argamassas A2E9 e E12 apresentam conteúdos de umidade ainda mais baixos e muito semelhantes, em torno de  $0,4\%/ \sqrt{h}$ .

As taxas de secagem para cada período estão apresentadas na Tabela 5.10. Conforme descrito anteriormente, é possível observar que as argamassas A2E9 e A2E12 se diferem das demais por apresentarem maior taxa de secagem ao longo do ensaio e menores índices de secagem, uma vez que elas perdem água mais rápido que as demais. Em contra partida,

as argamassas com menor teor de água no início do ensaio A1E6 e A2E6, perdem água mais lentamente ao longo de todo o ensaio.

Tabela 5.10 - Taxa de secagem ao longo do ensaio [% massa/ $\sqrt{h}$ ]

	<b>A1E6</b>	<b>A1E9</b>	<b>A1E12</b>	<b>A2E6</b>	<b>A2E9</b>	<b>A2E12</b>
<b>0 - 2 horas</b>	0,9	0,8	1,0	1,0	1,6	1,5
<b>2 horas - 24 horas</b>	2,7	3,1	3,5	2,9	3,4	3,9
<b>24 horas - 48 horas</b>	0,9	1,1	1,2	0,6	0,2	0,2

### 5.3 – DISCUSSÃO

Neste capítulo foram apresentados os resultados dos ensaios de caracterização da estrutura e comportamento de argamassas distintas quanto ao teor de aglomerante e distribuição granulométrica do agregado. A caracterização do estado fresco das misturas permite afirmar que o método de dosagem escolhido foi eficaz. As argamassas dosadas com a areia A1 utilizaram mais cal e menos água para atingir a consistência desejada, comparadas com as argamassas dosadas com a areia A2.

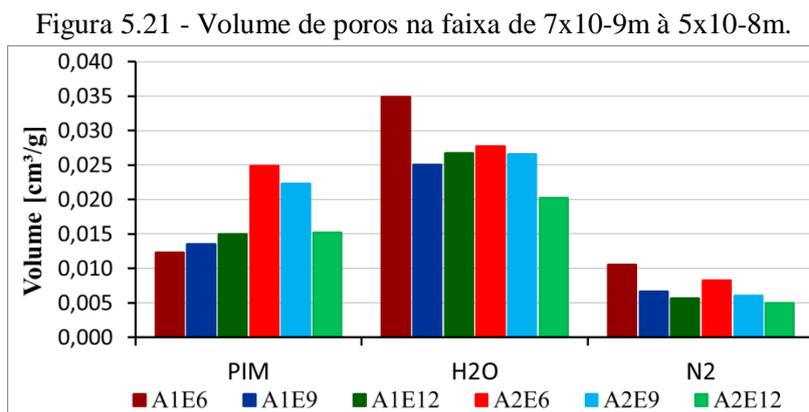
No estado endurecido, além da porosimetria por intrusão de mercúrio, a adsorção de nitrogênio e a dessorção de água (ou a adsorção) foram utilizadas como técnicas de porometria. Nesse último caso, a partir da equação de Kelvin-Laplace, se calcula o raio dos poros que estarão saturados em uma determinada umidade relativa do ar, conforme demonstrado no Capítulo 2, Equação 2.2.

Os métodos utilizados nas três técnicas são distintos e utilizam fluidos diferentes para obter medidas análogas. A adsorção de nitrogênio e a porosimetria por intrusão de mercúrio medem o volume de fluido nos poros a partir da aplicação de uma pressão externa. Já na dessorção de água o equivalente à pressão externa é a sucção nos poros que varia de acordo com a umidade. Em comum, as três técnicas caracterizam poros na faixa de  $7 \times 10^{-9} \text{m}$  à  $4 \times 10^{-8} \text{m}$ .

Na Figura 5.21 está apresentado o volume de poros dessa faixa obtidos pelos três ensaios. Na dessorção de nitrogênio, observa-se que os valores encontrados no ensaio são muito menores que os valores observados nas outras técnicas. Garci Juenger, Jennings (2001) ressalta que duas técnicas diferentes não fornecem resultados iguais, mas apesar da

discrepância de valores normalmente encontrados nesse ensaio, os dados obtidos nos dois ensaios são importantes e contribuem na análise global dos poros.

Ao contrário do observado por Paes (2004) e Lara (2003), os resultados da porosimetria por intrusão de mercúrio e dessorção de vapor de água não são convergentes para todas as misturas. De maneira geral, o volume de poros encontrado por dessorção de água é maior que o calculado na porosimetria por intrusão de mercúrio.



Além disso, para a faixa de poros analisada nessa comparação, seria esperado um aumento no volume de poros com o aumento do teor de aglomerantes apontando para o aumento de poros finos na matriz porosa. No entanto, essa relação somente se mostrou verdadeira para as argamassas dosadas com a areia A2. Na caracterização das argamassas A1 por PIM, foi observado um volume de poros crescente com a diminuição do teor de aglomerantes.

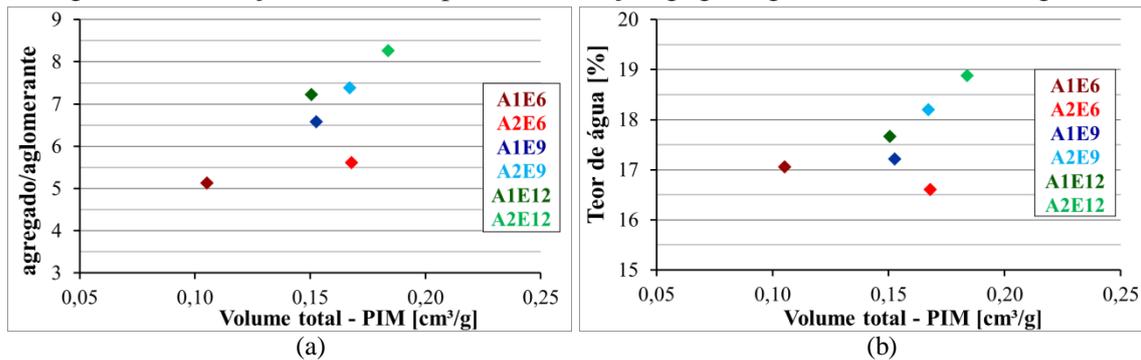
Na caracterização por dessorção de água, o maior volume de poros das argamassas A1 foi observado na argamassa A1E6, seguido da argamassa A1E12 e por último da argamassa A1E9. Isso pode ser decorrente do fato das argamassas A1E6 e A1E12 apresentarem maior proporção de mesoporos, comparadas à A1E9 (Tabela 5.4).

Para conclusões mais detalhadas sobre a distribuição dos poros, se faz necessário aprofundar no entendimento das técnicas e prerrogativas de cálculo, conforme apresentado em Sun; Scherer (2010), Zeng et al. (2012) e Kaufmann et al. (2009). Assim, optou-se por utilizar os resultados das porosimetrias por intrusão de mercúrio para representar os macroporos e mesoporos; e a superfície específica calculada a partir do ensaio de dessorção de nitrogênio para representar os microporos em conjunto com os mesoporos.

Ao se analisar o volume total de poros medidos pela porosimetria por intrusão de mercúrio (macroporos e mesoporos), observa-se que as argamassas A1 tem menor volume de poros que as argamassas A2 (Figura 5.22). Nas misturas E6, observa-se que apesar da pequena diferença no teor de água e na quantidade de aglomerante, as argamassas A1E6 e A2E6 possuem volume de poros muito distintos (0,1052 cm<sup>3</sup>/g e 0,1679 cm<sup>3</sup>/g, respectivamente).

Em contrapartida, as argamassas A1E9 e A1E12 também possuem teor de água e de aglomerantes muito próximos, mas para essas misturas observou-se um volume total de poros muito semelhantes. Essa observação indica a participação do agregado na formação da estrutura porosa. O teor de água e a relação agregado/aglomerantes influencia na formação da estrutura porosa, mas a utilização da areia A2, mais fina e mais uniforme, também altera a porosidade pois não favorece o empacotamento da mistura.

Figura 5.22 - Relação do volume de poros com a relação agregado/aglomerantes (a) e teor de água (b)

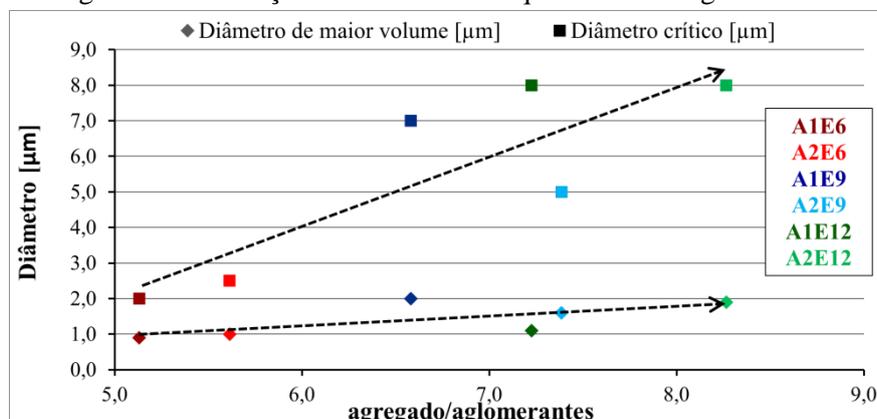


Também é possível notar um aumento do volume de poros à medida que a quantidade de aglomerantes diminui e o teor de água aumenta nas argamassas. Conforme apontado por Rato (2006) e Arandigoyen et al. (2005) a maior finura e uniformidade da areia e a quantidade de água contribuem para a formação dos poros maiores. Na Figura 5.23 nota-se que à medida que a quantidade de aglomerantes diminui, a diferença entre o diâmetro crítico e o diâmetro de maior volume aumenta, indicando que mais variada é a distribuição de poros da argamassa.

Quanto à avaliação dos ensaios de transporte de água, as técnicas adotadas se mostraram adequadas para serem aplicadas em argamassas e permitiram avaliar a influência das variáveis. No caso da isoterma de dessorção de água, a ordem de grandeza encontrada para os valores dos conteúdos de umidade mássicos é a mesma observada nos trabalhos com

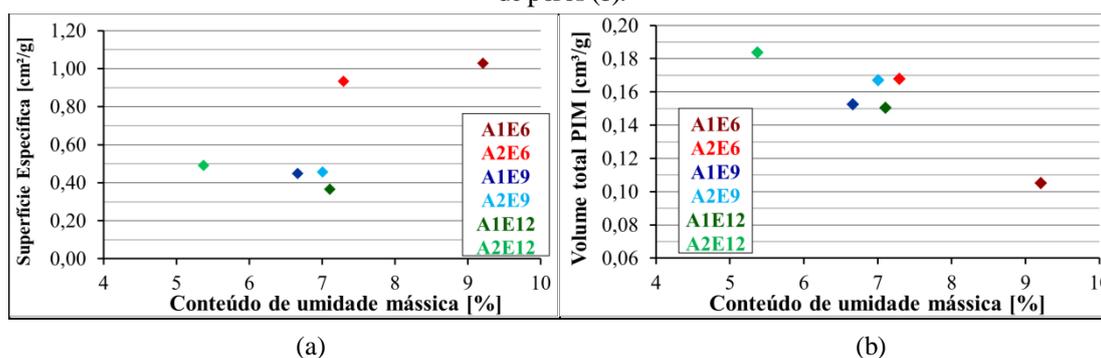
argamassas mistas de revestimento (de cimento, cal hidratada e areia) apresentados por Santos (2006), Mustelier (2008) e Andrade et al. (2015).

Figura 5.23 - Relação entre diâmetro e quantidade de aglomerantes



Não foi observada uma relação direta entre a estrutura porosa e o conteúdo de umidade mássico (Figura 5.24). O maior conteúdo de umidade mássico da argamassa A1E6 pode ser associado à maior superfície específica, apesar do menor volume de poros. Nota-se que as argamassas A1E9, A1E12 e A2E9 são semelhantes entre si em relação ao conteúdo de umidade, superfície específica e volume de poros. Comparadas à A1E6, essas argamassas são mais porosas, possuem menor superfície específica e menor conteúdo de umidade. Para as demais argamassas esse raciocínio não se aplica.

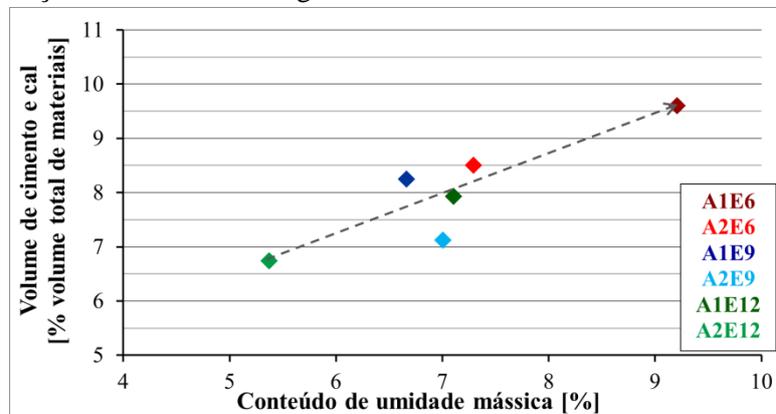
Figura 5.24 – Relação do conteúdo de umidade medido na dessorção com a superfície específica (a) e o volume de poros (b).



A argamassa A2E6 possui elevada superfície específica, mas volume de poros expressivamente maior que o notado em A1E6, apesar do menor conteúdo de umidade. No outro extremo, a argamassa A2E12 apresenta o menor conteúdo de umidade, o maior volume de poros, mas a superfície específica é bastante semelhante à observada nas argamassas E9.

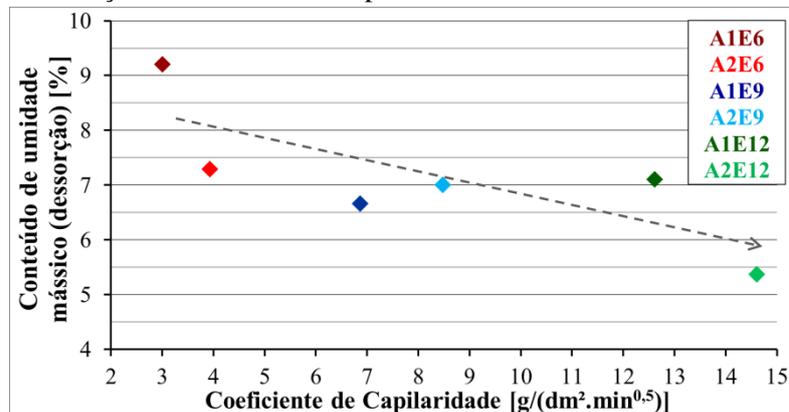
A observação da Figura 5.24 permite ainda inferir que o comportamento higroscópico das argamassas foi mais influenciado pelo teor de aglomerantes do que pelo tipo de agregado. De fato, tal como se nota na Figura 5.25, não há uma relação direta entre as duas características, principalmente para a argamassa E9, mas o teor de aglomerante parece mais expressivo na modificação do comportamento higroscópico das argamassas do que o tipo do agregado. Uma vez que a matriz de aglomerantes é a principal responsável pela formação de microporos e grande parte dos mesoporos, o aumento no teor de aglomerantes aumenta a superfície específica dos poros, por sua vez relevante na sorção de água (BAROGHEL-BOUNY, 2007).

Figura 5.25 – Relação entre volume de aglomerantes e conteúdo de umidade medido na dessorção



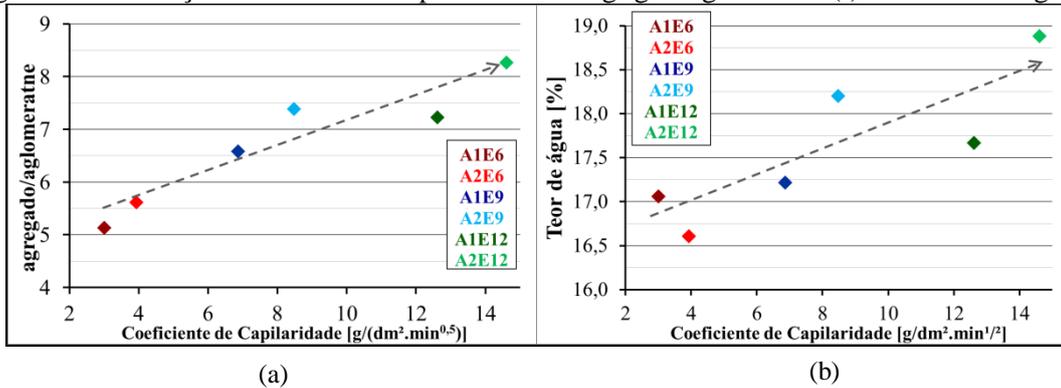
No transporte de água líquida observou-se comportamento semelhante ao demonstrado na dessorção de água (Figura 5.26). As argamassas dosadas com a areia A1 absorveram menor quantidade de água ao longo do ensaio, quando comparadas às argamassas A2, de mesmo teor de aglomerantes. Comportamento semelhante foi observado nas argamassas estudadas por Araújo Jr (2004) e Faria et al. (2007), em relação às características dos agregados.

Figura 5.26 – Relação entre coeficiente de capilaridade e conteúdo de umidade medido na dessorção



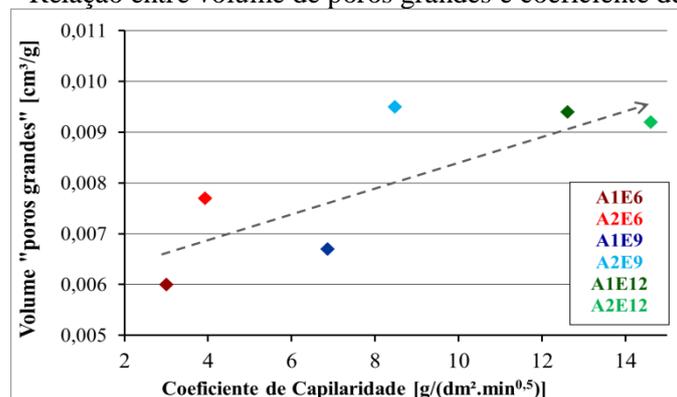
O teor de aglomerantes, portanto, também se mostrou mais influente no transporte de água por capilaridade do que o tipo do agregado. Como a diminuição do teor de aglomerantes é acompanhada do aumento da relação água/aglomerantes, entende-se que esse seja o motivo principal da diferença de massa de água absorvida ser mais influenciada pelo teor de aglomerantes do que pelo tipo de agregado (Figura 5.27).

Figura 5.27 – Relação do coeficiente de capilaridade e com agregado/aglomerantes (a) e com o teor de água (b)



Além disso, conforme observado por Cultrone et al. (2007) e Flores-Colen (2009), poros de maior dimensão favorecem a absorção de água por capilaridade (Figura 5.28). Com a diminuição da dimensão dos poros, a porcentagem de massa de água adsorvida é maior, porém a velocidade de absorção de água é menor. Ou seja, apesar de poros de menor dimensão favorecerem o aumento da pressão capilar, eles também oferecem maior resistência (atrito) à frente de água líquida.

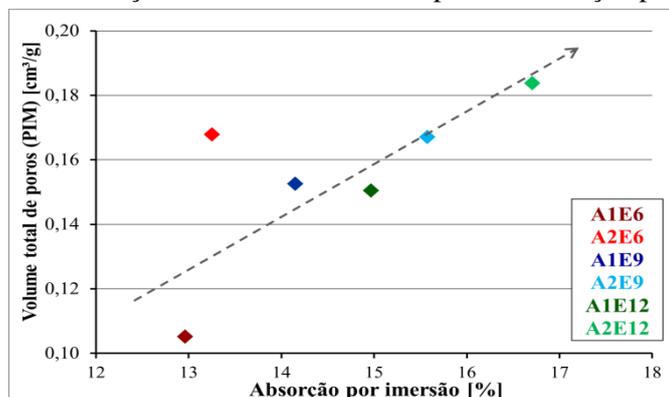
Figura 5.28 – Relação entre volume de poros grandes e coeficiente de capilaridade



O gráfico observado na Figura 5.28 reflete o aumento do volume de poros grandes nas argamassas, de E6 para E12. Percebe-se que nas argamassas que possuem maior volume de poros de maior dimensão, a velocidade de ascensão capilar (representada pela absorvidade) das mesmas é maior que nas demais argamassas. Assim, observa-se que o transporte de água depende não só do volume de poros, mas também da conectividade, dimensão e distribuição dos mesmos.

De maneira geral, a diferença entre as argamassas quanto ao volume de poros acessíveis à água (indicado pela porcentagem de água absorvida por imersão) é muito semelhante à observada pela porosimetria por intrusão de mercúrio (Figura 5.29). A exceção é observada nas argamassas de maior teor de aglomerantes, mais especificamente na argamassa A2E6.

Figura 5.29 – Relação entre volume total de poros e absorção por imersão



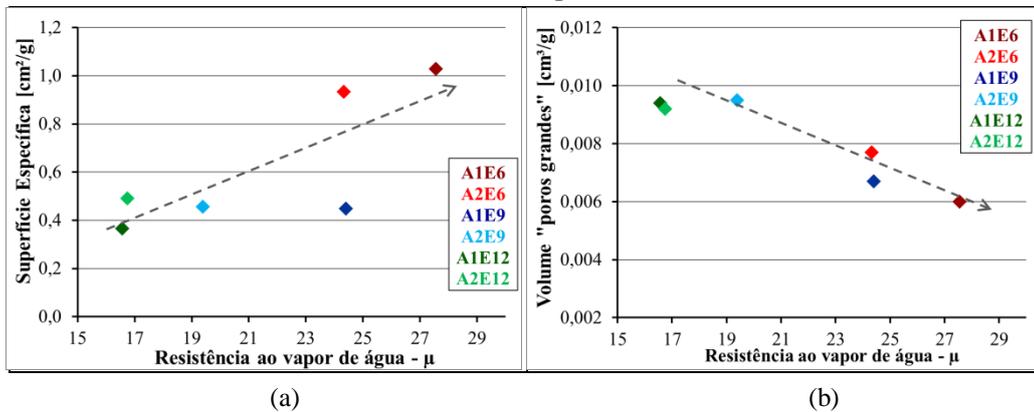
Quanto à permeabilidade ao vapor de água, não foram encontradas referências normativas para indicar a adequabilidade de uma argamassa mista como revestimento de uso geral não sendo possível indicar qual das argamassas seria mais adequada ao uso. A referência normativa encontrada na EN 998-1: 2010 trata apenas de recomendações para argamassas de restauro, fixando o valor máximo de resistência à difusão de vapor em 15. Apenas a título de referência, ressalta-se que nenhuma das argamassas seria adequada ao uso como material de restauro, de acordo com essa norma.

Percebe-se nessa avaliação a existência de dois grupos de argamassa com comportamentos distintos. O primeiro grupo, formado pelas argamassas A1E6, A2E6 e A1E9, apresentam coeficiente de resistência ao vapor de água maior que 24. No segundo grupo, composto pelas argamassas A1E12, A2E12 e A2E9, o fator de resistência ao vapor de água medido foi menor que 20. De maneira geral, os valores de resistência à difusão do vapor de água se enquadram na faixa apresentada por Freitas e Pinto (2000) para argamassas de cal e cimento, e nos valores utilizados por Zanoni (2015) para simular o comportamento higrotérmico de alvenarias.

Na umidade em que o ensaio foi realizado (70%), a condensação de água ocorre apenas nos poros de dimensão menor que  $0,0057\mu\text{m}$  (Lei de Kelvin-Laplace). Nos poros de maior dimensão tem-se apenas a camada de água adsorvida, favorecendo a difusão ao vapor de

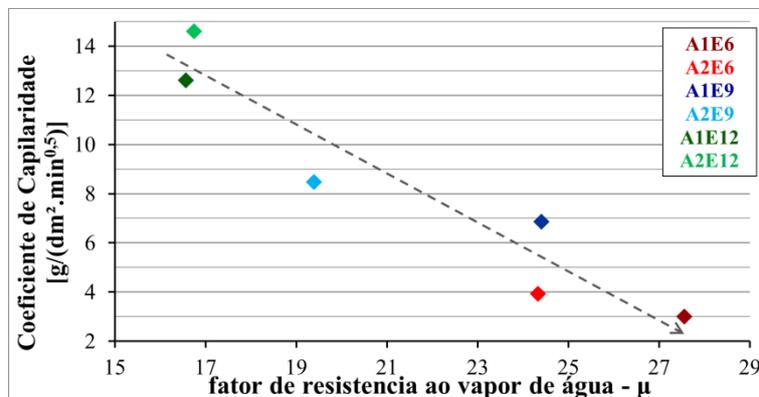
água. Por isso, quanto menor a quantidade de poros pequenos da argamassa, menor à resistência que a microestrutura oferece à difusão do vapor de água. Essa relação é observada na Figura 5.30 a partir da comparação com a superfície específica e com o volume de poros grandes. Quanto menor a superfície específica e maior o volume de poros grandes, menor a resistência à difusão do vapor de água medida na argamassa. Condizente ao verificado por Rato (2006) a difusão do vapor de água depende fortemente da porosidade e da conectividade da estrutura porosa.

Figura 5.30 – Relação entre a resistência à difusão do vapor de água com a superfície específica (a) e o volume de poros (b).



Constatou-se também que a difusão de vapor de água nas argamassas é bastante dependente do teor de aglomerantes. Além disso, conforme verificado Veiga (1998), uma menor permeabilidade à água líquida corresponde também uma menor permeabilidade ao vapor de água (Figura 5.31). Essa observação coincide com a relação de porosidade: poros maiores oferecem menor resistência à passagem da água no estado líquido e vapor.

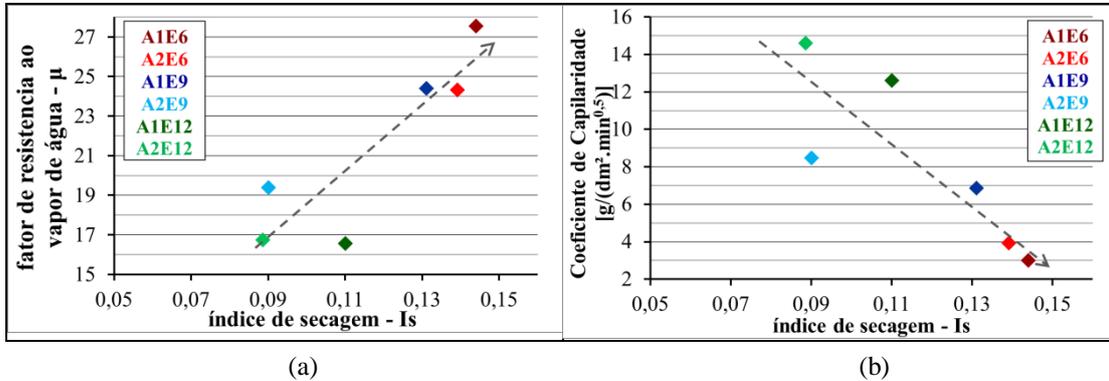
Figura 5.31 – Relação entre a resistência à difusão do vapor de água e o coeficiente de capilaridade



O comportamento das argamassas na secagem pode ser comparado com o observado na absorção de água e na permeabilidade ao vapor de água, pois a secagem engloba

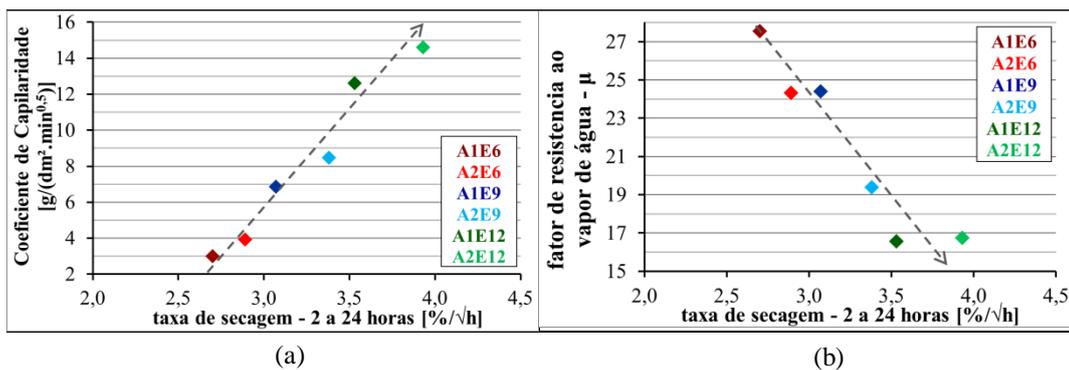
mecanismos de transporte de água líquida e vapor (Figura 5.32). Ou seja, a maior quantidade de poros pequenos nas argamassas retarda (e impede) a molhagem e a evaporação da água condensada nesses poros.

Figura 5.32 – Relação entre a secagem e difusão de vapor de água (a) capilaridade (b)



Mais especificamente, ao se comparar a taxa de secagem no trecho mais inclinado da curva de secagem observa-se a forte correlação entre as propriedades citadas (Figura 5.33). Essa correlação também foi observada por Flores-Colen (2009) e Páscoa (2012). Pode-se dizer que quanto maior a porosidade aparente (especialmente o volume de poros de maior dimensão), maior o teor em água absorvido, maior a velocidade de transporte da água líquida e vapor até a superfície onde ocorre a evaporação e, portanto, menor o índice de secagem.

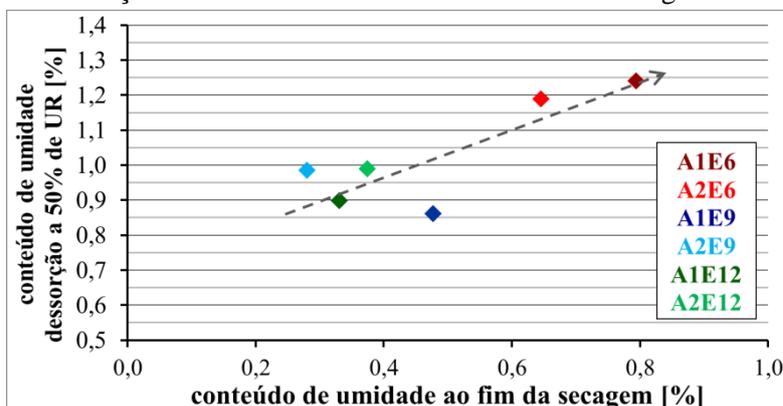
Figura 5.33 - Relação entre a taxa de secagem e o transporte de água por capilaridade (a) e vapor (b)



Percebe-se ainda que a capacidade que o material tem em reter a umidade ao fim da secagem (higroscopicidade) é função da umidade relativa do ambiente e também da estrutura dos poros (Figura 5.34). Para umidade relativa em que o ensaio de secagem é desenvolvido (50%), o teor de água adsorvido nas paredes dos poros é maior nas argamassas com poros de menor dimensão. O conteúdo de umidade é menor no ensaio de secagem comparado ao valor estabilizado no ensaio de dessorção. Esse fato evidencia a

importância da superfície ensaiada e ventilação que podem favorecer a evaporação no decorrer do ensaio. A correlação entre o conteúdo medido nos dois ensaios não foi observada para a argamassa A1E9 que apresentou baixo conteúdo de umidade no ensaio de dessecção.

Figura 5.34 – Relação entre conteúdo de umidade ao fim da secagem e à 50% de UR

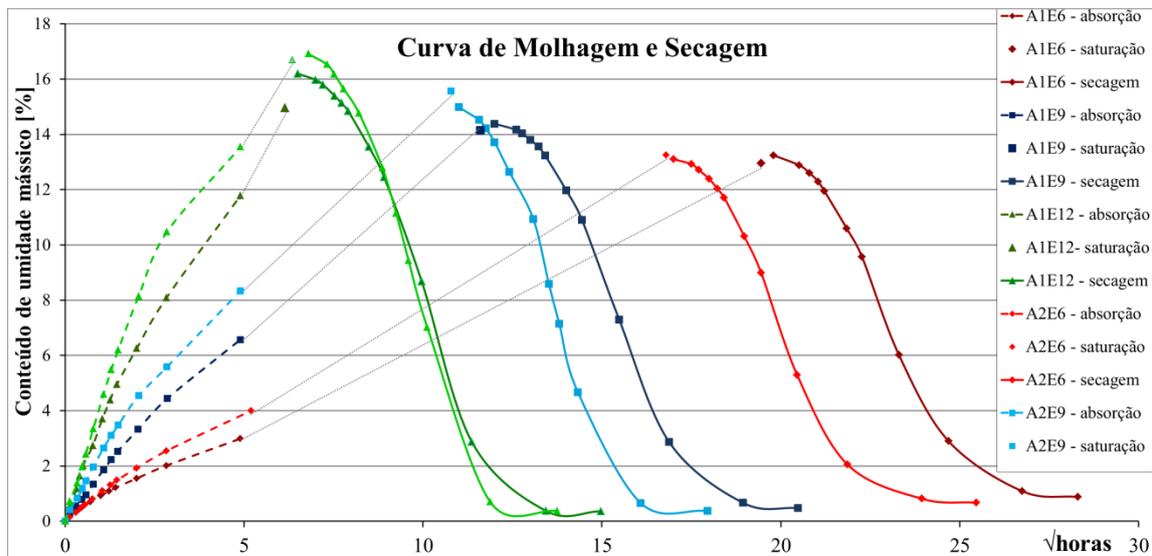


O comportamento descrito em todas as propriedades pode ser representado resumidamente pela Figura 5.35. É necessário lembrar todas as ressalvas relacionadas a essa curva: foi considerada a absorção por imersão como valor de absorção total na molhagem e na secagem, o tempo para atingir a saturação é uma extrapolação da reta de absorção capilar e a secagem foi realizada com amostras notadamente mais finas que as utilizadas na molhagem.

Ainda assim, apenas com objetivos de comparar as argamassas, a curva composta dos trechos de molhagem e secagem permite sintetizar o comportamento das argamassas. É possível observar no primeiro trecho a fase de absorção capilar, na qual a absorção de água depende da dimensão dos poros. As misturas com maior dimensão e volume de poros favoreceram a sucção capilar.

Os resultados observados no ensaio de absorção por capilaridade se assemelham aos encontrados nas curvas higroscópicas e reforçam a relação entre o ingresso de água com o tamanho dos poros. Nas argamassas de maior coeficiente de capilaridade e, portanto de poros menos finos, o conteúdo de umidade adsorvido foi menor. As maiores porcentagens de absorção por imersão também foram observados nessas argamassas com maior volume e dimensão dos poros. Quanto maior o teor de aglomerantes, maior a diferença de tempo para saturação entre as argamassas A1 e A2 de mesmo teor de aglomerantes.

Figura 5.35 - Curva de Molhagem e secagem



A inclinação da curva de secagem indica a velocidade com que a água se dissipa no material e pode ser relacionada com a permeabilidade ao vapor. As argamassas com maior velocidade de secagem são aquelas que apresentam menores coeficientes de resistência à difusão do vapor de água. Por outro lado, pode ser observado que as argamassas E6 e A1E9 têm menor velocidade de secagem em todos os trechos, e os maiores coeficientes de resistência ao vapor de água. Essas argamassas têm poros de diâmetros menores que dificultam o transporte de água.

As velocidades de molhagem e secagem (avaliadas pelas inclinações das curvas) são diretamente proporcionais e relacionadas à porosidade do material. A medida com que se aumentou a porosidade (de A1E6 para A2E12) incrementou-se a capacidade total de absorção do material e observou-se o aumento tanto na velocidade de molhagem quanto na velocidade de secagem. As curvas de absorção e secagem são mais inclinadas em E12, seguidas de E9 e E6; e de A2 para A1.

Hipoteticamente, se essas argamassas fossem expostas a uma fonte de umidade de intensidade e duração suficiente para saturar as argamassas, e em seguida se mantivessem em ambiente propício para secagem, o comportamento esperado seria semelhante ao observado na Figura 5.35. A argamassa A2E12 absorveria rapidamente a água e atingiria um maior teor de umidade que as demais. No entanto, essa mesma argamassa perderia o

conteúdo de água (para o ambiente ou para outra camada) de maneira mais rápida e, ao fim da secagem o teor de água residual nos poros seria menor que para as demais misturas.

No outro extremo, para saturar a argamassa A1E6 seria necessário uma fonte de umidade que tivesse intensidade alta e duração elevada para saturar por inteiro a argamassa. Apesar de parecer uma condição muito atípica, uma vez que ocorresse, o material secaria lentamente, permanecendo úmido por mais tempo e guardando nos poros o maior teor de umidade dentre as argamassas.

Em síntese, as características inerentes das argamassas, notadamente a porosidade, tem impacto direto no comportamento das argamassas (Tabela 5.11). Pode se dizer que o teor de aglomerantes e o teor de água são mais relevantes para a formação da estrutura porosa que as características granulométricas do agregado.

Tabela 5.11 - Resumo características da estrutura porosa das argamassas

	agregado/ aglomerantes	Teor de água [%]	volume total de poros [cm <sup>3</sup> /g]	Diâmetro crítico [μm]	Diâmetro de maior volume [μm]	Diâmetro médio [μm]	Diâmetro médio [μm]	área lateral	Teor de aglomerante menor → maior
A1E6	● 5,13	● 17	● 0,105	● 2,0	● 0,9	● 0,3	● 0,3	● 3,9	
A2E6	● 5,61	● 17	● 0,168	● 2,5	● 1,0	● 0,5	● 0,5	● 3,8	
A1E9	● 6,58	● 17	● 0,153	● 7,0	● 2,0	● 0,8	● 0,8	● 3,5	
A2E9	● 7,38	● 18	● 0,167	● 5,0	● 1,6	● 0,7	● 0,7	● 7,0	
A1E12	● 7,23	● 18	● 0,151	● 8,0	● 1,1	● 0,9	● 0,9	● 5,6	
A2E12	● 8,27	● 19	● 0,184	● 8,0	● 1,9	● 1,1	● 1,1	● 4,2	

Escala de cores em ordem crescente (verde < amarelo < vermelho)

Essa afirmação é comprovada pelas propriedades relativas ao transporte de água, apresentadas na Tabela 5.12, e classificadas quanto à eficiência das argamassas. As características da porosidade guiaram os resultados dos ensaios de transporte de umidade. Pode-se dizer que as misturas com maior dimensão e volume de poros favoreceram a sucção capilar e a secagem. No entanto, observa-se que a diferenciação é mais notada entre as argamassas com “muito” aglomerante (E6) e as de “pouco” aglomerantes (E12). As argamassas E9 se comportaram de maneira intermediária.

Os resultados de todos os ensaios mostraram que a argamassas A1E6 é a mais “resistente” ao fluxo de água líquida e vapor. No outro extremo, as modificações na estrutura da

argamassa A2E12, geraram a argamassa menos resistente ao fluxo de umidade e vapor. As argamassas intermediárias em alguns ensaios de comportaram como E6 e E12, e no ensaio de capilaridade se distinguiu das demais.

Tabela 5.12 – Resumo propriedades de transporte de água

		<b>Coefficiente de Capilaridade</b> [g/(dm <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	<b>Absorção imersão</b> A [%]	<b>Resistência à difusão de vapor de água - μ</b> (*MOLHAGEM)	<b>Conteúdo de umidade (dessorção)</b> [%]	<b>Resistência à difusão de vapor de água - μ</b> (**SECAGEM)	<b>Índice de Secagem</b> Is	<b>Teor de aglomerante</b> ↑ menor → maior
<b>A1E6</b>	●	3,0	● 12,96	● 28	● 9,2	● 28	● 0,144	
<b>A2E6</b>	●	3,9	● 13,25	● 24	● 7,3	● 24	● 0,139	
<b>A1E9</b>	●	6,9	● 14,15	● 24	● 6,7	● 24	● 0,131	
<b>A2E9</b>	●	8,5	● 15,57	● 19	● 7,0	● 19	● 0,077	
<b>A1E12</b>	●	12,6	● 14,97	● 17	● 7,1	● 17	● 0,110	
<b>A2E12</b>	●	14,6	● 16,70	● 17	● 5,4	● 17	● 0,089	
Escala de cores em ordem de eficiência na mitigação do transporte de água (verde > amarelo > vermelho) *a <b>maior</b> resistência à difusão de vapor de água foi considerada auxiliar na mitigação da molhagem **a <b>menor</b> resistência à difusão de vapor de água foi considerada auxiliar nos processos de secagem								

Essa análise permite concluir sobre a influência dos parâmetros de dosagem no desempenho dos revestimentos. Entende-se que a seleção das argamassas depende da situação de uso em que ela seria empregada. De maneira bastante simplificada, considera-se que um substrato poroso seria mais protegido pela argamassa A1E6 do que pela argamassa A2E12, ainda que o revestimento mantivesse um teor residual de umidade com a argamassa A1E6. Por outro lado, um substrato pouco higroscópico não teria seu desempenho muito prejudicado pela utilização da argamassa A2E12.

Além do substrato, cabe ressaltar a importância dos agentes climáticos na escolha do material. Conforme observado por Zanoni (2014), eles influenciam de forma diferenciada o comportamento higrotérmico dos sistemas de revestimento, conforme orientações de fachada e os períodos de seca e chuva do ano. Nesse sentido, o coeficiente de proteção à água da chuva de Kunzel et al. (2004), por exemplo, poderia ser utilizado como critério de escolha baseado no desempenho do material (Tabela 5.13). Esse coeficiente é função do coeficiente de absorção de água por capilaridade e da espessura de ar equivalente.

Para a situação de exposição sugerida pelo autor, o coeficiente de proteção à água da chuva deve ser limitado em  $0,2 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})$ ). Neste caso, nenhuma das argamassas estudadas poderia ser utilizada como camada externa de revestimento.

Tabela 5.13 - Coeficiente de proteção à água da chuva (KÜNZEL et al., 2004)

	<b>A1E6</b>	<b>A1E9</b>	<b>A1E12</b>	<b>A2E6</b>	<b>A2E9</b>	<b>A2E12</b>
Coeficiente de absorção de água [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ]	2,33	5,32	9,77	3,04	6,57	11,31
Sd - Espessura de ar equivalente [m]	0,36	0,31	0,21	0,30	0,24	0,20
<b>Coeficiente de proteção à água da chuva - <math>C_{RP}</math> [<math>\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h}^{0,5})</math>]</b>	<b>0,84</b>	<b>1,64</b>	<b>2,05</b>	<b>0,92</b>	<b>1,56</b>	<b>2,28</b>

Ainda no âmbito de requisitos mínimos, o documento de recomendações para revestimentos elaborado pelo CSTB (1993) estabelece como requisito para as argamassas aplicadas em paredes expostas à chuva ou enterradas, coeficiente de capilaridade menor que  $2,5 \text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$ . No caso de argamassas de recuperação, o valor mínimo de capilaridade requerido pela norma EN 998-1: 2010 é  $0,3 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{min}^{0,5})$  e a resistência à difusão do vapor de água menor que 15.

Segundo a avaliação isolada desses critérios, as argamassas desenvolvidas nessa etapa do programa experimental seriam inadequadas para uso como paredes expostas segundo o critério deste documento. Essa observação ressalta a problemática de se utilizar parâmetros internacionais e traduz a necessidade de melhor conhecer a realidade dos materiais brasileiros (objetivo dessa tese) e das condições de exposição inerentes ao Brasil.

## 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO - PROGRAMA EXPERIMENTAL - ETAPA 2 - ARGAMASSAS COM ADITIVOS.

Conforme estabelecido na seção 4.2, o objetivo da Etapa 2 do Programa Experimental é avaliar a ação de aditivos no transporte de umidade em argamassas. Para tal, foram produzidas argamassas com aditivos hidrofugantes, ou que possam ter ação impermeabilizante, partir da argamassa referência selecionada na Etapa 1.

### 6.1 – PROPRIEDADES INTRÍNSECAS DAS ARGAMASSAS

Neste trabalho foram mensuradas as características intrínsecas no estado fresco: consistência, teor de água, teor de ar incorporado e densidade de massa fresca. No estado endurecido, as características intrínsecas mensuradas foram as propriedades mecânicas, as características físicas como massa específica e índice de vazios; e a caracterização dos volumes de poros.

#### 6.1.1 – Caracterização no estado fresco

As características das misturas no estado fresco estão apresentadas na Tabela 6.1. Uma vez que a profundidade de penetração de cone se trata de uma condição fixa de dosagem, é possível notar o efeito do aditivo na quantidade de água da mistura para gerar argamassas no estado fresco com consistência similar.

A relação agregado/aglomerante é muito semelhante entre os traços, sendo as pequenas diferenças relativas à quantidade de aditivos. A única exceção é a argamassa S9 que foi produzida tendo por referência a argamassa A1E9.

Tabela 6.1 - Propriedades das argamassas no estado fresco

	<i>A1E6</i>	<i>ECA</i>	<i>EZN</i>	<i>SIL</i>	<i>VIN</i>	<i>INC</i>	<i>SAP</i>	<i>S9</i>	<i>IND</i>
<b>Profundidade de penetração de cone (ASTM C780) - [mm]</b>	58	55	60	63	58	64	61	55	55
<b>Água/ materiais secos - [%]</b>	17%	17%	18%	17%	14%	14%	17%	17%	17%
<b>Água / aglomerantes - [kg/kg]</b>	1,05	1,07	1,08	1,05	0,85	0,84	1,05	1,30	-
<b>Agregado/aglomerantes - [kg/kg]</b>	5,13	5,26	5,19	5,16	5,29	5,13	5,14	6,62	-
<b>Teor de ar (gravimétrico) - [%]</b>	8%	4%	2%	3%	20%	31%	14%	5%	45%
<b>Densidade de massa fresca (NBR 13278) - [kg/m<sup>3</sup>]</b>	1987	2040	2081	2085	1758	1536	1846	2017	1551
<b>Classificação Densidade de massa (NBR 13281)</b>	D5	D6	D6	D6	D4	D3	D5	D6	D3

Observa-se que o teor de água das argamassas em relação aos materiais secos (aglomerantes, agregados e aditivos) variou entre 14% e 18%. O menor teor foi observado nas argamassas com aditivo incorporador de ar (INC) e com o acetato vinílico (VIN). O maior valor foi observado na argamassa EZN, 18%. Nas demais argamassas, o teor de água foi o mesmo observado na argamassa referência A1E6, 17%.

Pela relação água/aglomerante e teor de ar gravimétrico nota-se que as argamassas ECA, EZN e SIL foram produzidas com quantidade de água muito semelhante, mas resultaram em argamassas com menor teor de ar, comparadas à argamassa referência A1E6. Já na argamassa SAP observou-se um aumento do teor de ar em relação à argamassa referência.

Em contrapartida, VIN, INC e IND são argamassas com maior teor de ar que A1E6. A mistura com aditivo vinílico necessitou de menos água na sua constituição para atingir a consistência desejada e conferiu à argamassa maior teor de ar. O elevado teor de ar da argamassa IND (45%) indica que essa argamassa tem aditivo com função de incorporação de ar em sua composição. Cabe ressaltar no entanto que o teor de água da argamassa industrializada foi semelhante ao da argamassa referência (17%) e superior ao da argamassa com incorporador de ar (14%), indicando que o aumento do teor de ar pode ainda estar relacionado com o aumento do teor de água.

Em consequência da variação do teor de ar, a densidade de massa fresca também variou. O menor teor de ar na argamassa SIL resultou em uma mistura de densidade 2085 kg/m<sup>3</sup>, classificada na faixa D6 de acordo com a na norma ABNT NBR 13281:2005. À medida que o teor de ar aumentou, a densidade de massa registrada diminuiu. A alteração na incorporação de ar resultou em argamassas classificadas em diversas faixas: D3, D4, D5 e D6. O menor valor encontrado foi na argamassa INC: 1536 kg/m<sup>3</sup>, classe D3.

### **6.1.2 – Caracterização física no estado endurecido e propriedades mecânicas**

Na Tabela 6.2 estão apresentados os resultados da caracterização física das argamassas no estado endurecido.

Tabela 6.2 - Caracterização física no estado endurecido

	<b>A1E6</b>	<b>EZN</b>	<b>SIL</b>	<b>ECA</b>	<b>VIN</b>	<b>INC</b>	<b>S9</b>	<b>SAP</b>	<b>IND</b>
<b>Índice de vazios - Iv (NBR 9778)</b>	24%	14%	15%	18%	22%	41%	21%	24%	45%
<b>Densidade de massa aparente (NBR 13280) - [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,84	1,84	1,86	1,82	1,74	1,47	1,81	1,64	1,43
<b>Massa específica amostra seca (NBR 9778) - [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,88	1,88	1,93	1,91	1,79	1,56	1,92	1,79	1,56
<b>Massa específica amostra saturada (NBR 9778) -[g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,13	2,02	2,08	2,09	2,01	1,96	2,13	2,03	2,01
<b>Massa específica real (NBR 9778) -[g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,49	2,18	2,28	2,32	2,31	2,62	2,42	2,36	2,85
<b>Massa específica (picnômetro de gás) - [g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,71	2,70	2,68	2,69	2,56	2,49	2,49	2,53	2,66

Na argamassa SAP, a massa específica e a densidade de massa são inferiores ao observado em A1E6. Apesar da pequena quantidade de SAP presente na mistura, os poros isolados gerados pela dessorção dessas partículas ao longo da hidratação e secagem resultam na redução da massa aferida nos ensaios de caracterização, influenciando os resultados de massa específica e densidade de massa aparente. O índice de vazios, no entanto, é o mesmo observado na argamassa referência.

Os resultados dos ensaios com as argamassas com aditivos hidrofugantes podem ter sido afetados pela resistência à saturação inerente dos aditivos. Uma vez que os ensaios da ABNT NBR 9778:2005 são efetuados com imersão dos corpos de prova, entende-se que a absorção de água nos poros com aditivo possa alterar os resultados finais. Dessa forma, apesar do procedimento de ensaio estar de acordo com as normas e ter se buscado garantir a saturação, acredita-se que apenas os resultados de massa específica obtida pelo picnômetro de gás e a densidade de massa aparente sejam de fato confiáveis para inferir sobre a estrutura porosa das argamassas com aditivos hidrofugantes. Observa-se portanto, que a massa específica das argamassas com hidrofugantes é muito semelhante à da argamassa referência.

Na Tabela 6.3 são apresentados os resultados dos ensaios mecânicos e a classificação proposta pela ABNT NBR 13281:2005 para resistência a compressão e à tração. Nota-se que a resistência das argamassas com aditivos hidrofugantes aumentou em relação à referência. Nas argamassas com maior incorporação de ar (e índice de vazios) a resistência diminuiu.

Apesar das alterações nos valores de resistência à compressão, as argamassas mantiveram a classificação na faixa P6, com exceção de INC e IND nas quais a significativa redução de resistência à compressão resultou em argamassas P4 e P2, respectivamente. Na classificação da resistência à tração, as argamassas INC e IND foram avaliadas como R3 e R2, respectivamente; e as argamassas S9 e SAP foram classificadas como R4 e R5, respectivamente. As demais argamassas receberam a mesma qualificação da argamassa referência, R6.

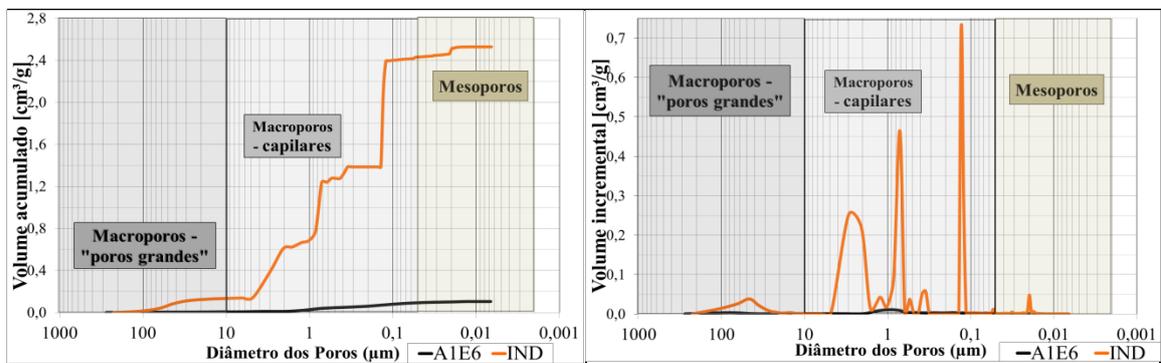
Tabela 6.3 - Propriedades mecânicas

	A1E6	EZN	SIL	ECA	VIN	INC	S9	SAP	IND
<b>Resistência à compressão (NBR 13279) - [MPa]</b>	15,0	15,5	17,8	16,2	17,1	5,7	9,5	11,8	2,3
<b>Classificação Resistência à compressão (NBR 13281)</b>	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P6	P6	P2
<b>Resistência à tração na flexão (NBR 13279) - [MPa]</b>	4,4	4,7	6,1	4,5	6,6	2,0	2,9	3,7	1,3
<b>Classificação Resistência à tração na flexão (NBR 13281)</b>	R6	R6	R6	R6	R6	R3	R4	R5	R2

### 6.1.3 – Caracterização dos poros - Porosimetria por intrusão de mercúrio, saturação e Superfície Específica BET

Na Figura 6.1 estão apresentadas as distribuições de poros das argamassas aditivadas e industrializada. Os volumes incrementais e acumulados da argamassa IND são muito superiores aos da argamassa referência. O abrupto aumento de volume incremental de mercúrio na faixa de poros entre 1  $\mu\text{m}$  e 0,1  $\mu\text{m}$  pode indicar a existência de poros cegos ou que a pressão do mercúrio danificou a amostra (KAUFMANN et al., 2009). Dessa forma, considera-se nesse trabalho que a técnica de porosimetria por intrusão de mercúrio não foi adequada para avaliar a estrutura porosa da argamassa industrializada IND.

Figura 6.1 - Distribuição de poros das argamassas aditivadas e industrializada

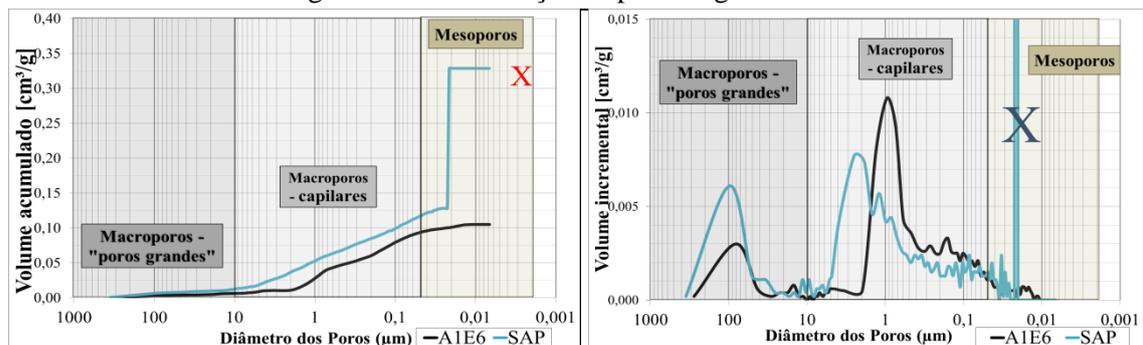


Os resultados da argamassa SAP também indicaram um problema com a amostra e/ou execução do ensaio (Figura 6.2). Já na faixa dos mesoporos, o volume intrudido aumentou de maneira brusca em 0,02 $\mu\text{m}$ . Devido ao inchamento e posterior dessecação das partículas de SAP, os poros formados pelo polímero podem estar conectados a outros poros por aberturas muito estreitas (poros cegos ou poros tinteiros). Dessa forma, seria registrado um elevado incremento de volume de mercúrio em um intervalo pequeno de poros.

Apesar desse fenômeno já ter sido registrado por diversos pesquisadores (KLEM; SIKORA, 2013; SNOECK et al., 2015; MANZANO, 2016), acredita-se que o pico observado na distribuição de poros da argamassa SAP não se trata de poros cegos ou poros tinteiros. O volume incrementado é muito superior aos dos outros poros, o diâmetro é inferior ao registrado nas referidas pesquisas e, por fim, não houve incremento na porosidade em diâmetros inferiores a esse pico.

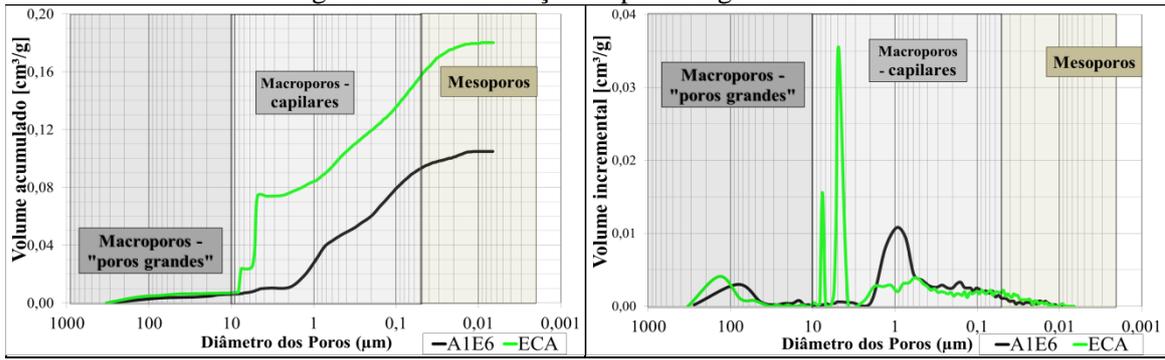
Assim, para efeito de cálculo do volume total de poros, volume de mesoporos, diâmetro médio e diâmetro de maior volume, esse trecho da distribuição de poros não foi utilizado. Ainda sobre a argamassa SAP, observou-se um elevado aumento de poros grandes em relação à argamassa referência. Além disso, o diâmetro de maior volume é maior e de menor volume comparado ao da argamassa referência.

Figura 6.2 - Distribuição de poros argamassa SAP



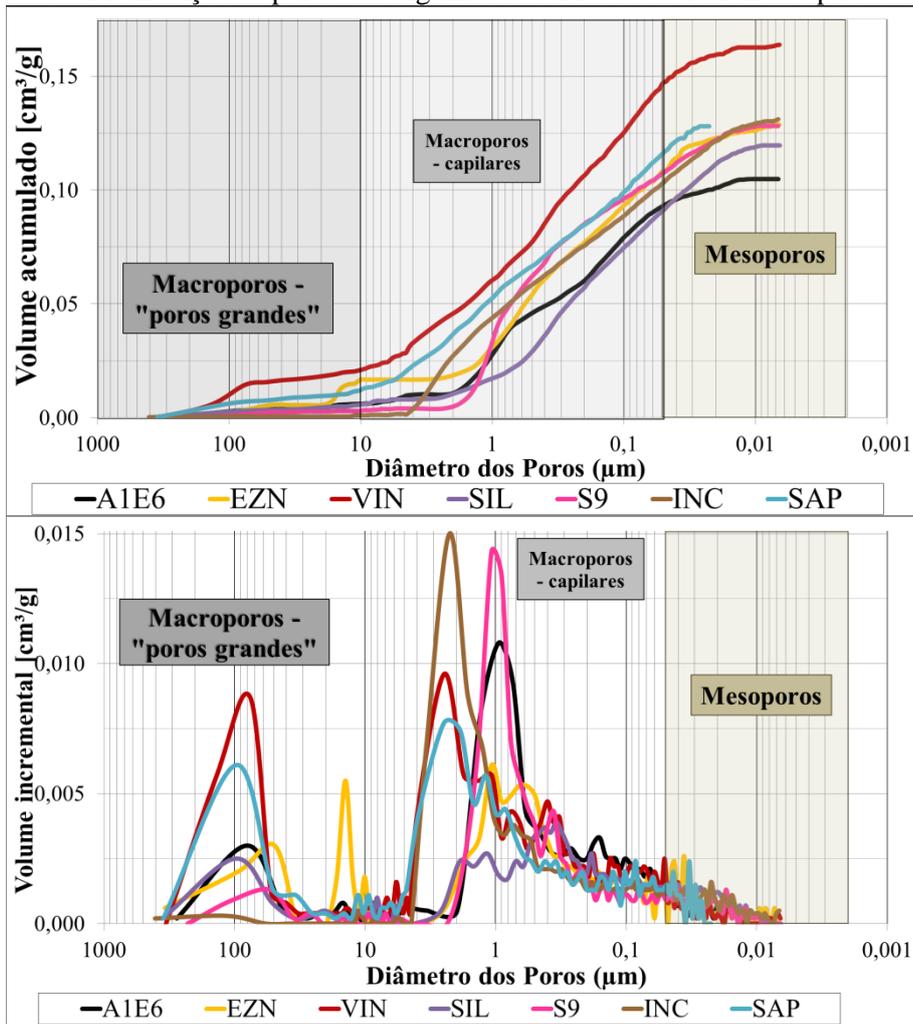
Na argamassa ECA por sua vez, observa-se a presença de picos nos diâmetros de poros de 8 $\mu\text{m}$  e 5 $\mu\text{m}$  (Figura 6.3). Esses poros podem ser resultantes da ação do aditivo na pasta de cimento mas o aumento abrupto de volume de poros podem indicar a presença de poros cegos ou poros tinteiros. No entanto, para uma afirmação mais assertiva seria necessário a avaliação da histerese entre o volume de intrusão e extrusão de mercúrio. Uma vez que esse não é o objetivo desse trabalho, optou-se por excluir essa argamassa da avaliação por porosimetria de intrusão de mercúrio.

Figura 6.3 - Distribuição de poros argamassa ECA



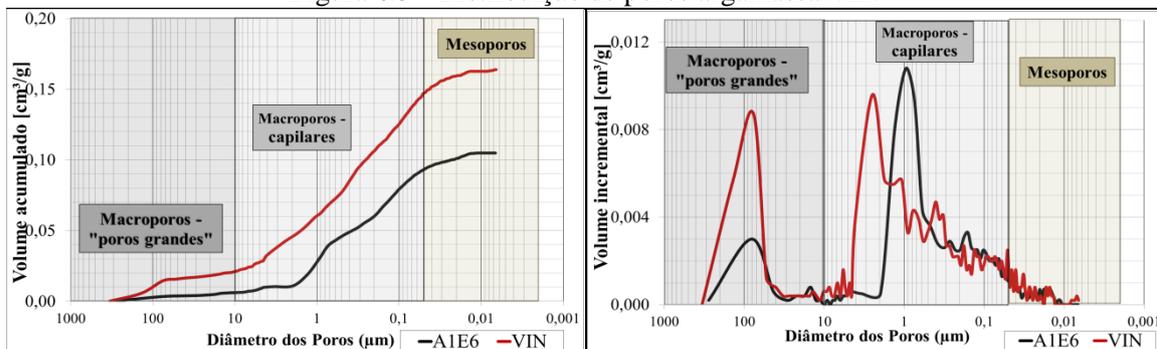
Na Figura 6.4, estão apresentadas as distribuição de poros das argamassas aditivadas selecionadas para avaliação da porosimetria por intrusão de mercúrio: EZN, SIL, EZN, VIN, S9 e SAP. Em relação à argamassa referência, observa-se que todas as argamassas possuem maior volume de poros. A presença de aditivos nas argamassas provocou diferentes mudanças na distribuição de poros.

Figura 6.4 - Distribuição de poros das argamassas aditivadas selecionadas para avaliação



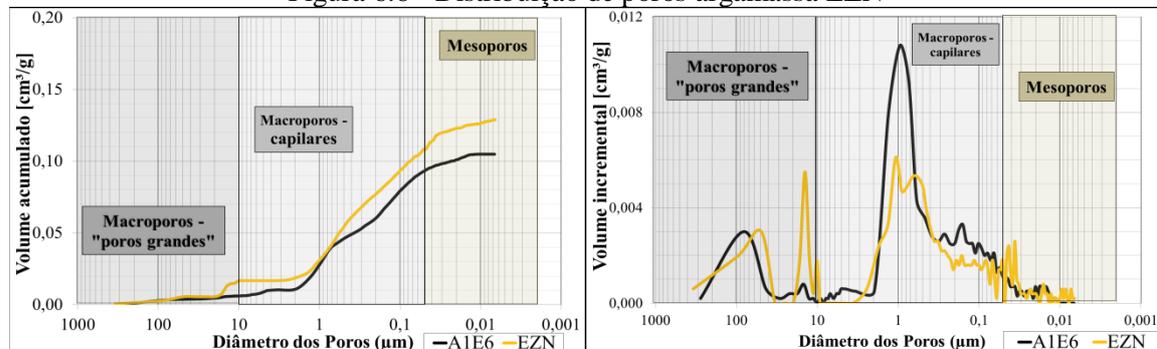
A argamassa VIN apresentou o maior volume acumulado  $0,1632\text{cm}^3/\text{g}$  comparados aos  $0,1052\text{ cm}^3/\text{g}$  medidos na argamassa referência (Figura 6.5). Observa-se que o aditivo atuou principalmente aumentando o volume de “poros grandes”. Na faixa de macroporos capilares, nota-se o deslocamento do poro de maior volume de  $0,9\mu\text{m}$  para  $2,5\mu\text{m}$ .

Figura 6.5 - Distribuição de poros argamassa VIN



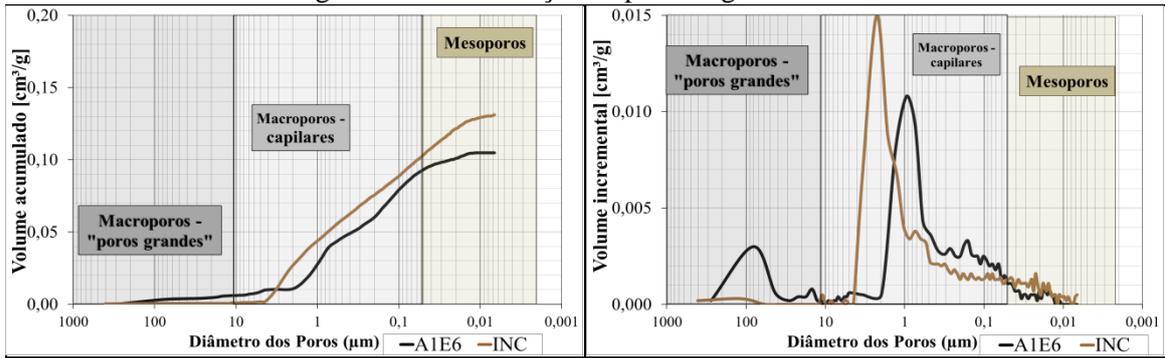
Na Figura 6.6 é possível observar a distribuição de poros da argamassa EZN. Nota-se que a ação do Estearato de Zinco provocou o aumento do volume de poros de diâmetro em torno de  $9\mu\text{m}$  e  $10\mu\text{m}$  e impediu a formação de poros na faixa de  $10\mu\text{m}$  a  $2\mu\text{m}$ . Na faixa de poros menores que  $0,8\mu\text{m}$  também foi observado um aumento no volume de poros da argamassa EZN em relação à referência.

Figura 6.6 - Distribuição de poros argamassa EZN



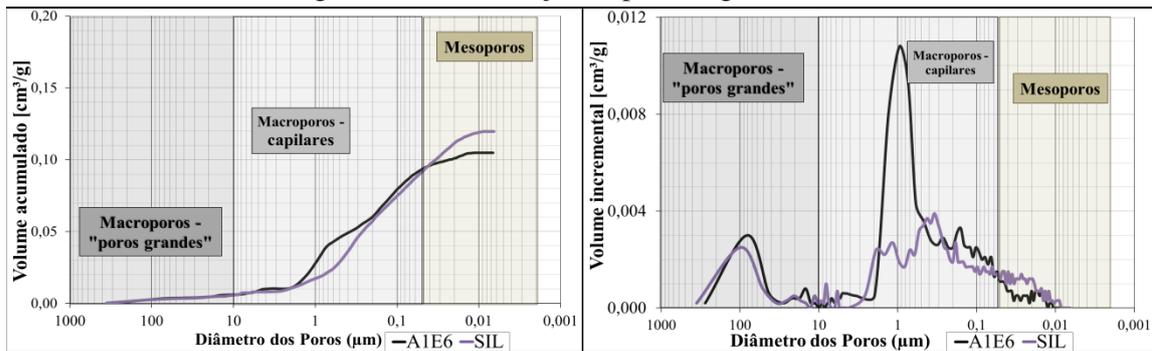
Na argamassa INC, o incorporador de ar reduziu o volume de “poros grandes” da mistura (Figura 6.7). O volume de poros capilares, no entanto, aumentou consideravelmente devido ao incremento de poros de diâmetro em torno de  $2\mu\text{m}$ . O volume de poros dessa argamassa também é superior ao da referência na faixa de mesoporos. Pode-se dizer que a adição de incorporador de ar na mistura resultou em uma argamassa mais porosa, mas com poros de menor dimensão.

Figura 6.7 - Distribuição de poros argamassa INC



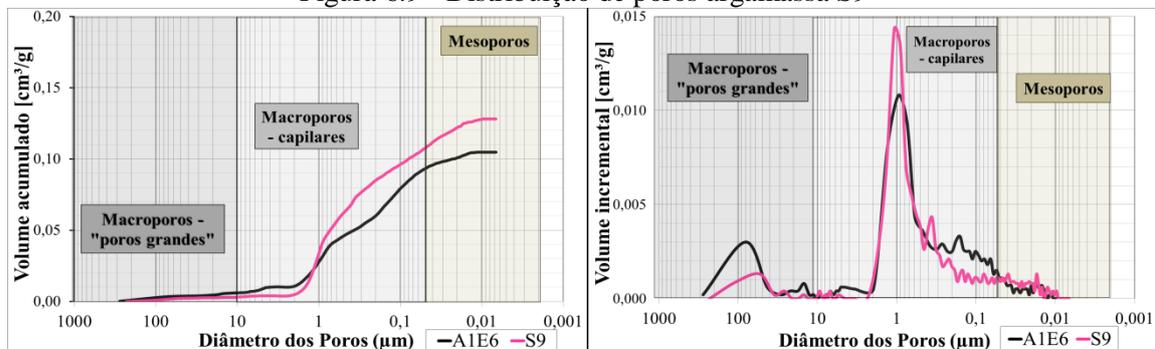
O efeito do aditivo Sil foi avaliado nas argamassas SIL e S9. Na argamassa SIL, a ação do aditivo reduziu substancialmente o volume de macroporos capilares (Figura 6.8). O volume de poros na argamassa SIL é superior ao da argamassa A1E6 devido ao aumento da quantidade de poros de diâmetro inferior a 0,5µm.

Figura 6.8 - Distribuição de poros argamassa SIL



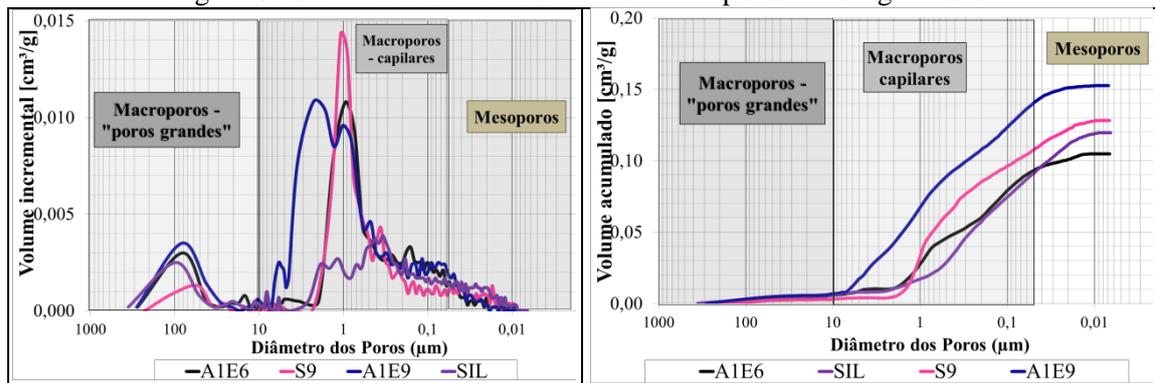
Na argamassa S9 (Figura 6.9), a ação do aditivo em uma matriz com menor quantidade de aglomerantes formou uma estrutura porosa com pouco volume de “poros grandes” e diâmetro de maior volume de 1µm. A maior parte do volume de poros da argamassa é menor que esse diâmetro.

Figura 6.9 - Distribuição de poros argamassa S9



Em geral, a distribuição de poros da argamassa S9 é bastante semelhante ao observado para a argamassa A1E6, em relação aos diâmetros relevantes da estrutura porosa. No entanto, a ação do aditivo na formação da estrutura porosa pode ser avaliada na Figura 6.10. Em termos de redução do volume total de poros, observa-se que o aditivo Sil tem maior efeito na argamassa com menor teor de aglomerantes (A1E9). Comparando S9 à A1E9, a faixa com maior redução de volume de poros foi nos macroporos capilares. Entre SIL e A1E6, a principal mudança observada foi o aumento do volume de mesoporos.

Figura 6.10 - Efeito do aditivo Sil na estrutura porosa das argamassas.



Na Tabela 6.4 estão apresentados os dados referentes à discussão sobre a distribuição de poros das argamassas.

Tabela 6.4 - Dados da caracterização dos poros das argamassas aditivadas e industrializada

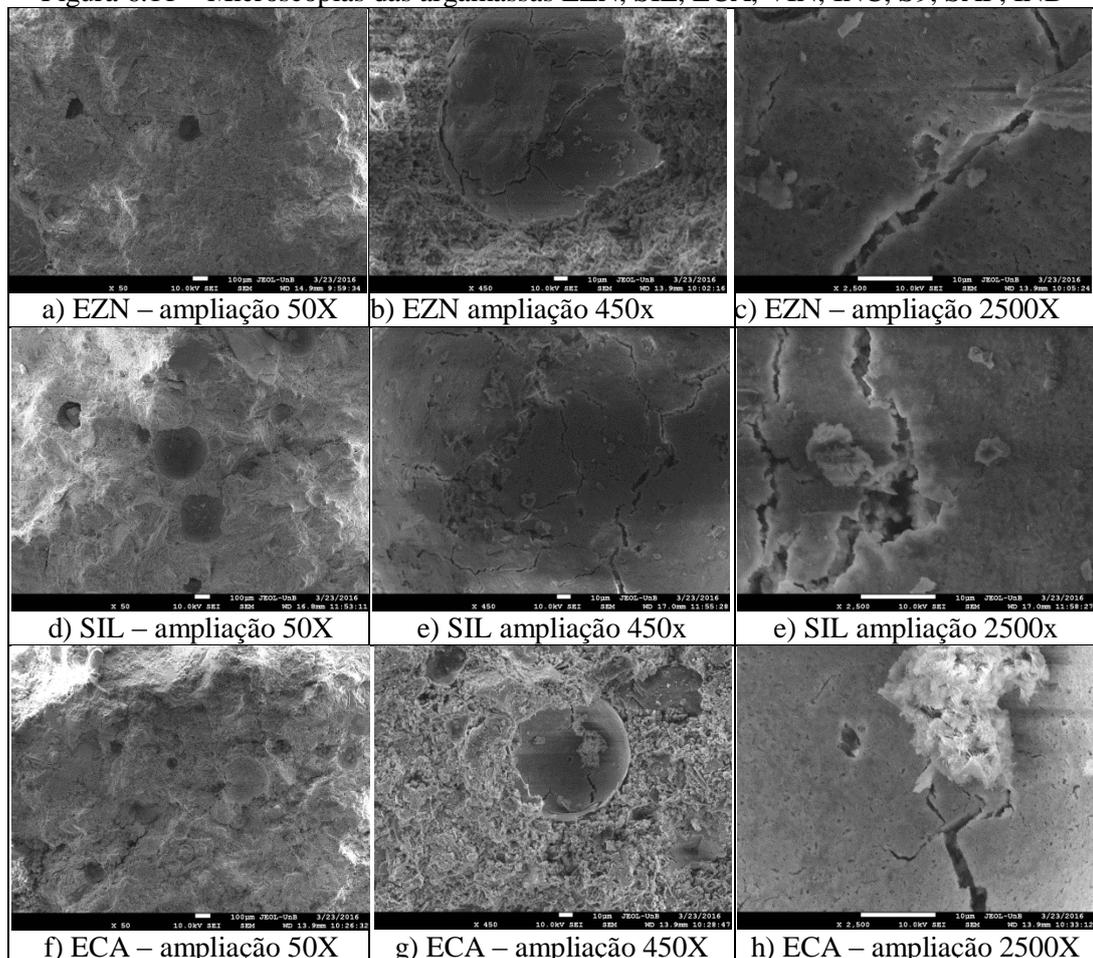
	A1E6	EZN	SIL	ECA	VIN	INC	S9	SAP	IND
<b>Diâmetro Crítico [µm]</b>	2,00	1,60	3,50	-	1,00	4,40	1,60	6,00	-
<b>Diâmetro de maior volume [µm]</b>	0,90	1,00	0,35	-	2,50	2,25	1,00	2,50	-
<b>Diâmetro médio [µm]</b>	0,30	0,35	0,19	-	0,45	0,35	0,55	0,60	-
<b>Volume total de poros [cm³/g]</b>	0,1052	0,1280	0,1202	-	0,1632	0,1317	0,1282	0,1279	-
<b>Volume de mesoporos [ cm³/g]</b>	0,0123	0,0202	0,0285	-	0,0166	0,0289	0,0215	0,0127	-
<b>Mesoporos [% do total de poros]</b>	12%	16%	24%	-	10%	22%	17%	10%	-
<b>Volume de macroporos [cm³/g]</b>	0,093	0,108	0,092	-	0,147	0,103	0,107	0,115	-
<b>Macroporos [% do total de poros]</b>	88%	84%	76%	-	90%	78%	83%	90%	-
<b>Volume de "poros grandes" [cm³/g]</b>	0,006	0,017	0,006	-	0,021	0,001	0,003	0,012	-
<b>Volume de poros capilares [cm³/g]</b>	0,087	0,091	0,086	-	0,126	0,102	0,104	0,103	-
<b>Área lateral dos poros [m²/g]</b>	3,87	5,74	7,05	-	5,35	7,31	5,26	3,17	-
<b>Superfície específica (BET) - [m²/g]</b>	1,03	0,91	1,19	0,79	0,97	0,86	0,85	0,87	0,67

#### 6.1.4 – Caracterização dos poros – Microscopia eletrônica de varredura

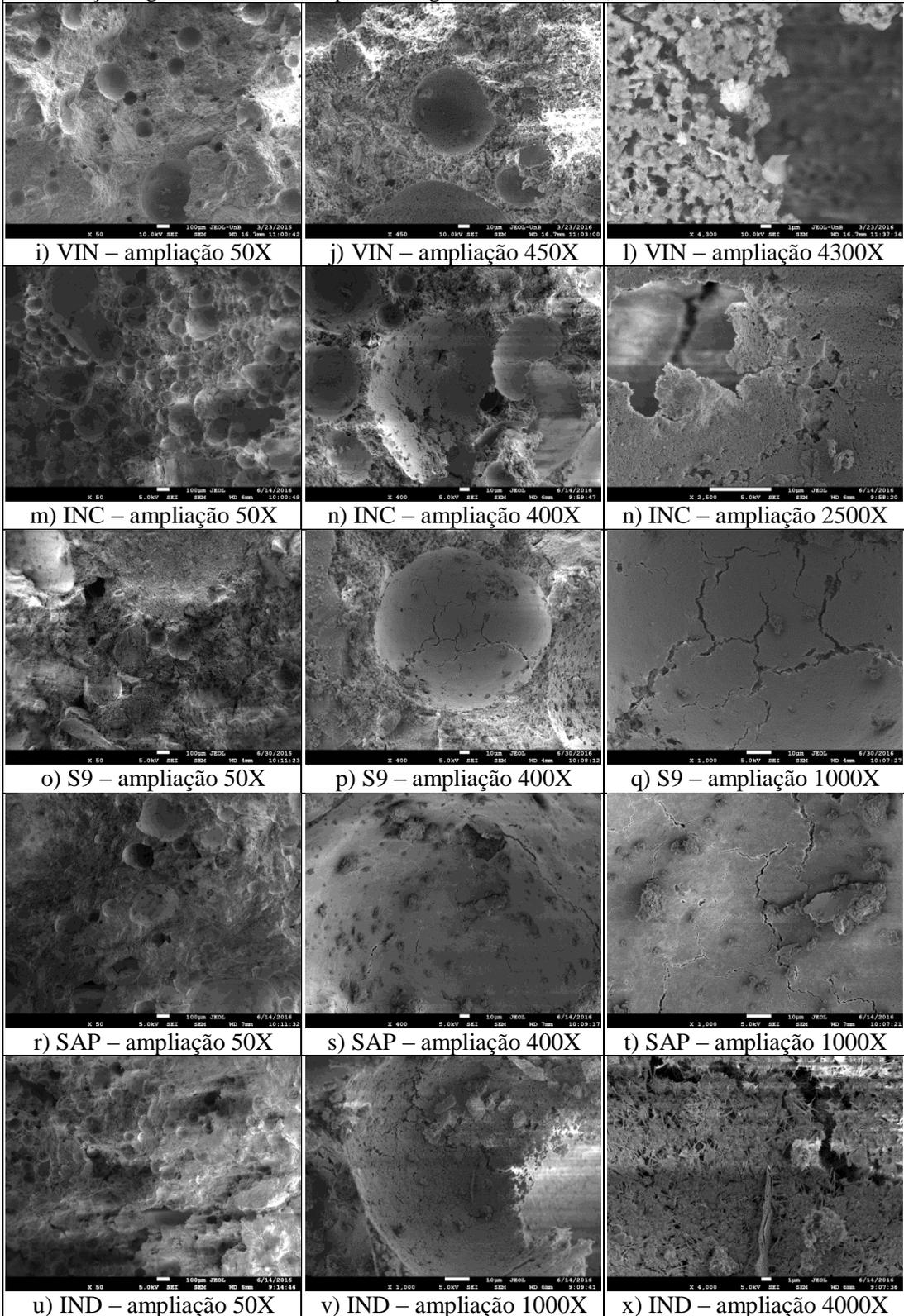
Na Figura 6.11 estão apresentadas algumas imagens dos poros das argamassas aditivadas e da argamassa industrializada. Apesar de não ser objetivo do trabalho inferir sobre os poros a partir das imagens, elas servem como referência para interpretar os resultados das outras técnicas de aferição da porosidade.

Em comparação com a argamassa referência, foi notado que as argamassas com hidrofugante SIL, ECA e EZN parecem ter poros menores e em menor quantidade. Quanto à morfologia, elas são bastante semelhantes. Já na argamassa VIN foi possível observar uma quantidade consideravelmente maior de poros, sendo estes de tamanhos diversificados. Em maior ampliação, notou-se que a matriz de aglomerantes se agrupa na forma de grumos intercalados por vazios, possivelmente por ação do aditivo. Nas argamassas INC e IND foi possível notar os vazios esféricos provocados pela incorporação de ar. Nas duas argamassas nota-se que as “bolhas” colidem formando poros de grande dimensão.

Figura 6.11 – Microscopias das argamassas EZN, SIL, ECA, VIN, INC, S9, SAP, IND



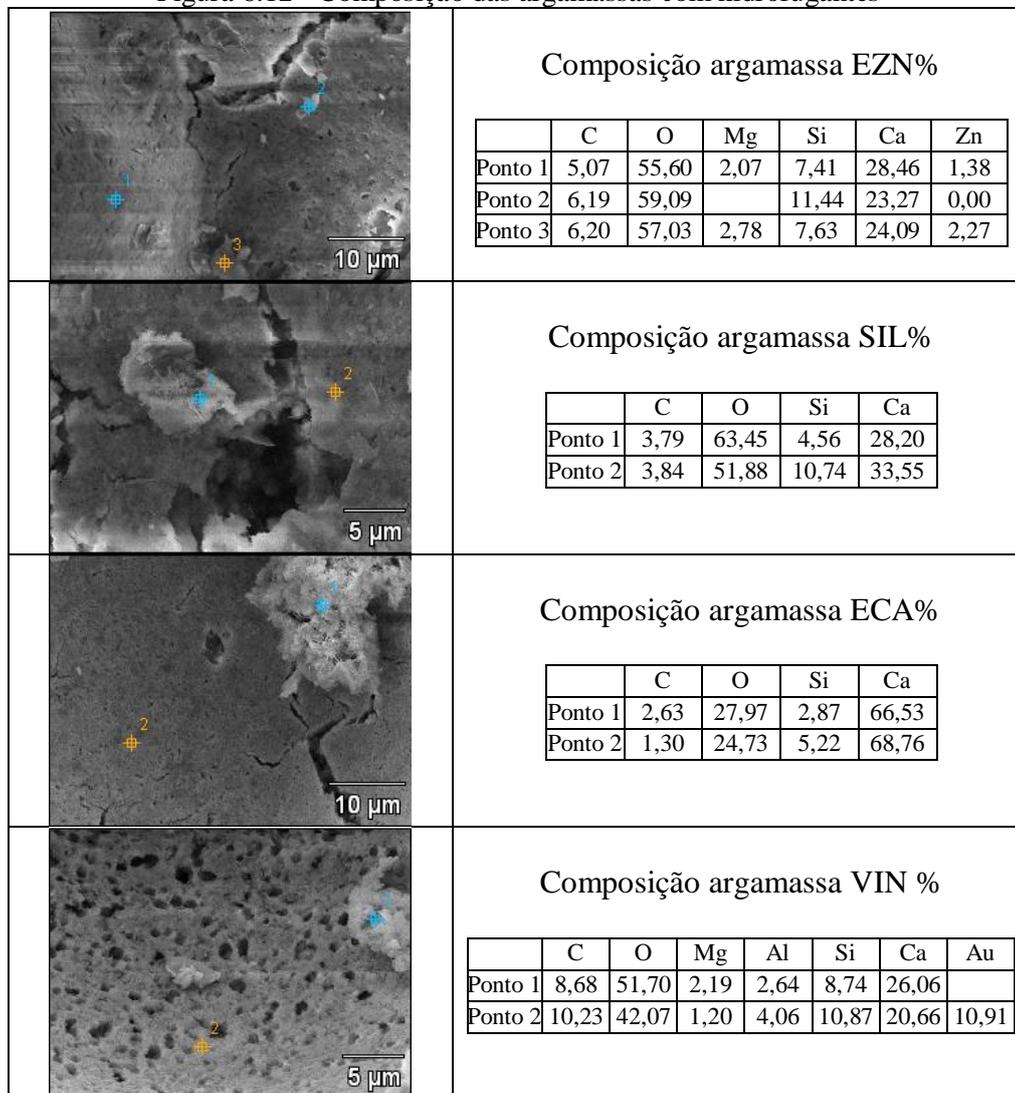
Continuação Figura 6.11 – Microscopias das argamassas EZN, SIL, ECA, VIN, INC, S9, SAP, IND



Na Figura 6.12 estão apresentadas a composição em pontos dos poros das argamassas obtidas por EDS. De maneira geral, os resultados mostraram que os pontos analisados se assemelham quanto à composição, tendo sido notado a presença de carbono, oxigênio,

silício e cálcio. Também foi possível notar a presença dos aditivos Estearato de Cálcio e Estearato de Zinco devido ao aumento significativo de Cálcio e Zinco na composição das argamassas ECA e EZN, respectivamente.

Figura 6.12 - Composição das argamassas com hidrofugantes

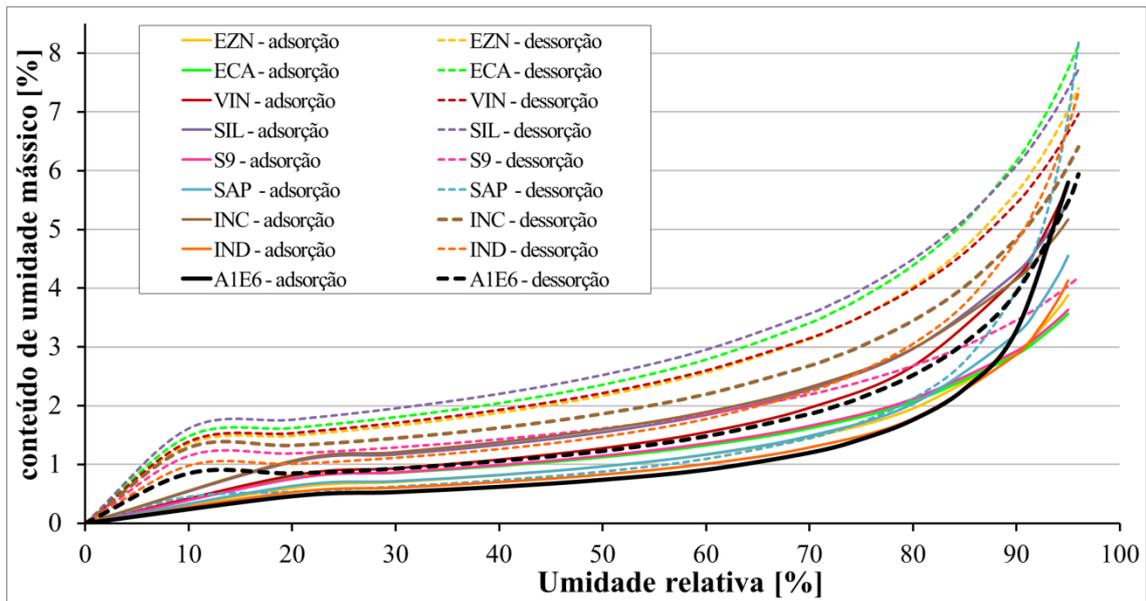


## 6.2 – COMPORTAMENTO QUANTO AO TRANSPORTE DE ÁGUA

### 6.2.1 – Comportamento higroscópico

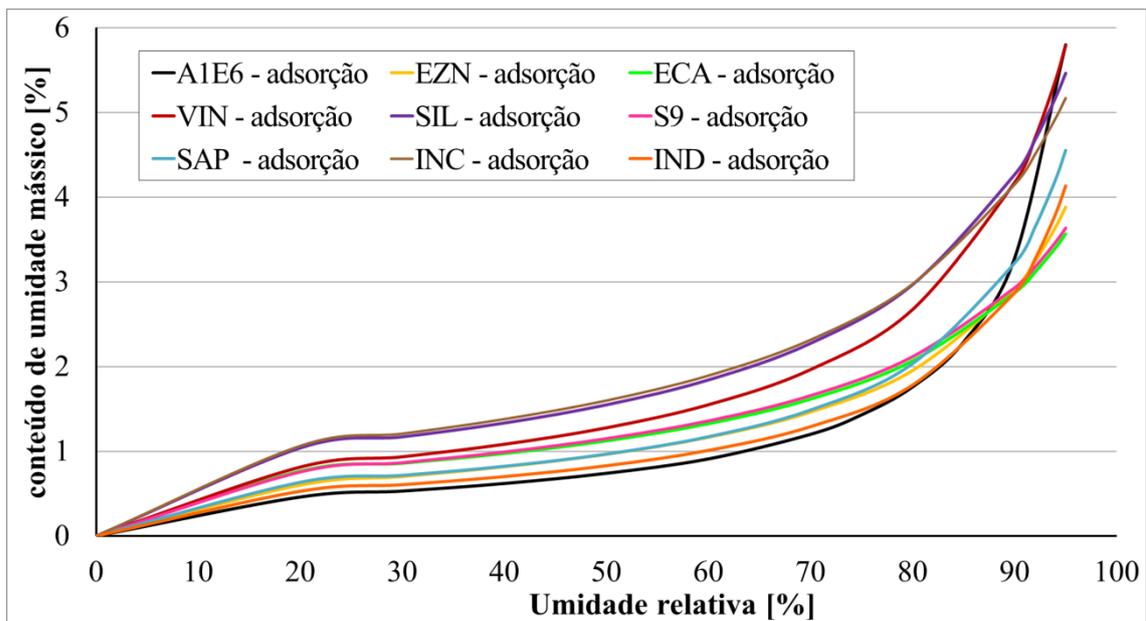
Na Figura 6.13 estão apresentadas as isotermas de adsorção e dessorção das argamassas aditivadas, obtidas a partir do equilíbrio em ambiente controlado por soluções salinas. Para melhor visualização, essas curvas também estão apresentadas separadamente no apêndice. Em comparação com a argamassa referência A1E6, as argamassas aditivadas e industrializadas apresentaram conteúdos de umidade mássico de ordem de grandeza semelhantes.

Figura 6.13 – Curvas de adsorção e dessorção de umidade das argamassas aditivadas



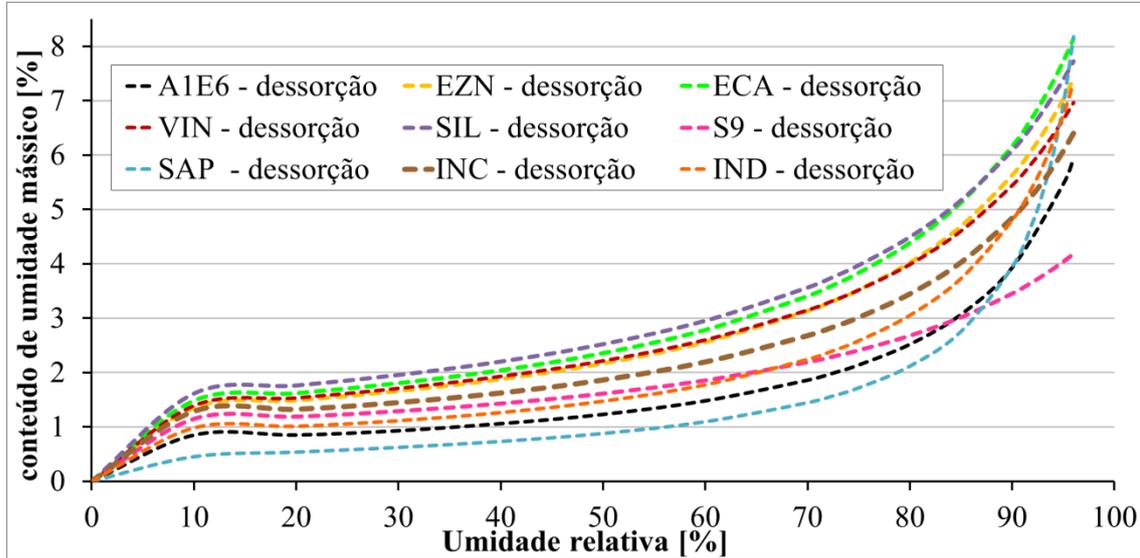
De maneira geral, é possível observar que a presença dos aditivos nas misturas aumentou a histerese entre as isotermas de dessorção e adsorção. Na adsorção, as argamassas podem ser reunidas em dois grupos (Figura 6.14). No primeiro composto pelas argamassas SIL, VIN e INC, o conteúdo de umidade ao fim do ensaio foi em torno de 5%. As demais argamassas apresentaram conteúdo de umidade ao fim do ensaio em torno de 3,5% e 4%.

Figura 6.14 - Isotermas de adsorção das argamassas aditivadas



Na dessorção o comportamento das argamassas não pode ser agrupado. Observa-se, no entanto, que as curvas das argamassas SAP e IND são mais inclinadas que as demais. Os valores máximos de conteúdo de umidade mássico registrados nas isotermas de dessorção foram em torno de 8%. A argamassa S9 apresentou o menor valor, em torno de 4%.

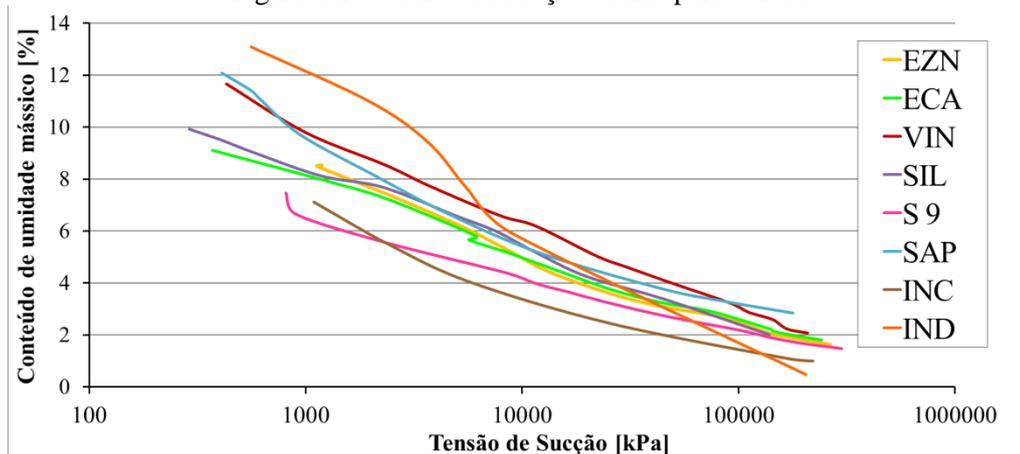
Figura 6.15 - Isotermas de dessorção das argamassas aditivadas



#### 6.2.1.1 – Curva de sucção - WP4C

As curvas de sucção de água obtidas com o equipamento WP4C estão apresentadas na Figura 6.16.

Figura 6.16 - Curva de sucção obtida pelo WP4C

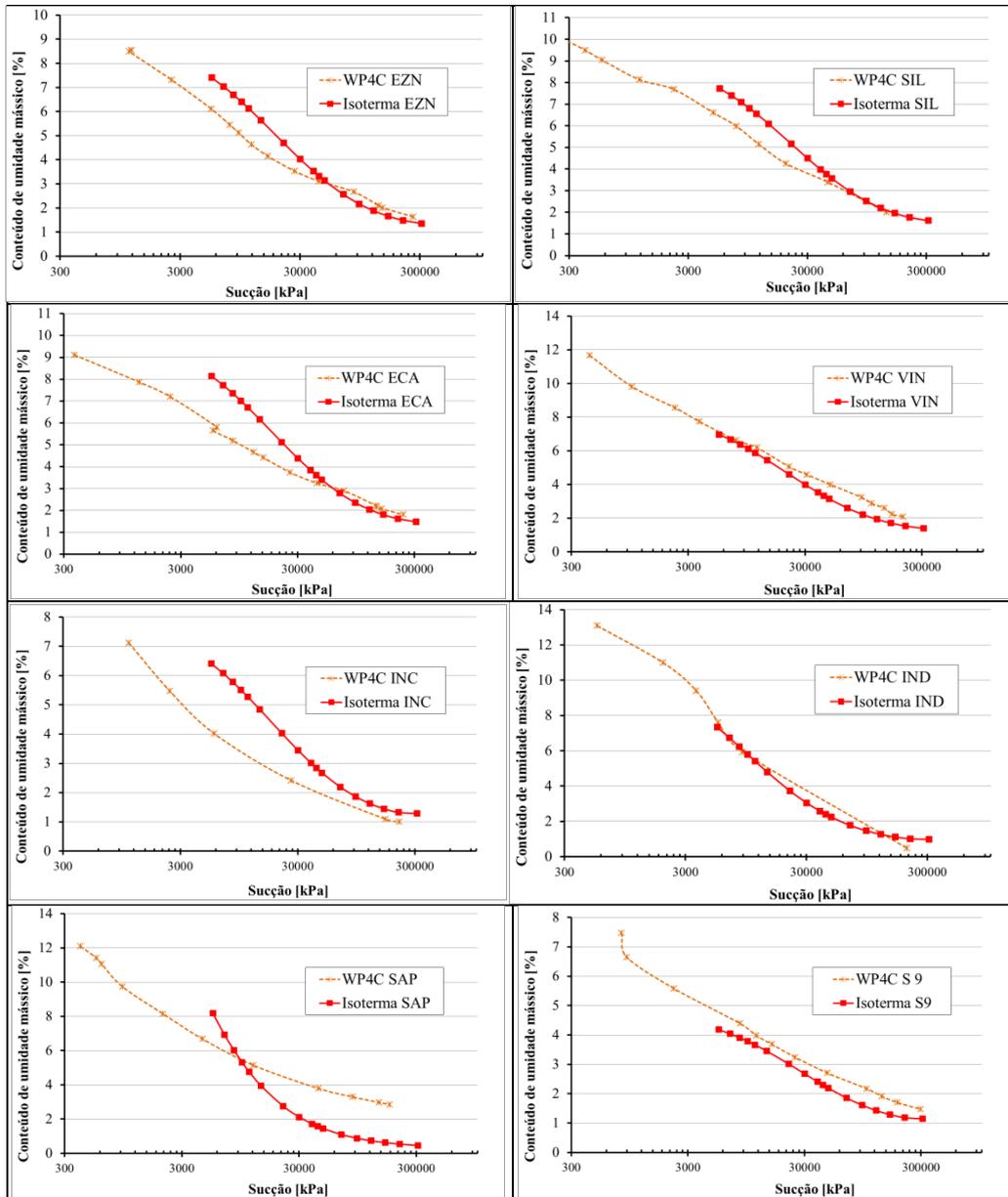


A argamassa industrializada tem comportamento distinto das demais argamassas: o conteúdo de umidade é o maior para pressões menores e o menor nas pressões maiores. Observa-se nessa argamassa um declive acentuado entre 1000 kPa e 10000 kPa. As demais argamassas têm curvas de comportamento semelhante. As misturas S9 e INC retêm menos

água nos poros com a mudança da pressão. No outro extremo, as argamassas VIN e SAP apresentam maior conteúdo de umidade com a variação da sucção.

Quanto à comparação entre as duas técnicas de obtenção das isotermas, foi possível concluir que os valores encontrados nas duas curvas tem melhor ajuste na faixa de maior sucção (menor umidade). Nos gráficos da Figura 6.17 estão apresentadas as curvas de conteúdo de umidade mássico versus a pressão, geradas pelo WP4C e pelas isotermas para cada argamassa. Percebe-se na argamassa SAP o ajuste das curvas foi inferior ao das demais argamassas.

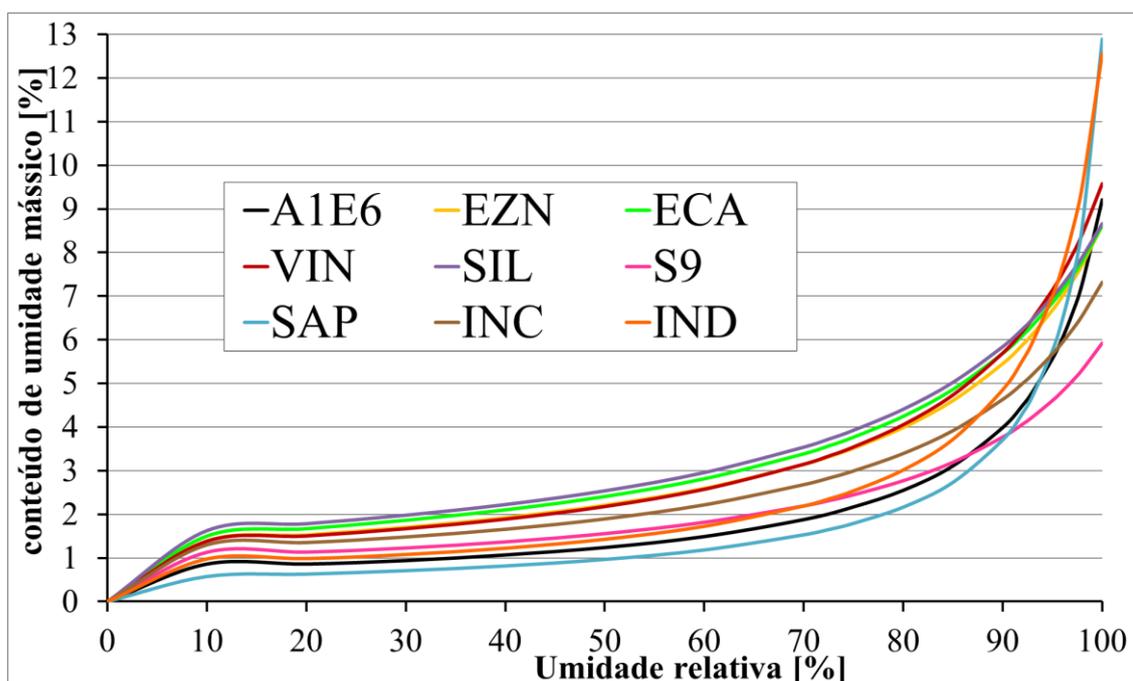
Figura 6.17 - Comparação das curvas de sucção de água e isotermas de desorção das argamassas aditivadas e industrializada



Em especial na argamassa SAP, nota-se que as duas curvas tem comportamentos distintos. Essa diferença pode ser atribuída à interferência do polímero no ensaio e no método de cálculo. Em relação ao ensaio, uma vez que a amostra foi seca a 50°C, o teor de água pode ter sido subestimado. Em relação ao cálculo, a pressão osmótica atribuída ao polímero superabsorvente e desconsiderada na lei de kelvin, pode resultar no deslocamento da curva real de sucção.

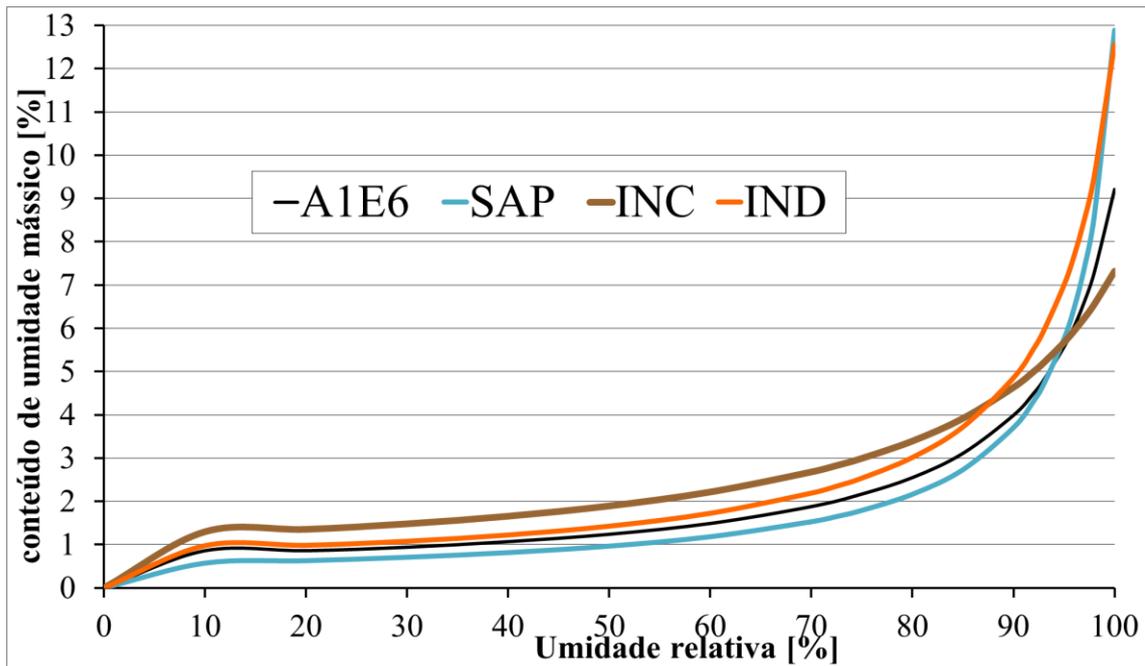
Ainda assim, optou-se por utilizar os resultados das curvas de sucção complementarmente aos resultados das isotermas obtidas por soluções salinas, para construir as curvas higroscópicas das argamassas. O resultado dos dados experimentais ajustados pelo modelo GAB é apresentado na Figura 6.18.

Figura 6.18 - Curvas higroscópicas das argamassas aditivadas obtidas a partir das isotermas de solução salina e WP4C



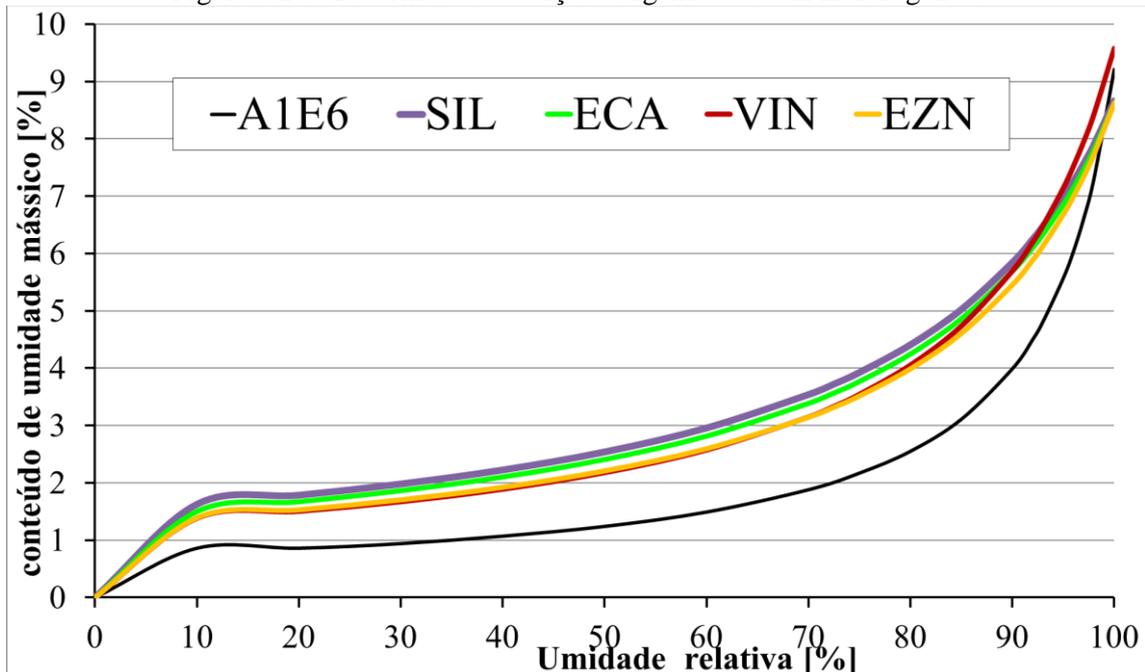
Na Figura 6.19 estão apresentadas as isotermas das argamassas sem aditivos hidrofugantes: SAP, INC e IND. Em comparação com a argamassa A1E6, IND e SAP apresentaram maior conteúdo de umidade na região de maior umidade. Na argamassa INC por sua vez o conteúdo de umidade foi mais alto ao longo do ensaio mas a partir do teor de umidade 0,9 observa-se que a dessorção diminuiu, indicada pela mudança na inclinação da curva.

Figura 6.19 - Isoterma de desorção - argamassas sem hidrofugantes



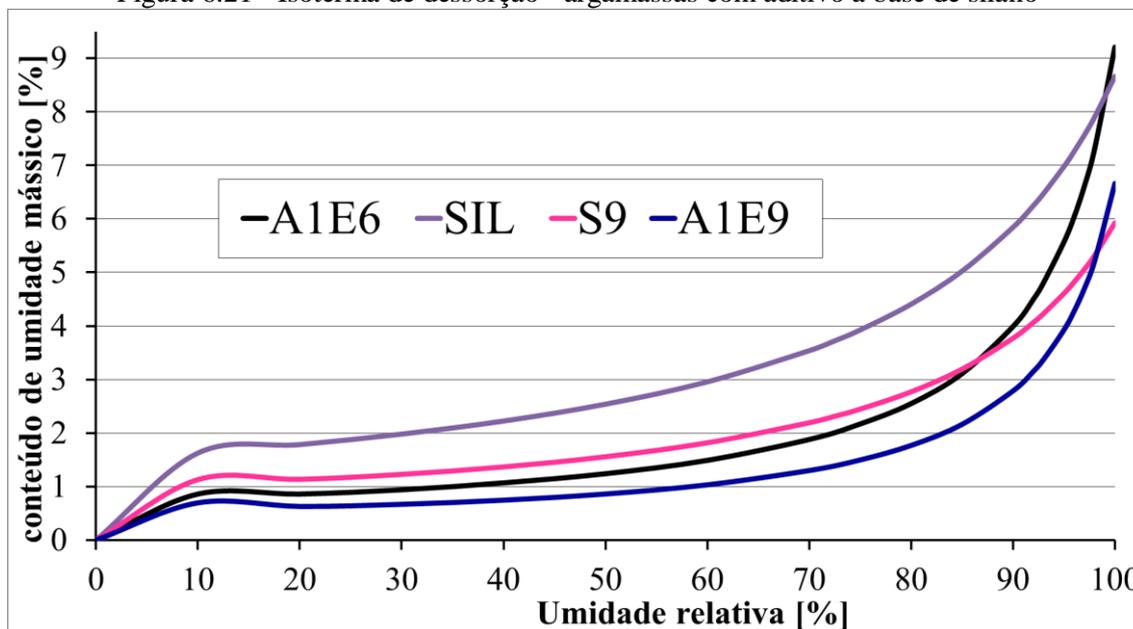
Em relação às argamassas com aditivos hidrofugantes, o conteúdo final de umidade medido se mostrou muito próximo ao da argamassa referência. No entanto, nos demais teores de umidade relativa, a quantidade de água retida nos poros das argamassas com hidrofugantes é maior do que a medida na argamassa referência (Figura 6.20).

Figura 6.20 - Isoterma de desorção - argamassas com hidrofugantes



Especificamente em relação ao aditivo à base de silano, na Figura 6.21 estão apresentadas as isotermas das argamassas SIL, S9, A1E6 e A1E9. Na argamassa S9 o conteúdo de umidade mensurado nos diferentes teores de umidade relativa foi mais baixo do que na argamassa SIL, porém muito semelhantes aos da argamassa A1E6.

Figura 6.21 - Isoterma de dessecção - argamassas com aditivo a base de silano



Em relação à argamassa referência A1E6, o comportamento da argamassa S9 se diferencia apenas em umidade teores de umidade relativa maiores que 0,8. Observa-se que para esses teores, as argamassas SIL e S9 tem menor afinidade para retenção de umidade, indicada pela mudança na inclinação da curva. Ao se comparar a isoterma da argamassa S9 com a argamassa A1E9 tem-se a mesma observação feita em relação à SIL e A1E6. A argamassa com aditivo (S9) apresenta maior conteúdo de umidade mensurado ao longo do ensaio, mas em umidade relativas elevadas o conteúdo de umidade mássico é muito semelhante ao da argamassa referência (A1E9).

### 6.2.2 – Absorção de água

Na Tabela 6.5 estão apresentados os coeficientes de capilaridade e absorvidade das argamassas. Observa-se que apenas a argamassa industrializada (IND) tem absorção por capilaridade superior à argamassa referência. Na mistura com polímero superabsorvente o coeficiente de capilaridade mensurado foi  $2,7 \text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$  e a absorvidade  $0,33 \text{ mm} \cdot \text{min}^{0,5}$ . Esses valores são ligeiramente inferiores aos valores da argamassa A1E6:  $3,0$

$\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$  e  $0,38 \text{ mm} \cdot \text{min}^{0,5}$ , respectivamente coeficiente de capilaridade e absorvidade.

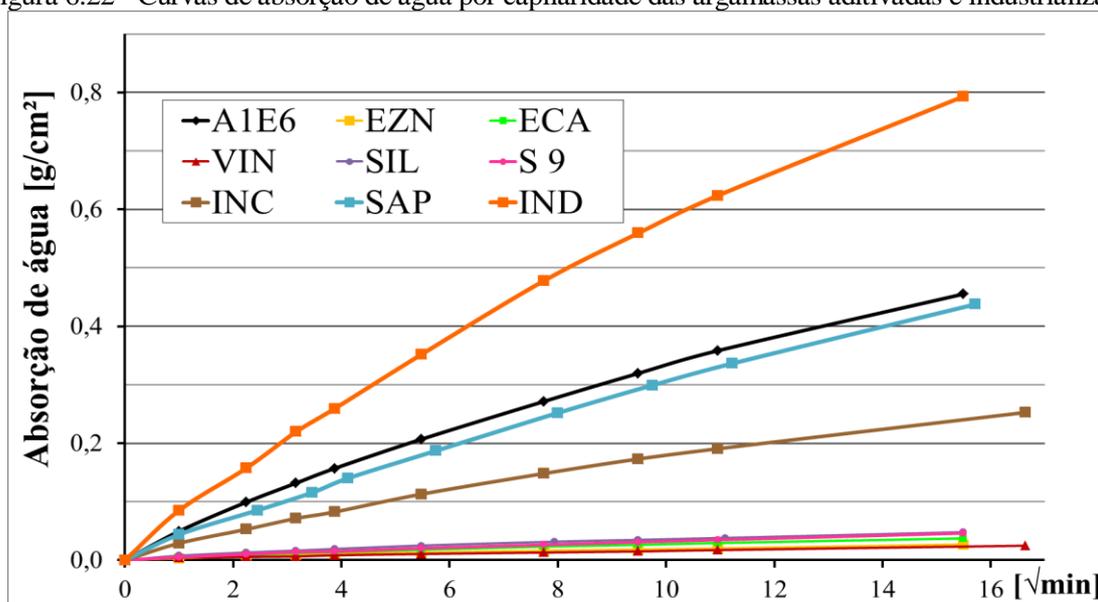
Tabela 6.5 - Características de absorção de água das argamassas com aditivos e industrializadas

	A1E6	EZN	SIL	ECA	VIN	INC	S9	SAP	IND
<b>Coefficiente de capilaridade (NBR 15259 e EN 1015-18) <math>[\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})]</math></b>	3,0	0,2	0,3	0,2	0,1	1,5	0,3	2,7	5,1
<b>Absorvidade <math>[\text{mm} \cdot \text{min}^{0,5}]</math></b>	0,38	0,02	0,05	0,03	0,02	0,21	0,04	0,33	0,64

A argamassa com aditivo incorporador de ar também se mostrou menos propícia ao transporte de água líquida a partir da capilaridade se comparada à argamassa referência. Os valores aferidos para coeficiente de capilaridade e absorvidade são:  $1,5 \text{ g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$  e  $0,21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{0,5}$ , respectivamente. Na Figura 6.22 é possível observar o comportamento das argamassas ao longo do tempo, comparadas à argamassa referência.

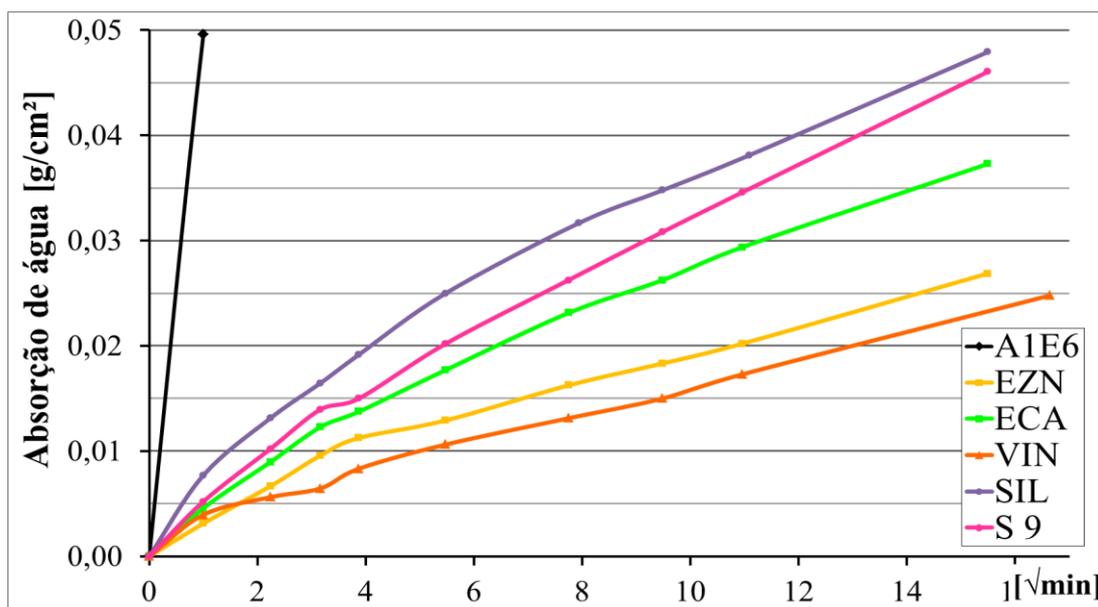
Os menores valores foram registrados nas argamassas com aditivos hidrofugantes. Uma vez que a absorção de água por capilaridade foi utilizada como parâmetro para definição do teor de aditivo, os resultados apresentados na comprovam a eficácia da dosagem experimental para produzir argamassas com coeficientes de capilaridade muito inferiores ao da argamassa referência.

Figura 6.22 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas aditivadas e industrializada



De maneira geral, é possível afirmar que todas as argamassas com hidrofugantes tem comportamento semelhante quanto ao transporte de água. Ainda que a variação seja pequena, na Figura 6.23 é possível observar que a argamassa VIN foi a mais eficiente na restrição do transporte de água. A argamassa ECA tem comportamento muito semelhante à argamassa VIN. As demais argamassas (ECA, SIL e S9) absorvem mais água ao longo do ensaio.

Figura 6.23 - Curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas com hidrofugantes



Especificamente quanto às argamassas SIL e S9, o coeficiente de capilaridade é o mesmo nas duas argamassas. Nota-se que a velocidade de molhagem (absortividade) é maior na argamassa SIL ( $0,05 \text{ mm} \cdot \text{min}^{0,5}$ ), com maior teor de aglomerante que S9 ( $0,04 \text{ mm} \cdot \text{min}^{0,5}$ ). A quantidade de água absorvida por SIL é superior à absorvida por S9 ao longo do ensaio de absorção. Apesar da diferença entre as duas argamassas não ser significativa em termos de comportamento macroscópico, os resultados encontrados contrariam a lógica observada nas argamassas sem aditivos. Em teoria, a menor quantidade de aglomerantes de S9 deveria contribuir com o transporte de água.

Entende-se, portanto, que o aditivo foi preponderante ao teor de aglomerante no transporte de água por capilaridade, por função química de impedir a atração às moléculas de água. No entanto, em termos globais de absorção de água, a diminuição do teor de aglomerantes contribuiu para o aumento do teor de água absorvido na argamassa S9 comparada à argamassa SIL.

Observa-se na Tabela 6.6 que a absorção de água por imersão na argamassa S9 é superior à argamassa SIL. As argamassas com hidrofugantes apresentaram menor absorção comparadas à referência. Especificamente na argamassa VIN, apesar desta apresentar o menor coeficiente de capilaridade, a absorção por imersão foi muito semelhante à registrada em A1E6. Semelhante ao observado em S9 entende-se que o aditivo impediu quimicamente a sucção capilar.

Tabela 6.6 - Características de saturação em água das argamassas

	A1E6	EZN	SIL	ECA	VIN	INC	S9	SAP	IND
A - absorção por imersão (NBR 9778) - [%]	13	8	8	9	12	26	11	13	29

A argamassa com incorporador de ar também apresentou menor coeficiente de capilaridade que A1E6, mas nesse caso o percentual de absorção foi superior ao registrado na referência. Não é possível afirmar que o baixo coeficiente de capilaridade seja resposta da ação química do aditivo pois não se trata de um produto hidrofugante. Provavelmente, o transporte de água por capilaridade foi dificultado pela modificação na estrutura porosa induzida pelo incorporador de ar.

### 6.2.3 – Permeabilidade ao vapor de água

Na Tabela 6.7 estão apresentados os resultados da caracterização quanto à permeabilidade ao vapor de água das argamassas com aditivos e industrializadas. A permeabilidade ao vapor diminuiu com a adição de produtos hidrofugantes. Esses valores de permeabilidade indicam que o uso desses revestimentos equivale, em termos de permeabilidade, a adoção de uma camada isolante de ar com espessura variando de 0,39 m à 0,64m, comparadas à 0,36 m da argamassa referência.

Tabela 6.7 - Parâmetros de permeabilidade ao vapor de água das argamassas aditivadas e industrializada

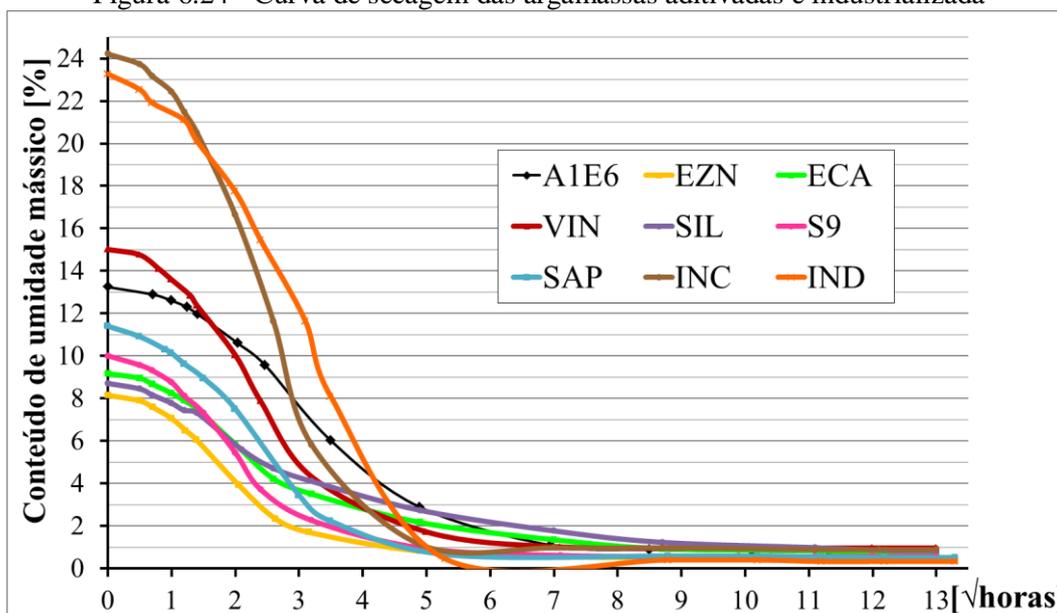
	A1E6	EZN	SIL	ECA	VIN	INC	S9	SAP	IND
$\delta$ - Permeabilidade ao vapor de água [(10 <sup>-12</sup> )kg/(m.s.Pa)]	7,0	4,1	3,5	3,8	3,1	1,4	4,7	6,6	1,7
Sd - Espessura de ar equivalente [m]	0,36	0,45	0,46	0,53	0,64	0,17	0,39	0,30	0,12
$\mu$ - fator de resistência à difusão do vapor de água	28	47	55	50	62	12	41	29	10

A argamassa SAP se mostrou muito semelhante à referência, já as argamassas INC e IND são mais permeáveis ao vapor de água. Dessa forma, percebe-se que o fator de resistência à difusão do vapor de água ( $\mu$ ) aumenta com a adição de produtos hidrofugantes e menor com a incorporação de ar.

#### 6.2.4 – Secagem

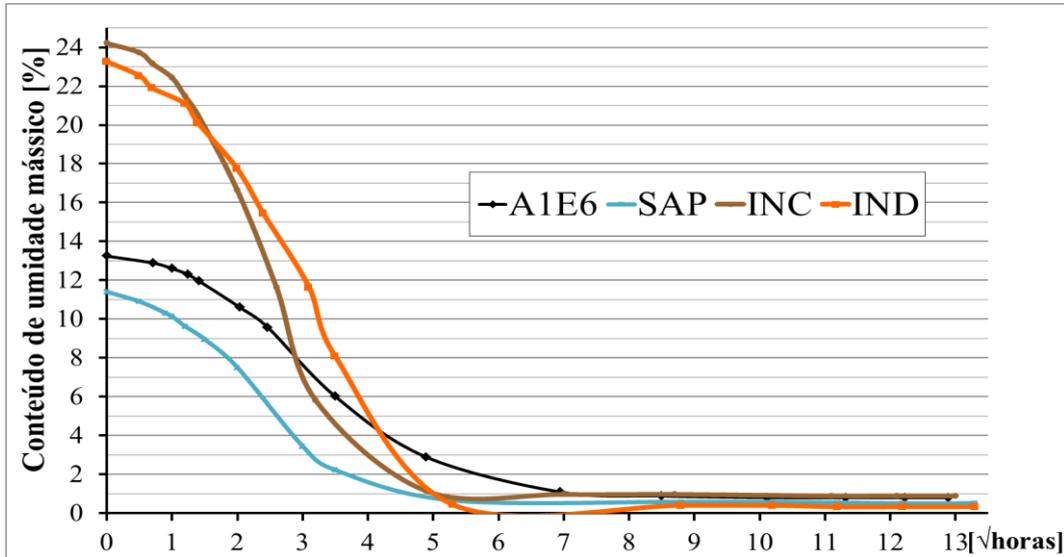
As curvas de secagem das argamassas apresentadas na Figura 6.24. Embora o método de saturação adotado tenha sido o mesmo para todas as amostras, para algumas argamassas o conteúdo de umidade mássico do início da secagem não foi semelhante ao obtido no ensaio de absorção por imersão (Tabela 5.7). As maiores discrepâncias foram observadas para as argamassas SAP, cujo teor de água é superior no ensaio de absorção; e VIN, que absorveu mais água no início da secagem. Entende-se que as diferenças se devem ao fato dos corpos de prova terem dimensões distintas, somado à ação dos aditivos.

Figura 6.24 - Curva de secagem das argamassas aditivadas e industrializada



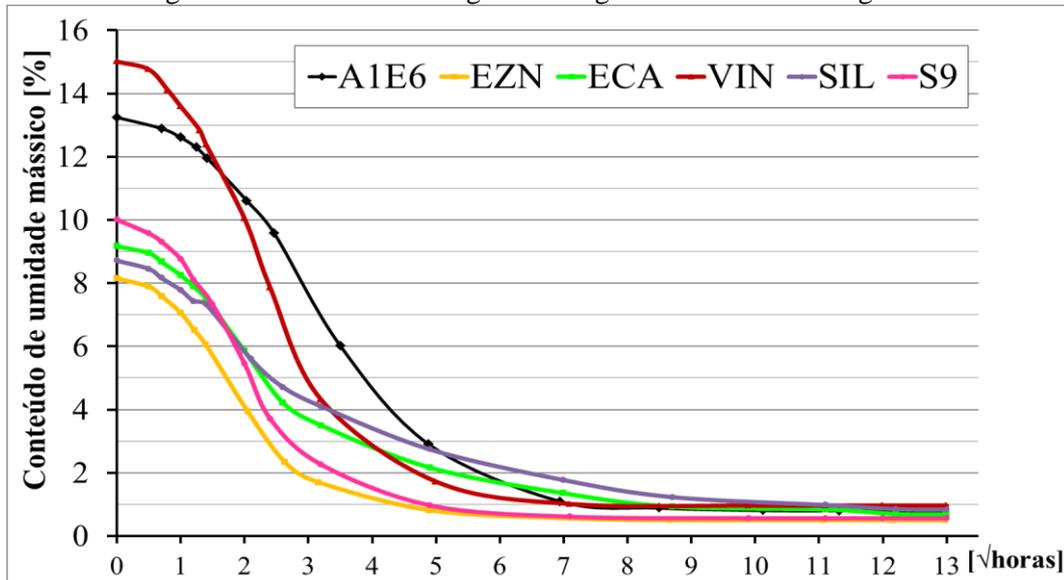
Ainda assim, as curvas foram consideradas válidas para análise do comportamento na secagem. Na Figura 6.25 estão expostas a curva de secagem das argamassas INC, SAP e IND. Nota-se que as argamassas INC e IND absorvem maior conteúdo de água mas o acentuado declive na curva de secagem indica que essas argamassas perdem água com velocidade maior que a argamassa A1E6. Na argamassa SAP esse aumento da velocidade de secagem é menos acentuado.

Figura 6.25 - Curva de secagem das argamassas INC, SAP e IND



Nas argamassas com hidrofugantes, são notados comportamentos distintos entre as argamassas (Figura 6.26). As misturas VIN e S9 tem velocidade de secagem maior que a argamassa referência. Nas argamassas EZN, ECA e SIL observar-se que a inclinação da reta de secagem é mais acentuada nas primeiras horas e por volta de 4 horas de ensaio ( $\sqrt{\text{horas}}=2$ ) a taxa de secagem diminui e as argamassas passam a perder água mais lentamente que a argamassa referência.

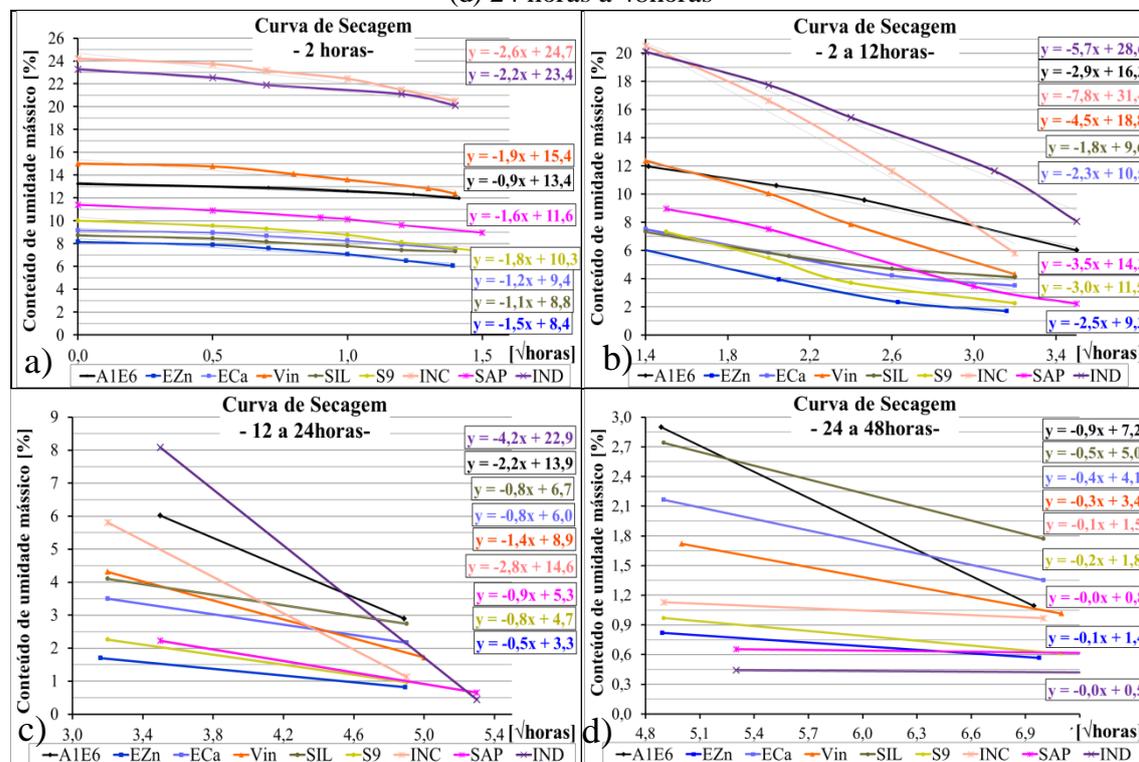
Figura 6.26 - Curva de secagem das argamassas com hidrofugantes



Essas observações podem ser verificadas nos gráficos da Figura 6.27. Observa-se nas duas primeiras horas de secagem que a taxa de secagem ( $\%/\sqrt{h}$ ) é mais elevada para todas as argamassas comparadas à referência (Figura 6.27-a). Entre 2 e 12 horas de ensaio, a

velocidade de secagem aumenta em todas as argamassas, mas se tornam pronunciadamente maiores nas argamassas IND e INC (Figura 6.27-b). Nesse ponto a taxa de secagem da argamassa referência é mais elevada do que nas argamassas EZN, ECA e SIL.

Figura 6.27 – Cinética de secagem. (a) 2 horas; (b) de 2 horas a 12 horas; (c) 12 horas a 24 horas (d) 24 horas a 48 horas



Entre 12 horas e 24 horas de ensaio há uma redução na taxa de secagem de todas as argamassas (Figura 6.27-c). Nesse trecho todas as argamassas com hidrofugante, inclusive VIN e S9, secam a uma taxa mais lenta que a argamassa referência. As argamassas IND e INC ainda tem a maior taxa de secagem nesse trecho, seguidas da argamassa referência.

Já no período seguinte, entre 24 e 48 horas, a argamassa A1E6 ainda possui taxa de secagem significativa enquanto as demais estão quase estabilizadas. Observa-se que apenas SIL, ECA e VIN tem conteúdo de umidade acima de 1,0% (Figura 6.27-d).

A taxa de secagem em cada fase é apresentada na Tabela 6.8. Observa-se que a mudança na velocidade de secagem se reflete no índice de secagem. Dentre as argamassas com hidrofugantes, SIL e ECA possuem maior índice de secagem, por consequência da redução na velocidade de secagem. Comparadas à argamassa referência, SIL tem maior resistência

a secagem ( $I_s=0,16$ ) e ECA teve resultado muito próximo de A1E6 ( $I_s=0,13$ ). Nas demais argamassas os índices de secagem variaram entre 0,07 e 0,09.

A redução da resistência à secagem foi acompanhada da diminuição do conteúdo de umidade ao fim da secagem, com exceção de VIN e INC. Nessas argamassas, apesar da maior velocidade de secagem, o conteúdo de umidade mensurado ao fim do ensaio foi maior que o registrado em A1E6.

Tabela 6.8 - Índice de secagem das argamassas com aditivos e industrializada

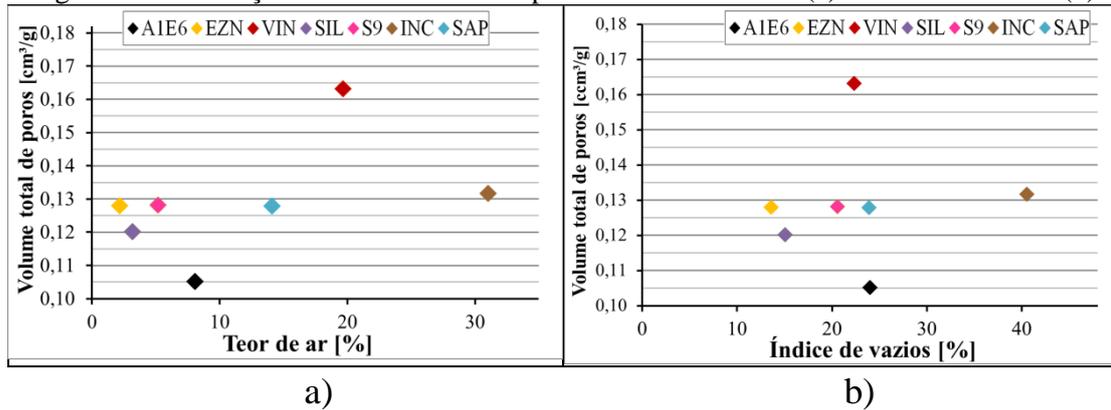
	<b>A1E6</b>	<b>EZN</b>	<b>SIL</b>	<b>ECA</b>	<b>VIN</b>	<b>INC</b>	<b>S9</b>	<b>SAP</b>	<b>IND</b>
Taxa de secagem [%/ $\sqrt{h}$ ] <b>0 - 2 horas</b>	0,9	1,5	1,1	1,2	1,9	2,6	1,8	1,6	2,2
Taxa de secagem [%/ $\sqrt{h}$ ] <b>2 - 12 horas</b>	2,9	2,5	1,8	2,3	4,5	7,8	3,0	3,5	5,7
Taxa de secagem [%/ $\sqrt{h}$ ] <b>12 - 24 horas</b>	2,2	0,5	0,8	0,8	1,4	2,8	0,8	0,9	4,2
<b>Is - índice de Secagem</b>	0,14	0,08	0,16	0,13	0,09	0,07	0,08	0,09	0,08
Conteúdo de umidade ao fim da secagem [%]	0,79	0,50	0,83	0,68	0,96	0,89	0,56	0,51	0,33

### 6.3 – DISCUSSÃO

Neste capítulo foram apresentados os resultados dos ensaios de caracterização da estrutura e comportamento de argamassas com aditivos e industrializada. Ao contrário do observado no Capítulo 5, não foi possível observar uma tendência global na mudança de comportamento das argamassas com a incorporação de aditivos na mistura.

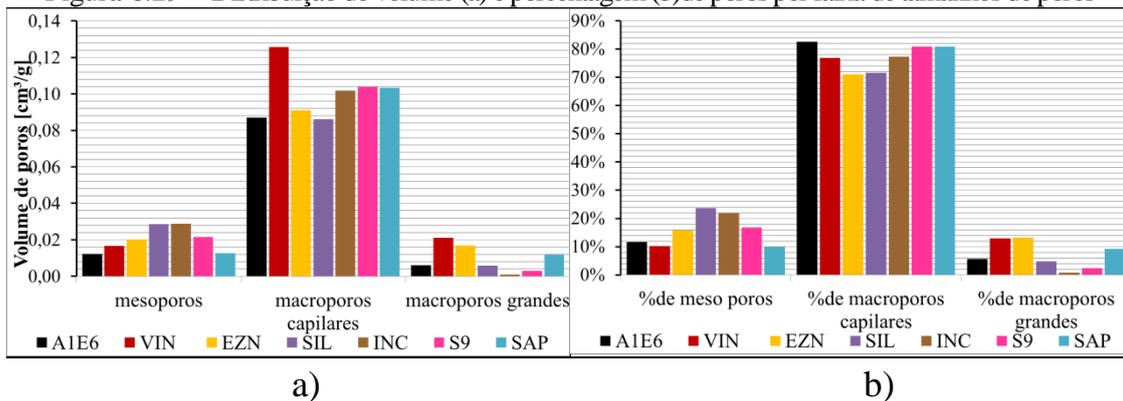
Como cada aditivo tem o seu princípio de ação, a maneira como os aditivos afetam as propriedades no estado fresco e endurecido foi diferente para cada produto utilizado. Observa-se que todas as argamassas aditivadas possuem volume total de poros superior à argamassa referência. Esse resultado contraria o observado por Falchi et al. (2015) em argamassas de cimento, nas quais somente a adição de um aditivo vinílico provocou o aumento do volume total de poros. Na Figura 6.28 nota-se, no entanto, que o volume de poros não se relaciona diretamente com o teor de ar na mistura fresca tão pouco pelo índice de vazios medido no estado endurecido.

Figura 6.28 – Relação do Volume total de poros com o teor de ar (a) e índice de vazios (b)



Percebe-se o papel do aditivo na formação dos poros analisando os gráficos da Figura 6.29. O silano utilizado para produzir a argamassa SIL diminuiu o teor de ar incorporado e índice de vazios desta argamassa apesar de contribuir para um significativo aumento de mesoporos na argamassa. Comportamento semelhante foi observado por Falchi et al. (2013) que notaram um aumento no volume de poros menores que 0,1µm.

Figura 6.29 – Distribuição do volume (a) e porcentagem (b) de poros por faixa de tamanhos de poros

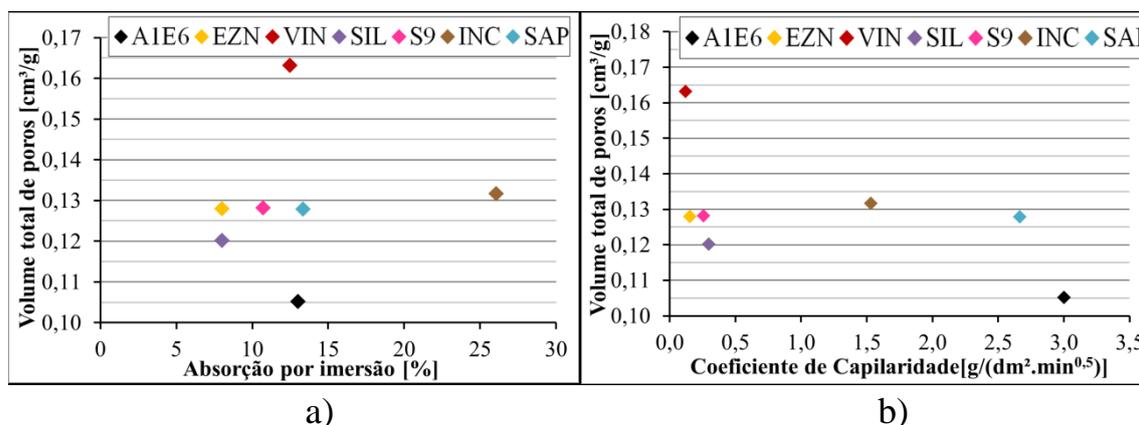


É possível inferir que o estearato de zinco apesar de ser um produto tensoativo, tem baixa solubilidade o que não favoreceu a formação de micelas de ar incorporado tanto quanto o incorporador de ar. Esse aditivo contribuiu mais para o aumento do volume de macroporos grandes, ao contrário do incorporador de ar que formou poros capilares e mesoporos. Na argamassa VIN o efeito do aditivo também foi o aumento do volume de macroporos. Nessa argamassa o aumento da porosidade foi evidenciado pelo aumento do teor de ar e consequente aumento no índice de vazios. Em geral observa-se que em termos de estrutura porosa a argamassa VIN é bastante diferente das demais argamassas com aditivos hidrofugantes.

No entanto, quanto às propriedades relativas ao transporte de água, o comportamento das argamassas pode ser separado em grupos. Nota-se que a argamassa IND favorece o transporte de água mais que a argamassa A1E6. As argamassas sem hidrofugantes INC e SAP em geral se comportam de maneira mais semelhante à argamassa referência A1E6. Já o grupo constituído pelas argamassas com hidrofugantes, não favorecem o transporte de água entre os poros.

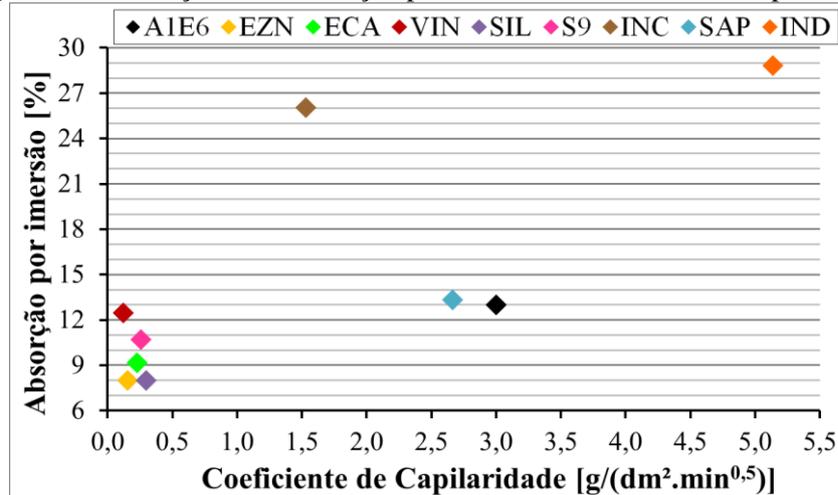
A argamassa VIN, por exemplo, conforme salientado anteriormente, possui o maior volume de poros dentre as argamassas hidrofugantes. Por isso a absorção de água por imersão é semelhante à da argamassa referência. No entanto, observa-se que a absorção por capilaridade desta argamassa é semelhante às demais argamassas com hidrofugantes (Figura 6.30). Esse fato se deve a ação dos aditivos que tem por objetivo repelir a água. No entanto, observa-se que a ação secundária desses aditivos modificando a estrutura porosa, também contribui para impedir o ingresso da água.

Figura 6.30 - Relação entre volume de poros (PIM) e absorção de água por imersão (a) e capilaridade (b)



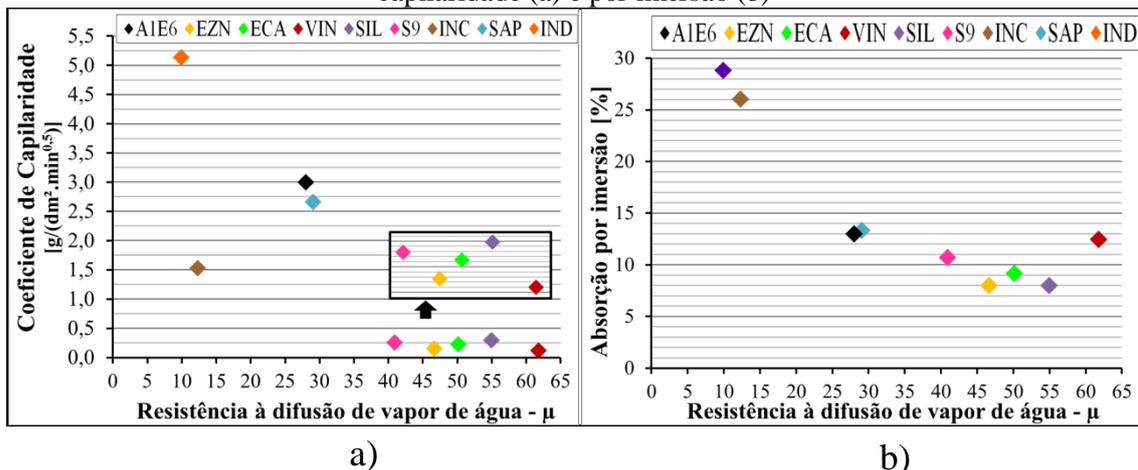
Observando os valores de absorção de água por imersão e do coeficiente de capilaridade, nota-se que a ação do aditivo é muito preponderante na molhagem por capilaridade (Figura 6.31). A argamassa VIN tem coeficiente de capilaridade muito semelhante às das demais argamassas com hidrofugantes, apesar da absorção por imersão ser mais semelhante à argamassa A1E6, refletindo o efeito hidrofugante do aditivo. Já na argamassa INC, o coeficiente de capilaridade pode ser agrupado junto aos das argamassas A1E6 e SAP. No entanto, o elevado volume de poros dessa argamassa é revelado na absorção por imersão, refletindo o efeito do aditivo na distribuição (conectividade) de poros.

Figura 6.31 - Relação entre absorção por imersão e coeficiente de capilaridade



De maneira semelhante, observa-se na Figura 6.32 que a ação do aditivo incorporador na distribuição dos poros não favorece a capilaridade, aumenta a absorção de água por imersão e a permeabilidade ao vapor, em relação à referência. As argamassas com hidrofugantes, por sua vez, se mostraram muito mais resistentes à difusão do vapor de água do que A1E6. Percebe-se para esse grupo que os hidrofugantes EZn ECa e Sil diminuíram a percolação de água líquida e também a difusão do vapor de água nas argamassas. Comportamento semelhante foi observado por Falchi et al. (2013).

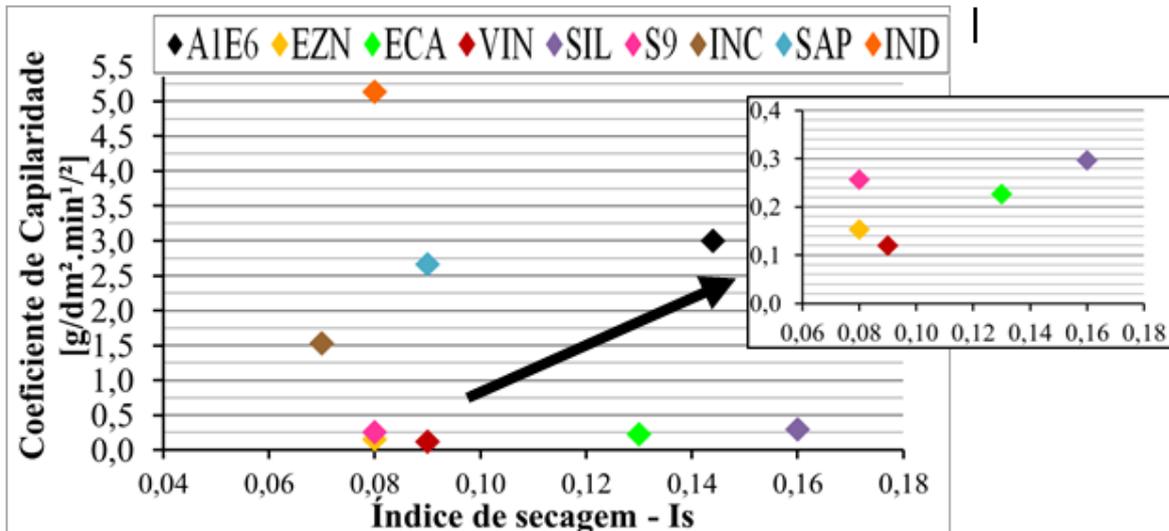
Figura 6.32 - Relação entre a resistência à difusão do vapor de água e a absorção de água por capilaridade (a) e por imersão (b)



A presença dos aditivos também interferiu na secagem das argamassas. Conforme observado no Capítulo 5, seria esperado uma relação negativa entre o transporte de água por capilaridade e a secagem das argamassas. No entanto, esta relação não é observada na Figura 6.33. Em relação à argamassa referência A1E6, nota-se que apenas a argamassa

industrializada obedece o proposto na Etapa 1 do programa experimental. Para as demais, o índice de secagem é menor com a diminuição do coeficiente de capilaridade.

Figura 6.33 - Relação entre coeficiente de capilaridade e índice de secagem



Para cada grupo de argamassa esse comportamento sugere uma justificativa. Em relação à argamassa INC, uma vez saturada a continuidade dos poros do interior para a superfície não é interrompida até que a frente de secagem avance para o interior da argamassa. Nesse caso, conforme observado anteriormente, a porosidade da argamassa favorece a passagem do vapor de água.

No caso da argamassa SAP, seria esperado que ela se comportasse de maneira mais semelhante à argamassa AIE6. Uma vez que o polímero superabsorvente não modificou a capilaridade e o transporte de vapor, ele não deveria aumentar a velocidade de secagem. Uma possível explicação para esse comportamento pode ser a diferença de saturação observada no ensaio de absorção por imersão e no início da secagem.

Em relação às argamassas com hidrofugantes, ao se observar as curvas de secagem, é possível inferir que a saturação das argamassas não é completa por ação dos aditivos. Conforme o aditivo se encontra na superfície do poro, a água somente é adsorvida onde não há aditivo. Dessa forma, no início da secagem a velocidade é alta pois está ocorrendo a evaporação de moléculas de água livre. A queda na velocidade de secagem é retardada em relação à argamassa referência pois a proporção de água que não está adsorvida na parede dos poros é maior que nas demais argamassas.

Em síntese, o comportamento dessas argamassas quanto ao transporte de água foi fortemente afetado pela presença de aditivos, hidrofugantes ou não. De acordo com a Tabela 6.9, pode se dizer que as argamassas EZN e VIN seriam mais adequadas para a proteção de um substrato poroso. Essas argamassas apresentaram melhor desempenho quanto ao transporte de água líquida e vapor.

Tabela 6.9 - Síntese dos resultados e eficiência das argamassas quanto ao transporte de água

		<b>Coefficiente de Capilaridade</b> [g/(dm <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	<b>Absorção imersão</b> A [%]	<b>Resistência à difusão de vapor de água - μ</b> (*MOLHAGEM)	<b>Conteúdo de umidade (dessorção)</b> [%]	<b>Resistência à difusão de vapor de água - μ</b> (**SECAGEM)	<b>Índice de Secagem</b> Is
<b>EZN</b>	●	0,2	● 8	● 47	● 8,6	● 47	● 0,08
<b>SIL</b>	●	0,3	● 8	● 55	● 8,7	● 55	● 0,16
<b>ECA</b>	●	0,2	● 9	● 50	● 8,6	● 50	● 0,13
<b>VIN</b>	●	0,1	● 12	● 62	● 9,6	● 62	● 0,09
<b>S 9</b>	●	0,3	● 26	● 41	● 5,9	● 41	● 0,08
<b>INC</b>	●	1,5	● 11	● 12	● 7,3	● 12	● 0,07
<b>SAP</b>	●	2,7	● 13	● 29	● 12,9	● 29	● 0,09
<b>A1E6</b>	●	3,0	● 29	● 28	● 9,2	● 28	● 0,14
<b>IND</b>	●	5,1	● 13	● 10	● 12,6	● 10	● 0,08

Escala de cores em ordem de eficiência na mitigação do transporte de água (verde > amarelo > vermelho)  
 \*a **maior** resistência à difusão de vapor de água foi considerada auxiliar na mitigação da molhagem  
 \*\*a **menor** resistência à difusão de vapor de água foi considerada auxiliar nos processos de secagem

A respeito da argamassa industrializada IND, algumas considerações cabem ser feitas. Em relação à A1E6, os resultados permitem classificar essa argamassa como pouco eficiente na mitigação do transporte de água. Quando comparada às argamassas estudadas na Etapa 1 do programa experimental (Tabela 5.12), pode-se dizer que o desempenho de IND é pior que o observado em A1E12 (a menos eficiente) para absorção por imersão, resistência à difusão do vapor de água e conteúdo de umidade medido na dessorção. No entanto, a argamassa IND apresenta coeficiente de capilaridade menor que A1E9 e índice de secagem equivalente à A2E9. Essas diferenças reiteram o descrito anteriormente sobre a complexidade da ação de aditivos em argamassas.

Quando se trata de argamassas industrializadas, a complexidade é maior devido à pouca informação sobre o tipo e teor de aditivo encontrada nas embalagens. Rodrigues Filho (2013) enfatiza que as argamassas industrializadas utilizam vários aditivos em sua formulação, sendo um dos principais os incorporadores de ar. Ao avaliar 15 argamassas industrializadas de uso geral encontradas no mercado da cidade de Brasília, este encontrou como resultado de coeficiente de capilaridade resultados variando entre 0,1 g/(cm<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>) a 17,7 g/(cm<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>). Dentro da amostra de Rodrigues Filho (2013), a argamassa IND seria classificada no grupo de desempenho intermediário.

Apesar da complexidade na interpretação dos resultados, é notório que a adição de produtos para impedir a passagem de água tornou as argamassas estudadas adequadas para proteção contra a água da chuva (Tabela 5.13). Todas as argamassas, com exceção da argamassa industrializada apresentaram coeficiente de proteção à água da chuva deve ser menores que 0,2 kg/(m.√h) (KÜNZEL et al., 2004).

Tabela 6.10 - Coeficiente de proteção à água da chuva (KÜNZEL et al., 2004)

	A1E6	EZN	SIL	ECA	VIN	INC	S9	SAP	IND
Coeficiente de absorção de água [kg/(m <sup>2</sup> .√h)]	2,33	0,12	0,23	0,18	0,09	1,19	0,20	2,06	3,98
Sd - Espessura de ar equivalente [m]	0,36	0,45	0,46	0,53	0,64	0,17	0,39	0,30	0,12
<b>Coeficiente de proteção à água da chuva - C<sub>RP</sub> [kg/(m.√h)]</b>	0,84	0,05	0,11	0,09	0,06	0,20	0,08	0,62	0,48

Quanto aos outros requisitos mínimos, a argamassa IND, SAP e a referência não seriam adequadas para serem aplicadas em paredes expostas à chuva ou enterradas por apresentarem coeficiente de capilaridade maior que 2,5 g/(dm<sup>2</sup>.√min) (CSTB, 1993).

## **7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

A seguir são apresentadas algumas considerações finais sobre a estrutura porosa e o transporte de água em argamassas, válidas para as argamassas abordadas neste estudo e sugestões para futuras pesquisas.

### **7.1 – CONCLUSÕES**

Com base na análise dos resultados pode-se dizer que esta pesquisa teve êxito em estudar o transporte de água das argamassas tanto na umidificação quanto na secagem e contribuíram para fornecer parâmetros higrotérmicos que podem ser utilizados para avaliação de argamassas brasileiras. Mais especificamente, em relação às argamassas mistas de cimento Portland, Cal Hidratada e areia natural foi possível avaliar separadamente a participação dos aglomerantes e dos agregados - ou seja, da composição e das características granulométricas - na formação da porosidade e nos mecanismos de transporte.

De maneira geral, o volume total de poros das argamassas A2 foi maior que o registrado nas argamassas A1. Porém, entende-se que a quantidade de aglomerantes foi preponderante na distribuição dos poros em relação ao tipo de agregado. À medida que se reduziu a quantidade de aglomerantes é que foi possível notar a diferença entre a dimensão dos poros das argamassas produzidas com agregados diferentes. Notou-se que o agregado mais fino e mais uniforme contribuiu para uma maior diversificação da dimensão de poros.

Quanto ao transporte de água, observou-se que a associação do volume total de poros com os mecanismos de transporte não é direta. Na higroscopicidade, por exemplo, o maior conteúdo de umidade mássico da argamassa é mais relacionado à maior superfície específica, do que necessariamente ao volume de poros. Isso indica a participação dos poros de menor dimensão, principalmente os mesoporos e microporos. O transporte de água líquida medido pela capilaridade e a difusão de vapor de água foram associados à higroscopicidade, mas também ao volume de poros grandes. No ensaio de secagem foi possível perceber o transporte de água líquida e vapor ocorrendo simultaneamente, principalmente até às 24 horas de ensaio.

Os aditivos por sua vez, interferiram no volume e na distribuição dimensional dos poros. Todas as argamassas avaliadas na Etapa 2 do programa experimental tem maior volume de poros que a argamassa referência A1E6. Cada aditivo alterou diferentemente a distribuição do volume de poros. Nas argamassas VIN e SAP observa-se o aumento do volume macroporos grandes e capilares, em relação à A1E6. As argamassas INC e S9 se mostraram mais porosas na faixa de poros capilares. Já SIL e EZN apresentaram maior volume de mesoporos. Ainda que não tenha sido objetivo deste trabalho avaliar a ação química dos aditivos, percebe-se a tendência (já esperada) de modificação da tensão superficial da água na mistura fresca, modificando o volume e diversificando a dimensão dos poros.

O transporte de água líquida e vapor nas argamassas com aditivos também foi influenciada pela porosidade, no entanto a ação dos hidrofugantes foi preponderante à distribuição e conectividade dos poros. A influência dos aditivos é notada mais fortemente no fenômeno de capilaridade, no qual o comportamento das argamassas com hidrofugantes foi muito distante do observado na argamassa A1E6. Nas demais propriedades, percebe-se a ação conjunta da modificação da estrutura porosa e dos aditivos.

Nesse sentido foi possível observar a ação secundária (como hidrofugante) no transporte de água dos aditivos Inc e Sap. O aditivo incorporador de ar, por exemplo, foi menos eficiente que os aditivos hidrofugantes, mas comparado à argamassa referência, absorveu menos água por capilaridade e favoreceu mais a secagem. Já a argamassa SAP somente foi mais eficiente que a argamassa referência no comportamento referente à secagem.

Dentre as argamassas com hidrofugantes, os resultados apontam as argamassas EZN e VIN como as mais eficientes para mitigar o transporte de água, na forma líquida e vapor, na molhagem e secagem. Os resultados da argamassa S9 mostram que o aditivo Sil tornou o desempenho de uma argamassa com menor teor de aglomerantes (A1E9) melhor que o observado na argamassa referência A1E6, em função da ação do aditivo como hidrofugante e também na diminuição do volume de poros. Comparando as duas argamassas com aditivo silano, SIL e S9, percebe-se que a argamassa com maior teor de aglomerantes (SIL) tem maior resistência à difusão de vapor de água, e em consequência maior índice de secagem, do que a argamassa com menor teor de aglomerantes (S9).

Em relação aos ensaios adotados nos programas experimentais conclui-se que as técnicas utilizadas possibilitaram diferenciar as argamassas estudadas. A caracterização dos poros por técnicas diferentes (PIM e adsorção de Nitrogênio) facilitou a análise das diferentes faixas de dimensões dos mesmos. No entanto, entende-se que a relação das técnicas implementadas (PIM, adsorção de nitrogênio e dessorção de ar) devem ser mais bem estudadas para garantir a comparação entre os resultados. A obtenção das isotermas de dessorção a partir da curva de sucção, por sua vez, é bastante promissora e permitiu avaliar a região capilar da curva higroscópica com maior segurança quanto aos valores de conteúdo de umidade mássico.

## **7.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com base nos resultados e nas referências apontadas ao longo do texto, percebe-se a necessidade de se trabalhar com parâmetros higrotérmicos que reflitam a realidade dos revestimentos brasileiros. Dessa forma, propõe-se continuar o estudo das argamassas propostas com o objetivo de elucidar os tópicos listados a seguir.

- Estudo da influência dos aditivos hidrofugantes em diferentes teores no comportamento reológico das argamassas, com o objetivo de indicar uma faixa de concentração em que a trabalhabilidade da argamassa não é significativamente afetada.
- Estudo do desempenho de argamassas com aditivos mitigadores do transporte de água frente à ação de mecanismos de degradação, por meio de ensaios cíclicos de molhagem e secagem e de cristalização de sais.
- Avaliação das curvas de sucção, observando parâmetros relativos à dimensão e número de amostras para caracterizar a adsorção e dessorção de argamassas.
- Estudo do desempenho higrotérmico das argamassas propostas com o intuito de propor uma classificação das propriedades de transporte, condizente com as condições brasileiras de exposição.

## REFERÊNCIAS

ALFANO, G.; CHIANCARELLA, C.; CIRILLO, E.; FATO, I.; MARTELLOTTA, F. Long-term performance of chemical damp-proof courses: Twelve years of laboratory testing. **Building and Environment**, v. 41, n. 8, p. 1060–1069, 2006.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C780**: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2014.

\_\_\_\_\_. **C1498**: Standard Test Method for Hygroscopic Sorption Isotherms of Building Materials. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2010.

\_\_\_\_\_. **C1699**: Standard Test Method for Moisture Retention Curves of Porous Building Materials Using Pressure Plates. ASTM Internacional, West Conshohocken, 2015.

ANDRADE, D. S.; BAUER, E.; PAES, I. N. L. Isotermas de dessorção de água em argamassas de cimento e cal. XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Anais...**, 2015.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Anais...**, 2003.

ANTUNES, G. R. **Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimentos de Fachada em Brasília - Sistematização da Incidência de Casos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

ARAÚJO Jr, J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 10908:** Aditivos para argamassa e concreto - Ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **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.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575 - 4**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ARANDIGOYEN, M.; BERNAL, J. L. P.; LÓPEZ, M. A. B.; ALVAREZ, J. I. Lime-pastes with different kneading water: Pore structure and capillary porosity. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 5, p. 1449–1459, 2005.

ARANDIGOYEN, M.; ALVAREZ, J. I. Blended pastes of cement and lime: Pore structure and capillary porosity. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 23, p. 8077–8085, 2006.

ATKINS, P. W. **Físico-Química** (Traduzido). 6ª Edição, Volume 3. Rio de Janeiro, 1999a

ATKINS, P. W. **Físico-Química** (Traduzido). 6ª Edição, Volume 1. Rio de Janeiro, 1999b

BARREIRA, E. S. B. M. **Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrotérmico**. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2004.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A.; SILVA, F. G. S. Study of the laboratory Vane test on mortars. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 86–92, 2007.

BAUER, E.; MOTA, N. M. B.; KRAUS, E.; PEREIRA, C. H. A. F. Rendering mortars consistency and its relationship with water demand and fine particles content. **e-mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, v. 3, n. 2, p. 91–102, 2006.

BAROGHEL-BOUNY, V. **Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes performances**. Tese de doutorado, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, França, 1994.

BAROGHEL-BOUNY, V. Water vapour sorption experiments on hardened cementitious materials. Part I: Essential tool for analysis of hygral behaviour and its relation to pore structure. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 3, p. 414–437, 2007

BEN ABDELHAMID, M.; MIHOUBI, D.; SGHAIER, J.; BELLAGI, A.. Water Sorption Isotherms and Thermodynamic Characteristics of Hardened Cement Paste and Mortar. **Transport in Porous Media**, v. 113, n. 2, p. 283–301 , 2016.

BENAVENTE, D.; GARCÍA DEL CURA, M.; FORT, R.; ORDÓÑEZ, S. Thermodynamic modelling of changes induced by salt pressure crystallisation in porous media of stone. **Journal of Crystal Growth**, v. 204, p. 168–178, 1999.

BERGER, J. **Contribution à la modélisation hygrothermique des bâtiments : Application des méthodes de réduction de modèle**. Tese de doutorado, Université de Grenoble, França, 2014.

BINDA, L.; BARONIO, G.; LUBELLI, B. Evaluation of site control techniques to assess the effectiveness of surface treatments on masonry. **Durability of Building Materials and Components**, v. 8, 1999.

BONIN, L. C.; KOPSCHITZ, P. X. CINCOTTO, M. A. Influência da distribuição granulométrica da areia na absorção capilar das argamassas de revestimento. III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argmassas. **Anais...**,1999

CAMUFFO, D. Condensation-evaporation cycles in pore and capillary systems according to the Kelvin Model. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 21, p. 151–159, 1982.

CASALI, J. M. **Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência.** Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CARDEIRA, A. M. C. **Análise macroscópica do efeito de dois modificadores de cristalização com baixa toxicidade.** Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2010.

CARMONA-QUIROGA, P.; MARTÍNEZ-RAMÍREZ, S.; SÁNCHEZ DE ROJAS, M.; BLANCO-VARELA, M. Surface water repellent-mediated change in lime mortar colour and gloss. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 2188–2193, 2010.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARVALHO, P. N. **Medição do Teor de humidade em Materiais de Construção.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2010.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1015 - 18:** Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Bruxelas, 2002.

\_\_\_\_\_. **EN 1015 - 19:** Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria - Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. Bruxelas, 2008.

\_\_\_\_\_. **EN 998 -1:** Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar. Bruxelas, 2010.

\_\_\_\_\_. **EN ISO 12571:** Hydrothermal Performance of Building Materials and Products – Determination of Hygroscopic Sorption Properties. 2000.

\_\_\_\_\_. **EN ISO 12572:** Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties. 2001.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation, Cahier des prescriptions techniques d'emploi et de mise en œuvre. Cahiers du CSTB 2669, 10-11, 1993

CHAROLA, A. E. Salts in the deterioration of porous. **Journal of the American Institute for Conservation**, 39, 327 – 343, 2000.

CULTRONE, G.; SEBASTIÁN, E.; ORTEGA HUERTAS, M. Durability of masonry systems: A laboratory study. **Construction and Building Materials** v. 21, n. 1, p. 40–51 , 2007

DAFICO, D.; FERRO, S.; CAVALCANTE, M. C. O. Análise de desempenho de aditivos impermeabilizantes para argamassas. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** , 2004. São Paulo.

DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.

DECAGON DEVICES, Inc. WP4 Water Dewpoint Potentiometer. Operator's Manual Version. Decagon Devices, Inc., Pullman, USA, 2014.

DIAMOND, S. Mercury porosimetry: an inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based material. **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 10, p. 1517–1525 , 2000.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Dissertação de mestrado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000

DULLIEN, F. A. L.; EL-SAYED, M. S.; BATRA, V. K. Rate of Capillary Rise in Porous Media with Nonuniform Pores. **Journal of Colloid and Interface Science**, Vol. 60, No. 3, 1977

FALCHI, L.; MÜLLER, U.; FONTANA, P.; IZZO, F. C. ZENDRI, E.. Influence and effectiveness of water-repellent admixtures on pozzolana-lime mortars for restoration application. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 272–280 , 2013.

FALCHI, L.; VARIN, C.; TOSCANO, G.; ZENDRI, E. Statistical analysis of the physical properties and durability of water-repellent mortars made with limestone cement, natural hydraulic lime and pozzolana-lime. **Construction and Building Materials**, v. 78, p. 260–270, 2015. Elsevier Ltd.

FARIA, D. J. A. **Caracterização do desempenho higrotérmico em serviço de edifícios escolares reabilitados**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2013.

FARIA, P.; RATO, V.; HENRIQUES, F. Argamassas Correntes : Influência do Tipo de Ligante e do Agregado. 2o Congresso Nacional de Argamassas De Construção, Lisboa, PORTUGAL. **Anais...** , 2007

FERNANDES, C. P. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consolidados**. Análise Experimental de uma argamassa de cal e cimento. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

FERNANDES, C. P. **Caracterização Morfo-topológica de espaços porosos: reconstituição multi-escala e simulação de processos de invasão de fluidos não-molhantes**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. Tese de doutorado, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, Portugal, 2009.

FREITAS, V. P. **Transferência de humidade em paredes de edifícios. Análise do fenómeno de interface**. Tese de doutorado, Universidade do Porto, Portugal, 1992.

FREITAS, V. P.; PINTO, P. S. **Permeabilidade ao vapor de materiais de construção - condensações internas**. 2.ed. Nota de informação técnica - NIT – 002 do Laboratório de Física das Construções - LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2000.

FREITAS, V. P.; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. 1o ed. Porto: Gráfica Maiadouro, 2008.

GEWEHR, U. **Aplicabilidade e Eficiência de dois métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de uma revisão bibliográfica e de um estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GONÇALVES, T D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. Tese de doutorado, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, Portugal, 2007.

GONÇALVES, J. J. P. **Difusão de Compostos Orgânicos Voláteis em Materiais de Construção. Influência da Microestrutura**. Dissertação de mestrado, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

GONÇALVES, T. D.; PEL, L.; RODRIGUES, J. D. Influence of paints on drying and salt distribution processes in porous building materials. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 1751–1759, 2009.

GONG, F.; ZHANG, D.; SICAT, E.; UEDA, T. Empirical Estimation of Pore Size Distribution in Cement, Mortar and Concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 26, n. 7, 2013.

GUMMERSON, R J; HALL, C; HOFF, W D. Water Movement in Porous Building Materials - II Hydraulic Suction and Sorptivity of Brick and Other Masonry Materials. **Building and Environment**, v. 15, p. 101–108, 1980.

HALL, C. Water Movement in Porous Building Materials - I Unsaturated Flow Theory and its Applications. **Building and Environment**, v. 12, p. 117–125, 1977.

HALL, C. Water Movement in Porous Building Materials - IV The Initial Surface Absorption and the Sorptivity. **Building and Environment**, v. 16, n. 3, p. 201–207, 1981.

HALL, C; HOFF, W D; NIXON, M R. Water Movement in Porous Building Materials - VI Evaporation and Drying in Brick and Block Materials. **Building and Environment**, v. 19, n. 1, p. 13 – 20, 1984.

HALL, C; TSE, T K M. Water movement in porous building materials - VII The sorptivity of mortars. **Building and Environment**, v. 21, n. 2, p. 113–118, 1986.

HOPPE FILHO, J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

I'ANSON, S. J.; HOFF, W. D.; GUMMERSON, R. J.; HALL, C.; HOFF, W. D. Water Movement in Porous Building Materials-II. Hydraulic Suction and Sorptivity of Brick and Other Masonry Materials. **Building and Environment**, v. 15, p. 101–108, 1980.

ISSAADI, N.; NOUVIAIRE, A.; BELARBI, R.; AÏT-MOKHTAR, A. Moisture characterization of cementitious material properties: Assessment of water vapor sorption isotherm and permeability variation with ages. **Construction and Building Materials** v. 83, p. 237–247 , 2015.

IZAGUIRRE, A.; LANAS, J.; ÁLVAREZ, J. I. Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 39, n. 11, p. 1095–1104, 2009.

IZAGUIRRE, A.; LANAS, J.; ÁLVAREZ, J. I. Ageing of lime mortars with admixtures: Durability and strength assessment. **Cement and Concrete Research**, v. 40, n. 7, p. 1081–1095, 2010.

JANZ, M. **Moisture transport and fixation in porous materials at high moisture levels.** Tese de doutorado, Lund University, Suécia, 2000.

JUENGER, M. C.; JENNINGS, H. M. The use of nitrogen adsorption to assess the microstructure of cement paste. **Cement and Concrete Research** v. 31, n. 6, p. 883–892 , 2001.

KAUFMANN, J; LOSER, R; LEEMANN, A. Analysis of cement-bonded materials by multi-cycle mercury intrusion and nitrogen sorption. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 336, n. 2, p. 730–737 , 2009

KLEMM, A. J.; SIKORA, K. S. The effect of Superabsorbent Polymers (SAP) on microstructure and mechanical properties of fly ash cementitious mortars. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 134–143, 2013.

KRUS, M.; KIEJ, K. Determination of the moisture storage characteristics of porous capillary active materials. **Materials and Structures**, v. 31, n. October, p. 522–529, 1998.

KUISHAN, L.; XU, Z.; JUN, G. Experimental Investigation of Hygrothermal Parameters of Building Materials Under Isothermal Conditions. **Journal of Building Physics**, v. 32, n. 4, p. 355–370, 2009.

KÜNZEL, H. M.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. **Rain Protection of Stucco Facades.** ASHRAE, 2004

LANZÓN, M.; GARCÍA-RUIZ, P. A. Effectiveness and durability evaluation of rendering mortars made with metallic soaps and powdered silicone. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 12, p. 2308–2315, 2008.

LANZÓN, M.; GARCÍA-RUIZ, P. A. Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 3287–3291, 2009.

LANZÓN, M.; GARRIDO, A.; GARCÍA-RUIZ, P. A. Stabilization of sodium oleate as calcium oleate in cement-based mortars made with limestone fillers. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 1001–1008, 2011.

LARA, P. L. O. **Análise da relação entre propriedades de transporte de água e os mecanismos de corrosão das armaduras**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

LEE, H. X. D.; WONG, H. S.; BUENFELD, N. R. Self-sealing of cracks in concrete using superabsorbent polymers. **Cement and Concrete Research**, v. 79, p. 194–208, 2015.

LI, W.; WITTMANN, F. H.; JIANG, R.; ZHAO, T.; WOLFSEHER, R. Metal soaps for the production of integral water repellent concrete. 6th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials. **Anais...** . p.145–154, 2011.

LUBELLI, B., VAN HEES, R. P. J., GROOT, C. J. W. P. Sodium chloride crystallization in a “salt transporting” restoration plaster. **Cement and Concrete Research**, 36, 1467 – 1474, 2006.

LUBELLI, B.; VAN HEES, R. P. J.; HACQUEBORD, A. Experimental study of the distribution of chemical products against rising damp in substrates with different water saturation degrees. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 891–898, 2013.

LUBELLI, B., ROOIJ, M. NaCl crystallization in restoration plasters. **Construction and Building Materials**, 23, 1736–1742, 2009.

MANZANO, M. A. R.; ANDRADE NETO, W. N.; SILVA, E. F.; LOPES, A. N. M. Análise da caracterização de um polímero superabsorvente utilizado em materiais cimentícios. In: **XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção - CONPAT 2015**, 2015, Lisboa.

MANZANO, M. A. R. **Estudo experimental de materiais cimentícios de alta resistência modificados com polímeros superabsorventes (PSAs) como agentes de cura interna**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MARAVELAKI-KALAITZAKI, P. Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry. **Cement and Concrete Research**, 37(April 2005), 283 – 290, 2007.

MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. Drying Kinetics of Some Building Materials. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 02, p. 203–208, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais** – 3ª edição. Ed.:IBRACON. ISBN.: 978-85-98576121. Português, p. 674, 2008.

MENDES, N. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MIKHAIL, R. S.; COPELAND, L. E.; BRUNAUER, S. Pore structures and surface areas of hardened Portland Cement pastes by Nitrogen adsorption. **Canadian Journal of Chemistry**, v. 42, 1964.

MOSQUERA, M. J.; SILVA, B.; PRIETO, B.; RUIZ-HERRERA, E. Addition of cement to lime-based mortars: Effect on pore structure and vapor transport. **Cement and Concrete Research**, v. 36, n. 9, p. 1635–1642, 2006

MOURA, C. B. **Aderência dos revestimentos externos de argamassas em substratos de concreto: Influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MUSTELIER, N L. **Estimativa do comportamento de paredes no ensaio de penetração de água de chuva através das propriedades de transferência de umidade dos materiais constituintes**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PÁSCOA, L. **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores**. Dissertação de mestrado, Instituto Técnico de Lisboa, Portugal, 2012.

PAIVA, H.; ESTEVES, L. P.; CACHIM, P. B.; FERREIRA, V. M. Rheology and hardened properties of single-coat render mortars with different types of water retaining agents. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 1141–1146, 2009.

PEL, L.; KOPINGA, K.; BROCKEN, H. J. P. Moisture Transport in Porous Building Materials. **Heron** v. 41, n. 2 , 1996.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

PHILIPPI, P. C.; FERNANDES, C. P.; ROSENDO YUNES, P. Higroscopicidade e Capilaridade nos Materiais de Construção. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**, 1993.

PHILIPPI, P. C.; ROSENDO YUNES, P.; FERNANDES, C. P.; MAGNANAI, F. S. The Microstructure of Porous Building Materials: Study of a Cement and Lime Mortar. **Transport in Porous Media**, v. 14, p. 219–245, 1994

PINHEIRO, J. L. C. A. **Importância do clima exterior e interior na quantificação do Desempenho higrotérmico dos edifícios**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2013.

PLAGGE, R. On the Hysteresis in Moisture Storage and Conductivity Measured by the Instantaneous Profile Method. **Journal of Building Physics**, v. 29, n. 3, p. 247–259, 2006

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento em argamassa**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PUIM, P G A C. **Controlo e reparação de anomalias devidas à presença de sais solúveis em edifícios antigos**. Dissertação de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, Portugal, 2010.

QUANTACHROME INSTRUMENTS. Gas Sorption System Operating Manual. Model 6, Version 4. 2015.

QUENARD, D. A.; XU, K.; KÜNZEL, H. M.; BENTZ, D.; MARTYS, N. S. Microstructure and transport properties of porous building materials. **Materials and Structures**, v. 31, p. 317–324, 1998.

RAMLI, M.; TABASSI, A. A. Effects of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: A correlational study that includes pore distributions, water absorption and compressive strength. **Construction and Building Materials**, v. 28, n. 1, p. 561–570, 2012.

RAMOS, N M M. **A importância da inércia higroscópica no comportamento higrotérmico dos edifícios**. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2007.

RATO, V. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2006.

RILEM. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Test no. II.5 – Evaporation Cruve. *Mater Struct* 1980;75:175–253.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**, 3th Ed. E & FN Spon, Londres, 1999

RODRIGUES FILHO, H. **Avaliação dos requisitos normativos das argamassas industrializadas associados a critérios de emprego e utilização**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ROELS, S.; CARMELIET, J.; HENS, H.; et al.. Interlaboratory Comparison of Hygric Properties of Porous Building Materials. **Journal of Thermal Environment and Building Sciences**, v. 27, n. 4, p. 307–325, 2004.

ROUQUEROLT, J. AVNIR, D.; FAIRBRIDGE, C. W.; EVERETT, D. H.; HAYNES, J. H.; PERNICONE, N.; RAMSAY, J. D. F.; SING, K. S. W.; UNGER, K. K.. Recommendations for the characterization of porous solids. **Pure & Appl. Chem.** v. 66, n. 8, p. 1739–1758, 1994.

RUEDRICH, J.; SIEGESMUND, S. Salt and ice crystallisation in porous sandstones. **Environmental Geology**, v. 52, p. 225–249, 2007.

SALVADOR, G. A. B. **Otimização da distribuição granulométrica do agregado miúdo para o uso em revestimentos de argamassa na cidade de Sant'ana do Livramento - RS**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SANTOS, C.C.N. **Critérios de Projetabilidade para as Argamassas Industrializadas de Revestimento Utilizando Bomba de Argamassa com Eixo Helicoidal**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SANTOS, F. I. G. **Avaliação de propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SARAIVA, A.G. **Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

SATO, N. M. N. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SCHEFFLER, G. A.; PLAGGE, R. Introduction of a Drying Coefficient for Building Materials. **ASHRAE Transactions** v. 116 , 2010

SCHERER, G. W. Stress from crystallization of salt. **Cement and Concrete Research**, 34, 1613 – 1624, 2004.

SCHRÖFL, C.; MECHTCHERINE, V.; GORGES, M. Relation between the molecular structure and the efficiency of superabsorbent polymers (SAP) as concrete admixture to mitigate autogenous shrinkage. **Cement and Concrete Research**, v. 42, n. 6, p. 865–873, 2012.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo dos Edifícios**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SEFFF, L.; ASCENSÃO, G.; HOTZA, D.; FERREIRA, V. M.; LABRINCHA, J. A. Assessment of the single and combined effect of superabsorbent particles and porogenic agents in nanotitania-containing mortars. **Energy and Buildings** v. 127, p. 980–990 , 2016.

SEFFF, L.; MODOLO, R. C. E.; ASCENSÃO, G.; HOTZA, D.; FERREIRA, V. M.; LABRINCHA, J. A. Development of mortars containing superabsorbent polymer. **Construction and Building Materials** v. 95, p. 575–584 , 2015.

SILVA, D. A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento Portland**. Tese de doutorado. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA, F. G. S. **Avaliação e discussão de metodologias auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Silva, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada - Aplicação ao caso de Brasília/DF**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOARES, A.; JÚLIO, M.; FLORES-COLEN, I.; ILHARCO, L.; DE BRITO, J.; GASPAR MARTINHO, J. Water-resistance of mortars with lightweight aggregates. **Key Engineering Materials**, 2014.

SOCOLOSKI, R. F. **Tratamento de Umidade Ascensional em Paredes através de Barreira Químicas por Difusão**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco**. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SNOECK, D.; STEUPERAERT, S.; TITTELBOOM, K. V; DUBRUEL, P.; BELIE, N. DE. Visualization of water penetration in cementitious materials with superabsorbent polymers by means of neutron radiography. **Cement and Concrete Research**, 2012.

SNOECK, D.; VELASCO, L. F.; MIGNON, A.; et al.. The effects of superabsorbent polymers on the microstructure of cementitious materials studied by means of sorption experiments. **Cement and Concrete Research**, v. 77, n. September, p. 26–35, 2015.

STOLZ, C. M. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SUGRAÑEZ, R.; ÁLVAREZ, J. I.; CRUZ-YUSTA, M.; MÁRMOL, I.; MORALES, J.; SÁNCHEZ, L. Controlling microstructure in cement based mortars by adjusting the particle size distribution of the raw materials. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 139–145, abr. 2013.

SUN, Z.; SCHERER, G. W. Pore size and shape in mortar by thermoporometry. **Cement and Concrete Research** v. 40, n. 5, p. 740–751, 2010.

TERHEIDEN, K. Simultaneous measurement of vapor and liquid moisture transport in porous building materials. **Building and Environment**, v. 43, p. 2188–2192, 2008

THOMSON, M. L.; LINDQVIST, J.-E.; ELSÉN, J.; GROOT, C. J. W. P. Porosity of historical mortars. 13th International Brick and Block masonry Conference. **Anais...** , 2004.

TUNA, J M R. **Caracterização in-situ de eflorações e de outros compostos salinos em paramentos.** Dissertação de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, Portugal, 2011.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes: Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação.** Tese de doutorado, Universidade do Porto, Portugal, 1998.

VERAN-TISSOIRES, S. **Sur le phénomène de cristallisation discrète à la surface ou à l'intérieur d'un milieu poreux.** Tese de doutorado, Université De Toulouse, França, 2011

WAGNER, H. B. Polymer-modified hydraulic cements. **Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development**, v. 4, n. 3, 1965.

WILSON, M A; HOFF, W D; HALL, C. Water movement in porous building materials - X Absorption from a small cylindrical cavity. **Building and Environment**, v. 26, p. 143–152, 1991.

WILSON, M A; HOFF, W D; HALL, C. Water Movement in Porous Building Materials - XI Capillary Absorption from a Hemispherical Cavity. **Building and Environment**, v. 29, n. 1, p. 99–104, 1994.

WITTMANN, F. H.; BELTZUNG, F.; MEIER, S. J. Shrinkage of Water Repellent Treated Cement-Based Materials. **4th International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials**, v. 222, p. 213–222, 2005.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ZEHNDER, K.; ARNOLD, A. Crystal growth in salt efflorescence. **Journal of Crystal Growth**, v. 97, p. 513–521, 1989.

ZENG, Q. LI, K.; FEN-CHONG, T.; DANGLA, P. Pore structure characterization of cement pastes blended with high-volume fly-ash. **Cement and Concrete Research** v. 42, n. 1, p. 194–204 , 2012.

**APÊNDICE A – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS  
ENSAIOS DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO E DESSORÇÃO  
OBTIDAS POR SOLUÇÃO SALINA**

Tabela A.1 – Massa das amostras - Dessorção das argamassas sem aditivos (Etapa1)

<b>Sílica</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	18/ago	15/set	30/set
<b>hora</b>		09:45	10:45	10:30	10:10
<b>A1E6 - 1</b>	13838,90	12364,40	12336,10	12320,60	12225,70
<b>A1E6 - 2</b>	9092,80	8136,80	8114,00	8103,70	8045,40
<b>A2E6 - 1</b>	13099,70	11749,50	11723,10	11705,10	11600,10
<b>A2E6 - 2</b>	8037,70	7188,00	7170,50	7159,60	7097,50
<b>A1E9 - 1</b>	7913,80	7023,20	7010,80	7004,20	6959,30
<b>A1E9 - 2</b>	6660,70	5877,40	5864,50	5858,10	5800,70
<b>A2E9 - 1</b>	6163,70	5414,80	5403,40	5396,10	5348,20
<b>A2E9 - 2</b>	9574,40	8451,40	8431,80	8420,20	8344,30
<b>A1E12 - 1</b>	10710,40	9562,10	9546,90	9535,30	9474,20
<b>A1E12 - 2</b>	6163,70	5432,80	5423,90	5416,90	5375,90
<b>A2E12 - 1</b>	8833,60	7750,10	7734,90	7726,30	7645,90
<b>A2E12 - 2</b>	3936,50	3422,90	3416,10	3412,60	3368,10
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	55,00	55,00	50,00	51,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	20,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	7,50	29,80	8,90	4,80	
<b>Acetato</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	18/ago	15/set	30/set
<b>hora</b>		10:08	14:10	10:38	10:22
<b>A1E6 - 1</b>	14916,50	13503,40	13516,20	13517,10	13363,10
<b>A1E6 - 2</b>	6057,00	5426,10	5427,00	5427,10	5365,90
<b>A2E6 - 1</b>	10109,50	9115,30	9113,30	9110,90	8993,00
<b>A2E6 - 2</b>	8096,30	7270,40	7266,00	7264,40	7175,70
<b>A1E9 - 1</b>	7672,30	6889,30	6885,60	6880,50	6806,40
<b>A1E9 - 2</b>	9743,30	8629,60	8628,40	8626,90	8549,30
<b>A2E9 - 1</b>	9578,50	8507,40	8505,50	8502,80	8424,70
<b>A2E9 - 2</b>	4506,10	3963,60	3960,80	3959,60	3917,60
<b>A1E12 - 1</b>	10438,10	9229,30	9228,80	9227,80	9144,40
<b>A1E12 - 2</b>	3645,50	3218,80	3219,10	3218,40	3187,90
<b>A2E12 - 1</b>	9334,80	8150,00	8146,70	8144,10	8084,80
<b>A2E12 - 2</b>	3966,30	3448,80	3446,00	3443,70	3418,60
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	55,00	55,00	50,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	20,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	26,80	27,10	26,90	25,40	

<b>NaBr</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	19/ago	15/set	30/set
<b>hora</b>		10:54	09:35	14:18	10:47
<b>A1E6 - 1</b>	18790,80	17098,10	17121,70	17136,10	16916,50
<b>A1E6 - 2</b>	7700,30	6920,10	6928,30	6929,50	6825,90
<b>A2E6 - 1</b>	14644,10	13221,10	13226,20	13226,30	13045,90
<b>A2E6 - 2</b>	8237,50	7412,20	7416,20	7417,60	7317,80
<b>A1E9 - 1</b>	9335,50	8380,80	8381,50	8381,70	8310,10
<b>A1E9 - 2</b>	6610,90	5890,70	5894,60	5894,90	5840,20
<b>A2E9 - 1</b>	6038,00	5356,70	5356,60	5355,00	5285,90
<b>A2E9 - 2</b>	7715,50	6789,20	6788,50	6779,30	6699,40
<b>A1E12 - 1</b>	9824,70	8803,70	8804,60	8803,90	8727,60
<b>A1E12 - 2</b>	4408,90	3889,80	3889,50	3888,60	3830,50
<b>A2E12 - 1</b>	8630,00	7548,70	7545,60	7544,60	7455,70
<b>A2E12 - 2</b>	2485,20	2169,20	2167,40	2166,80	2141,50
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	52,00	54,00	51,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	21,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	59,10	59,40	59,80	58,30	
<b>NaCl</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	19/ago	15/set	30/set
<b>hora</b>		11:45	10:20	14:18	10:57
<b>A1E6 - 1</b>	16759,90	15259,00	15244,90	15254,20	15001,50
<b>A1E6 - 2</b>	9384,40	8507,60	8505,20	8515,00	8376,70
<b>A2E6 - 1</b>	9886,80	8971,80	8950,20	8955,90	8807,50
<b>A2E6 - 2</b>	7016,60	6327,50	6324,90	6329,70	6221,20
<b>A1E9 - 1</b>	9332,30	8335,50	8348,20	8352,80	8249,80
<b>A1E9 - 2</b>	5297,60	4733,60	4737,90	4740,00	4684,90
<b>A2E9 - 1</b>	10732,40	9377,00	9372,10	9355,30	9231,50
<b>A2E9 - 2</b>	5533,60	4895,70	4892,40	4893,60	4831,90
<b>A1E12 - 1</b>	11082,00	9838,70	9830,00	9829,70	9733,00
<b>A1E12 - 2</b>	3158,60	2807,40	2805,20	2804,50	2770,00
<b>A2E12 - 1</b>	8021,20	7101,30	7094,60	7093,20	7027,50
<b>A2E12 - 2</b>	5018,90	4380,00	4377,10	4376,40	4326,30
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	55,00	51,00	50,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	21,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	74,40	74,40	74,50	73,80	

<b>KCl</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	19/ago	16/set	30/set
<b>hora</b>		14:40	10:47	14:55	15:35
<b>A1E6 - 1</b>	13769,10	12711,90	12694,60	12696,60	12450,50
<b>A1E6 - 2</b>	8903,70	8165,80	8167,00	8172,60	8009,50
<b>A2E6 - 1</b>	7660,60	6935,70	6937,50	6938,60	6798,80
<b>A2E6 - 2</b>	8341,60	7537,00	7545,40	7549,40	7413,20
<b>A1E9 - 1</b>	8081,20	7203,90	7209,20	7211,10	7095,70
<b>A1E9 - 2</b>	4901,10	4361,30	4362,80	4365,00	4301,90
<b>A2E9 - 1</b>	7379,40	6539,10	6540,50	6543,00	6429,60
<b>A2E9 - 2</b>	6704,90	5982,20	5984,20	5986,40	5900,70
<b>A1E12 - 1</b>	7412,40	6582,70	6581,80	6581,50	6477,00
<b>A1E12 - 2</b>	6415,40	5733,80	5731,70	5728,20	5641,70
<b>A2E12 - 1</b>	10633,00	9384,40	9385,60	9385,20	9271,30
<b>A2E12 - 2</b>	6148,10	5387,40	5386,40	5388,00	5282,30
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	52,00	51,00	50,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	21,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	78,00	82,10	82,00	81,30	
<b>BaCl2</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	19/ago	16/set	30/set
<b>hora</b>		14:53	11:21	14:55	15:30
<b>A1E6 - 1</b>	15920,10	14866,30	14796,00	14744,00	14278,10
<b>A1E6 - 2</b>	6903,70	6385,80	6379,00	6376,90	6212,30
<b>A2E6 - 1</b>	9926,30	9130,70	9087,70	9078,60	8833,10
<b>A2E6 - 2</b>	8230,70	7534,90	7498,70	7493,80	7294,90
<b>A1E9 - 1</b>	6920,30	6174,60	6172,50	6171,50	6091,80
<b>A1E9 - 2</b>	5237,90	4707,10	4699,40	4693,80	4602,20
<b>A2E9 - 1</b>	9156,60	8222,30	8194,60	8195,30	8026,00
<b>A2E9 - 2</b>	7199,10	6471,80	6457,30	6458,30	6337,60
<b>A1E12 - 1</b>	7582,80	6809,40	6788,70	6786,20	6661,00
<b>A1E12 - 2</b>	4521,70	4045,90	4039,80	4038,40	3963,40
<b>A2E12 - 1</b>	11143,80	9834,70	9825,50	9828,40	9695,40
<b>A2E12 - 2</b>	6928,70	6089,60	6084,40	6085,20	5968,70
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	54,00	53,00	50,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	21,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	84,00	87,70	88,50	86,60	

<b>K2SO4</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	19/ago	16/set	30/set
<b>hora</b>		15:17	15:50	14:55	15:12
<b>A1E6 - 1</b>	10560,60	10231,60	10143,10	10113,00	9457,10
<b>A1E6 - 2</b>	12016,60	11688,00	11548,00	11506,9	10771,10
<b>A2E6 - 1</b>	8869,60	8436,80	8365,50	8346,4	7908,10
<b>A2E6 - 2</b>	7267,70	6974,10	6869,80	6852,5	6426,30
<b>A1E9 - 1</b>	6036,60	5595,60	5548,20	5546,3	5333,40
<b>A1E9 - 2</b>	8303,90	7866,20	7730,50	7699,8	7361,20
<b>A2E9 - 1</b>	11614,60	10935,80	10691,00	10647,1	10154,10
<b>A2E9 - 2</b>	9453,40	8831,30	8712,60	8695,6	8328,70
<b>A1E12 - 1</b>	7581,70	7077,20	6913,00	6904,8	6651,70
<b>A1E12 - 2</b>	7134,30	6569,50	6515,00	6509,3	6293,00
<b>A2E12 - 1</b>	11411,60	10481,10	10290,40	10281,2	9940,20
<b>A2E12 - 2</b>	7314,20	6520,20	6563,40	6557,6	6298,20
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	54,00	53,00	50,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	21,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	89,60	93,90	93,80	93,00	
<b>Água destilada</b>	Massa em [mg]				Massa Seca
<b>data</b>	17/jun	17/jul	19/ago	16/set	30/set
<b>hora</b>		16:30	15:50	16:00	15:00
<b>A1E6 - 1</b>	11532,40	11270,50	11255,50	11249,90	10307,90
<b>A1E6 - 2</b>	8014,30	7822,50	7812,60	7802,40	7130,10
<b>A2E6 - 1</b>	8657,90	8391,10	8360,20	8342,50	7693,10
<b>A2E6 - 2</b>	8768,90	8556,10	8514,20	8485,30	7826,90
<b>A1E9 - 1</b>	8190,80	7791,30	7660,30	7634,90	7214,10
<b>A1E9 - 2</b>	5677,50	5473,10	5395,00	5354,00	5027,10
<b>A2E9 - 1</b>	6540,10	6120,40	5959,20	5934,10	5636,60
<b>A2E9 - 2</b>	9068,20	8625,60	8523,60	8495,40	7978,40
<b>A1E12 - 1</b>	7762,30	7388,30	7253,70	7242,00	6900,60
<b>A1E12 - 2</b>	7747,30	7184,70	7151,40	7142,10	6822,50
<b>A2E12 - 1</b>	10888,80	10389,00	10104,80	10076,10	9466,40
<b>A2E12 - 2</b>	1614,80	1466,20	1467,00	1472,00	1398,20
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	54,00	53,00	49,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	21,00	21,00	19,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	91,50	96,30	96,70	95,50	

Tabela A.2 – Massa das amostras - Adsorção das argamassas sem aditivos (Etapa1)

<b>Sílica</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	28/out	15/dez	22/jan
<b>hora</b>	10:10	14:15	11:35	10:22
<b>A1E6 - 1</b>	8045,40	8060,80	8066,50	8075,60
<b>A1E6 - 2</b>	12225,70	12276,10	12255,10	12270,50
<b>A2E6 - 1</b>	7097,50	7108,30	7112,80	7120,40
<b>A2E6 - 2</b>	11600,10	11619,50	11626,70	11638,80
<b>A1E9 - 1</b>	5800,70	5807,20	5810,00	5814,40
<b>A1E9 - 2</b>	6959,30	6965,80	6970,20	6972,20
<b>A2E9 - 1</b>	5348,20	5354,00	5355,90	5359,40
<b>A2E9 - 2</b>	8344,30	8355,00	8358,90	8365,20
<b>A1E12 - 1</b>	5375,90	5380,30	5381,90	5383,00
<b>A1E12 - 2</b>	9474,20	9482,70	9485,00	9490,00
<b>A2E12 - 1</b>	3368,10	3368,70	3368,70	3368,70
<b>A2E12 - 2</b>	7645,90	7649,00	7650,70	7653,30
<b>UR ambiente (%)</b>	51,00	55,00		56,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	20,00		19,00
<b>UR solução (%)</b>		8,5	11,4	20,00
<b>Acetato</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	28/out	15/dez	22/jan
<b>hora</b>	10:22	14:50	09:38	10:39
<b>A1E6 - 1</b>	5365,90	5398,80	5401,20	5403,60
<b>A1E6 - 2</b>	13363,10	13430,80	13438,60	13443,40
<b>A2E6 - 1</b>	8993,00	9047,60	9051,40	9065,50
<b>A2E6 - 2</b>	7175,70	7221,40	7224,20	7225,20
<b>A1E9 - 1</b>	6806,40	6842,00	6844,80	6846,70
<b>A1E9 - 2</b>	8549,30	8578,30	8581,10	8582,00
<b>A2E9 - 1</b>	3917,60	3930,50	3930,80	3931,10
<b>A2E9 - 2</b>	8424,70	8448,30	8451,00	8452,40
<b>A1E12 - 1</b>	3187,90	3195,30	3196,00	3196,40
<b>A1E12 - 2</b>	9144,40	9168,30	9171,00	9172,60
<b>A2E12 - 1</b>	3418,60	3424,00	3424,00	3371,10
<b>A2E12 - 2</b>	8084,80	8099,60	8099,90	8099,20
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	55,00	56,00	56,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	21,00	20,00	19,00
<b>UR solução (%)</b>	26,80	27,2	28,5	28,70

<b>NaBr</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	04/nov	15/dez	22/01/2016
<b>hora</b>	10:47	10:10	08:20	15:25
<b>A1E6 - 1</b>	6825,90	6877,60	6881,30	6883,6
<b>A1E6 - 2</b>	16916,50	17059,20	17070,90	17077,2
<b>A2E6 - 1</b>	7317,80	7379,30	7383,80	7386,00
<b>A2E6 - 2</b>	13045,90	13160,20	13165,40	13168,00
<b>A1E9 - 1</b>	5840,20	5871,80	5874,30	5875,2
<b>A1E9 - 2</b>	8310,10	8347,80	8347,80	8349,8
<b>A2E9 - 1</b>	5285,90	5318,20	5320,10	5310,5
<b>A2E9 - 2</b>	6699,40	6735,40	6737,30	6737,9
<b>A1E12 - 1</b>	3830,50	3849,10	3850,30	3849,9
<b>A1E12 - 2</b>	8727,60	8769,10	8771,50	8773,3
<b>A2E12 - 1</b>	2141,50	2148,20	2147,30	2147,4
<b>A2E12 - 2</b>	7455,70	7485,90	7487,20	7487,4
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	57,00	68,00	60,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	20,00	20,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	58,90	59,00	57,7	59,00
<b>NaCl</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	04/nov	15/dez	22/01/2016
<b>hora</b>	10:57	10:30	08:10	15:45
<b>A1E6 - 1</b>	8376,70	8479,10	8487,10	8490,4
<b>A1E6 - 2</b>	15001,50	15192,40	15207,80	15215,6
<b>A2E6 - 1</b>	6221,20	6298,20	6302,10	6304,3
<b>A2E6 - 2</b>	8807,50	8916,90	8923,00	8927,00
<b>A1E9 - 1</b>	4684,90	4722,10	4724,70	4726,4
<b>A1E9 - 2</b>	8249,80	8319,90	8324,70	8327,7
<b>A2E9 - 1</b>	4831,90	4869,10	4871,20	4873,1
<b>A2E9 - 2</b>	9231,50	9293,60	9292,60	9293,6
<b>A1E12 - 1</b>	2770,00	2787,70	2787,90	2788,9
<b>A1E12 - 2</b>	9733,00	9799,90	9803,80	9806,3
<b>A2E12 - 1</b>	4326,30	4349,30	4347,10	4345,9
<b>A2E12 - 2</b>	7027,50	7061,20	7061,40	7061,00
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	55,00	58,00	55,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	20,00	20,00	19,00
<b>UR solução (%)</b>	74,40	73,7		74,1

<b>KCl</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	04/nov	15/dez	22/01/2016
<b>hora</b>	15:35	11:05	15:34	16:21
<b>A1E6 - 1</b>	8009,50	8127,30	8132,30	8133,4
<b>A1E6 - 2</b>	12450,50	12628,70	12635,40	12637,6
<b>A2E6 - 1</b>	7413,20	7515,80	7519,30	7520,00
<b>A2E6 - 2</b>	6798,80	6896,80	6898,90	6899,4
<b>A1E9 - 1</b>	4301,90	4341,60	4341,60	4342,5
<b>A1E9 - 2</b>	7095,70	7168,10	7170,30	7170,8
<b>A2E9 - 1</b>	5900,70	5954,70	5955,40	5955,4
<b>A2E9 - 2</b>	6429,60	6492,70	6492,40	6492,5
<b>A1E12 - 1</b>	5641,70	5693,80	5694,10	5693,5
<b>A1E12 - 2</b>	6477,00	6527,80	6528,60	6528,6
<b>A2E12 - 1</b>	5282,30	5311,90	5312,20	5309,4
<b>A2E12 - 2</b>	9271,30	9327,10	9328,10	9329,3
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	58,00	54,00	53,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	20,00	20,00	19,00
<b>UR solução (%)</b>	81,20	80,8	82,00	81,00
<b>BaCl2</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	04/nov	15/dez	22/jan
<b>hora</b>	15:30	11:50	16:41	16:50
<b>A1E6 - 1</b>	6212,30	6333,40	6334,60	6336,5
<b>A1E6 - 2</b>	14278,10	14594,20	14605,00	14609,2
<b>A2E6 - 1</b>	8833,10	9014,40	9017,10	9018,8
<b>A2E6 - 2</b>	7294,90	7442,50	7445,70	7446,5
<b>A1E9 - 1</b>	4602,20	4669,40	4671,00	4671,6
<b>A1E9 - 2</b>	6091,80	6156,40	6156,50	6158,4
<b>A2E9 - 1</b>	8026,00	8143,00	8145,00	8146,5
<b>A2E9 - 2</b>	6337,60	6423,70	6425,90	6426,8
<b>A1E12 - 1</b>	3963,40	4014,60	4009,50	4009,5
<b>A1E12 - 2</b>	6661,00	6748,00	6750,10	6751,5
<b>A2E12 - 1</b>	5968,70	6020,50	6020,90	6022,5
<b>A2E12 - 2</b>	9695,40	9785,60	9789,20	9783,6
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	57,00	55,00	53,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	20,00	20,00	19,00
<b>UR solução (%)</b>	86,30	86,3	86,7	86,9

<b>K2SO4</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	04/nov	15/dez	22/jan
<b>hora</b>	15:12	12:50	16:41	17:30
<b>A1E6 - 1</b>	9457,10	9871,30	9902,10	9890,7
<b>A1E6 - 2</b>	10771,10	11255,90	11296,00	11282,8
<b>A2E6 - 1</b>	6426,30	6717,50	6733,20	6722,2
<b>A2E6 - 2</b>	7908,10	8237,20	8251,60	8242,6
<b>A1E9 - 1</b>	5333,40	5475,60	5483,70	5480,9
<b>A1E9 - 2</b>	7361,20	7574,70	7585,00	7580,5
<b>A2E9 - 1</b>	6298,20	6440,20	6452,70	6444,3
<b>A2E9 - 2</b>	10154,10	10463,30	10477,20	10467,8
<b>A1E12 - 1</b>	6293,00	6437,10	6446,00	6444,5
<b>A1E12 - 2</b>	6651,70	6808,90	6819,50	6817,9
<b>A2E12 - 1</b>	8328,70	8558,10	8567,40	8564
<b>A2E12 - 2</b>	9940,20	10118,60	10135,20	10129,5
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	57,00	55,00	56,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	20,00	20,00	19,00
<b>UR solução (%)</b>	92,10	93,7	92,1	91,8
<b>Água destilada</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	30/set	04/nov	15/dez	22/jan
<b>hora</b>	15:00	13:30	16:01	17:55
<b>A1E6 - 1</b>	7130,10	7654,80	7685,40	7674,1
<b>A1E6 - 2</b>	10307,90	11050,70	11092,20	11078,4
<b>A2E6 - 1</b>	7826,90	8348,20	8374,20	8357,00
<b>A2E6 - 2</b>	7693,10	8213,60	8254,00	8238,00
<b>A1E9 - 1</b>	5027,10	5253,50	5266,40	5261,7
<b>A1E9 - 2</b>	7214,10	7546,60	7559,40	7557,4
<b>A2E9 - 1</b>	5636,60	5901,30	5901,50	5925,4
<b>A2E9 - 2</b>	7978,40	8406,90	8419,70	8418,8
<b>A1E12 - 1</b>	6900,60	7148,80	7161,10	7168,2
<b>A1E12 - 2</b>	6822,50	7051,10	7060,70	7056,4
<b>A2E12 - 1</b>	1398,20	1447,30	1450,00	1452,8
<b>A2E12 - 2</b>	9466,40	9879,30	9924,70	9971,8
<b>UR ambiente (%)</b>	50,00	20,00	20,00	56,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	20,00	54,00	54,1	19,00
<b>UR solução (%)</b>	93,50	95,5	94,1	93,7

Tabela A.3 – Isoterma de Dessorção argamassas sem aditivos – teor de umidade x conteúdo de umidade mássico

Teor de umidade	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,96
<b>A1E6</b>	0	0,85	0,85	0,93	1,06	1,23	1,48	1,86	2,14	2,52	3,07	3,93	5,47	5,94
<b>A2E6</b>	0	0,92	0,88	0,95	1,07	1,23	1,47	1,83	2,10	2,45	2,95	3,71	5,01	5,39
<b>A1E9</b>	0	0,69	0,63	0,68	0,75	0,87	1,04	1,31	1,51	1,78	2,17	2,78	3,87	4,21
<b>A2E9</b>	0	0,77	0,74	0,79	0,88	1,02	1,21	1,50	1,70	1,98	2,36	2,94	3,88	4,15
<b>A1E12</b>	0	0,68	0,66	0,70	0,79	0,91	1,08	1,33	1,52	1,77	2,12	2,64	3,52	3,77
<b>A2E12</b>	0	0,66	0,61	0,65	0,72	0,83	0,98	1,21	1,37	1,58	1,88	2,32	3,04	3,24

Tabela A.4 – Isoterma de Adsorção argamassas sem aditivos – teor de umidade x conteúdo de umidade mássico

Teor de umidade	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
<b>A1E6</b>	0,00	0,46	0,53	0,62	0,74	0,91	1,20	1,43	1,76	2,29	3,28	5,80
<b>A2E6</b>	0,00	0,45	0,52	0,61	0,73	0,90	1,19	1,40	1,72	2,22	3,12	5,25
<b>A1E9</b>	0,00	0,29	0,34	0,40	0,47	0,59	0,77	0,91	1,12	1,44	2,04	3,50
<b>A2E9</b>	0,00	0,27	0,32	0,37	0,44	0,55	0,73	0,87	1,08	1,41	2,05	3,74
<b>A1E12</b>	0,00	0,22	0,26	0,31	0,38	0,47	0,63	0,76	0,95	1,26	1,87	3,62
<b>A2E12</b>	0,00	0,14	0,17	0,20	0,24	0,30	0,41	0,50	0,63	0,85	1,34	3,08

Tabela A.5 – Massa das amostras - Dessorção das argamassas com aditivos (Etapa2)

<b>Sílica</b>	<b>Massa em [mg]</b>			<b>Massa Seca</b>
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	16/jun
<b>hora</b>	10:48	08:46	09:33	13:58
<b>SIL - 1</b>	26937,10	24536,00	24606,20	24141,70
<b>SIL - 2</b>	4820,20	4335,00	4351,40	4263,00
<b>EZN - 1</b>	26720,90	24542,20	24616,10	24206,40
<b>EZN - 2</b>	5125,20	4730,00	4744,80	4665,50
<b>ECA - 1</b>	18106,70	16538,50	16592,60	16295,90
<b>ECA - 2</b>	4910,20	4494,10	4508,20	4426,60
<b>VINN - 1</b>	21773,63	20221,40	20294,10	19959,00
<b>VINN - 2</b>	6844,00	6410,60	6432,60	6321,10
<b>INC - 1</b>	20248,00	18093,10	18140,80	17836,70
<b>INC - 2</b>	3036,60	2696,70	2700,50	2653,90
<b>IND - 1</b>	15581,24	13432,30	13454,40	13283,90
<b>IND - 2</b>	5717,50	4866,10	4870,60	4806,90
<b>S9 -1</b>	23531,30	22197,10	22253,90	21953,40
<b>S9 -2</b>	2460,60	2281,60	2284,40	2251,20
<b>SAP - 1</b>	27728,60	24752,60	24830,30	24742,10
<b>SAP - 2</b>	6552,20	5827,60	5840,80	5814,80
<b>UR ambiente (%)</b>		20,00	20,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>		57,00	55,00	
<b>UR solução (%)</b>	4,60	6,00	12,60	
<b>Acetato</b>	<b>Massa em [mg]</b>			<b>Massa Seca</b>
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	16/mai
<b>hora</b>	10:04	08:59	09:46	15:32
<b>SIL - 1</b>	21153,40	19309,50	19312,00	18957,40
<b>SIL - 2</b>	5964,70	5412,80	5413,90	5316,50
<b>EZN - 1</b>	28032,40	25943,20	25957,80	25538,10
<b>EZN - 2</b>	6393,60	5938,00	5945,60	5850,80
<b>ECA - 1</b>	22310,30	20398,30	20415,80	20070,30
<b>ECA - 2</b>	4134,90	3766,70	3771,60	3707,20
<b>VINN - 1</b>	21250,80	19873,70	19881,40	19562,60
<b>VINN - 2</b>	4451,50	4184,00	4187,10	4120,30
<b>INC - 1</b>	16964,80	15242,20	15275,20	15053,50
<b>INC - 2</b>	3606,40	3224,00	3228,70	3184,80
<b>IND - 1</b>	23255,50	19365,00	19390,90	19150,30
<b>IND - 2</b>	5426,20	4598,40	4600,70	4544,20
<b>S9 -1</b>	18090,90	17058,30	17077,00	16865,30
<b>S9 -2</b>	2777,00	2579,80	2581,30	2544,50
<b>SAP - 1</b>	24821,70	22219,10	22241,40	22181,80
<b>SAP - 2</b>	5287,90	4741,80	4741,70	4725,80
<b>UR ambiente (%)</b>	54,00	57,00	53,00	50,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	21,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	30,00	31,30	31,60	

<b>NaBr</b>	<b>Massa em [mg]</b>			<b>Massa Seca</b>
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	16/mai
<b>hora</b>	10:34	09:19	10:24	14:46
<b>SIL - 1</b>	23774,70	22031,90	22006,70	21329,80
<b>SIL - 2</b>	5804,60	5296,80	5290,70	5129,10
<b>EZN - 1</b>	21699,40	20480,10	20464,00	19905,70
<b>EZN - 2</b>	4798,80	4516,20	4513,40	4391,00
<b>ECA - 1</b>	21319,70	19804,90	19786,50	19223,60
<b>ECA - 2</b>	7881,60	7303,80	7296,80	7086,70
<b>VINN - 1</b>	18318,70	17325,20	17317,90	16852,30
<b>VINN - 2</b>	4700,10	4457,30	4454,80	4332,70
<b>INC - 1</b>	19541,70	17726,30	17717,50	17295,30
<b>INC - 2</b>	3573,90	3215,60	3220,40	3145,90
<b>IND - 1</b>	23280,10	19346,50	19320,70	18964,70
<b>IND - 2</b>	4977,30	4241,60	4244,00	4164,80
<b>S9 - 1</b>	20022,80	18989,90	18986,80	18629,40
<b>S9 - 2</b>	2916,60	2730,00	2732,70	2681,20
<b>SAP - 1</b>	15651,80	14102,40	14098,80	13928,20
<b>SAP - 2</b>	4491,80	4026,40	4031,00	3988,60
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	54,00	55,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	22,00	
<b>UR solução (%)</b>	60,10	60,00	60,30	
<b>NaCl</b>	<b>Massa em [mg]</b>			<b>Massa Seca</b>
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	
<b>hora</b>		09:28	10:38	
<b>SIL - 1</b>	23854,30	22245,60	22219,90	21394,30
<b>SIL - 2</b>	3985,50	3690,00	3685,80	3550,90
<b>EZN - 1</b>	24114,80	22847,00	22824,60	22043,10
<b>EZN - 2</b>	4679,20	4407,30	4405,00	4255,20
<b>ECA - 1</b>	30777,70	28953,20	28905,80	27793,30
<b>ECA - 2</b>	5352,40	5046,10	5038,70	4847,10
<b>VINN - 1</b>	26652,10	25516,30	25517,30	24581,30
<b>VINN - 2</b>	5316,20	5084,40	5079,50	4916,40
<b>INC - 1</b>	15138,90	13870,40	13863,60	13483,10
<b>INC - 2</b>	1888,90	1705,30	1704,10	1666,90
<b>IND - 1</b>	26125,30	22469,40	22420,20	21885,90
<b>IND - 2</b>	5588,20	4815,20	4794,90	4708,20
<b>S9 - 1</b>	19667,70	18753,20	18746,30	18335,70
<b>S9 - 2</b>	3069,70	2886,80	2887,50	2823,30
<b>SAP - 1</b>	26081,30	23835,00	23792,90	23340,00
<b>SAP - 2</b>	4793,70	4353,00	4347,90	4279,80
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	53,00	57,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	22,00	
<b>UR solução (%)</b>	74,90	75,00	74,70	

<b>KCl</b>	Massa em [mg]			Massa Seca
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	16/mai
<b>hora</b>	11:40	10:33	10:53	14:26
<b>SIL - 1</b>	5323,10	4953,30	4952,20	4747,40
<b>SIL - 2</b>	3890,70	3618,40	3615,50	3456,10
<b>EZN - 1</b>	5550,00	5292,70	5288,90	5112,40
<b>EZN - 2</b>	4809,60	4557,30	4554,00	4389,50
<b>ECA - 1</b>	6138,70	5819,20	5813,90	5592,50
<b>ECA - 2</b>	5875,70	5549,90	5543,80	5337,40
<b>VINN - 1</b>	10325,60	9927,00	9924,10	9573,90
<b>VINN - 2</b>	4334,60	4152,80	4152,10	4001,90
<b>INC - 1</b>	4632,70	4235,00	4233,20	4105,60
<b>INC - 2</b>	2836,10	2563,80	2573,60	2500,00
<b>IND - 1</b>	4640,90	4036,30	4038,80	3934,40
<b>IND - 2</b>	4867,30	4196,80	4200,80	4098,40
<b>S9 - 1</b>	3739,10	3544,80	3546,80	3461,60
<b>S9 - 2</b>	3213,80	3030,70	3037,00	2962,00
<b>SAP - 1</b>	27378,40	25231,10	25181,90	24510,70
<b>SAP - 2</b>	5111,50	4643,90	4643,90	4559,40
<b>UR ambiente (%)</b>		54,00	57,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>		20,00	22,00	
<b>UR solução (%)</b>	81,60	81,70	82,80	
<b>BaCl2</b>	Massa em [mg]			Massa Seca
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	16/mai
<b>hora</b>	11:25	10:43	11:06	14:26
<b>SIL - 1</b>	22804,10	21580,50	21511,80	20447,10
<b>SIL - 2</b>	6431,80	6013,80	5997,90	5709,60
<b>EZN - 1</b>	25300,20	24169,70	24070,70	22961,60
<b>EZN - 2</b>	4109,90	3922,50	3910,60	3720,50
<b>ECA - 1</b>	20225,20	19320,10	19255,80	18293,20
<b>ECA - 2</b>	6274,90	5954,50	5936,90	5644,50
<b>VINN - 1</b>	20729,70	20034,30	19961,50	19060,80
<b>VINN - 2</b>	3364,40	3254,90	3245,70	3099,60
<b>INC - 1</b>	17483,20	16223,30	16181,60	15536,60
<b>INC - 2</b>	2564,60	2334,60	2340,50	2257,30
<b>IND - 1</b>	17241,10	15211,90	15119,60	14476,60
<b>IND - 2</b>	3599,40	3202,00	3190,80	3084,10
<b>S9 - 1</b>	23586,40	22799,30	22765,80	22127,30
<b>S9 - 2</b>	4696,30	4488,70	4487,40	4376,00
<b>SAP - 1</b>	6013,70	5537,30	5517,80	5357,70
<b>SAP - 2</b>	2756,80	2536,00	2530,00	2465,50
<b>UR ambiente (%)</b>	52,00	53,00	58,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	22,00	
<b>UR solução (%)</b>	87,70	88,10	89,60	

<b>K2SO4</b>	Massa em [mg]			Massa Seca
<b>data</b>	01/mar	22/mar	28/abr	16/mai
<b>hora</b>	11:13	10:52	11:16	14:36
<b>SIL - 1</b>	23113,20	22525,50	22214,20	20794,40
<b>SIL - 2</b>	5102,20	4864,80	4790,90	4491,70
<b>EZN - 1</b>	26092,80	25769,80	25429,10	23712,40
<b>EZN - 2</b>	4234,00	4193,50	4150,70	3892,60
<b>ECA - 1</b>	22268,60	22007,10	21664,80	20101,20
<b>ECA - 2</b>	4948,60	4872,90	4804,00	4461,40
<b>VINN - 1</b>	22091,60	21991,00	21757,80	20357,80
<b>VINN - 2</b>	6729,90	6662,50	6618,00	6217,70
<b>INC - 1</b>	12593,50	12505,60	11962,40	11176,60
<b>INC - 2</b>	2511,70	2370,30	2352,00	2205,60
<b>IND - 1</b>	21803,00	20745,20	19255,00	17838,20
<b>IND - 2</b>	3825,10	3563,00	3460,70	3237,10
<b>S9 - 1</b>	21558,20	21181,00	21064,30	20161,40
<b>S9 - 2</b>	4025,10	3894,40	3873,90	3709,10
<b>SAP - 1</b>	16988,50	16763,80	16215,00	15148,00
<b>SAP - 2</b>	4102,00	3986,30	3892,00	3655,70
<b>UR ambiente (%)</b>		53,00	56,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>		20,00	20,00	
<b>UR solução (%)</b>	93,80	93,50	94,90	
<b>Água destilada</b>	Massa em [mg]			Massa Seca
<b>data</b>	01/mar	22/mar	13/jun	16/jun
<b>hora</b>	11:03	11:05	14:00	15:45
<b>SIL - 1</b>	27417,10	27346,30	27167,40	24613,00
<b>SIL - 2</b>	3706,50	3594,60	3574,10	3272,90
<b>EZN - 1</b>	28266,20	28126,90	28131,70	25666,20
<b>EZN - 2</b>	4450,60	4418,90	4419,70	4061,10
<b>ECA - 1</b>	22793,40	22625,40	22592,60	20526,00
<b>ECA - 2</b>	7335,70	7260,30	7258,50	6632,90
<b>VINN - 1</b>	23926,60	23892,50	23893,30	22081,70
<b>VINN - 2</b>	4394,70	4350,90	4365,50	4062,00
<b>INC - 1</b>	20955,30	20457,90	20329,60	18520,40
<b>INC - 2</b>	1956,10	1891,60	1878,10	1724,30
<b>IND - 1</b>	14937,10	14384,20	13980,80	12583,00
<b>IND - 2</b>	4218,30	3975,60	3919,60	3551,00
<b>S9 - 1</b>	21171,50	20900,60	20932,40	19822,80
<b>S9 - 2</b>	4069,10	3966,80	3979,80	3788,50
<b>SAP - 1</b>	17531,50	17353,80	17114,00	15675,70
<b>SAP - 2</b>	2577,20	2504,00	2507,00	2296,40
<b>UR ambiente (%)</b>		53,00	53,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>		20,00	20,00	
<b>UR solução (%)</b>	93,90	94,20	94,20	

Tabela A.6 – Massa das amostras - Adsorção das argamassas com aditivos (Etapa2)

<b>Sílica</b>	Massa seca		Massa em [mg]	
<b>data</b>	25/fev	17/mar	28/abr	14/jun
<b>hora</b>	10:10	08:35	08:33	17:30
<b>SIL - 1</b>	19855,30	19910,20	19933,20	19953,50
<b>SIL - 2</b>	8414,40	8435,00	8443,60	8451,00
<b>EZN - 1</b>	22224,60	22274,80	22296,60	22312,90
<b>EZN - 2</b>	10579,80	10606,50	10616,70	10624,40
<b>ECA - 1</b>	22026,70	22076,90	22098,10	22114,70
<b>ECA - 2</b>	10051,30	10072,30	10081,00	10086,40
<b>VINN - 1</b>	8516,40	8535,30	8542,40	8547,80
<b>VINN - 2</b>	9906,40	9929,40	9938,10	9944,00
<b>INC - 1</b>	14709,20	14730,00	14744,10	14746,40
<b>INC - 2</b>	7310,70	7325,80	7333,10	7337,40
<b>IND - 1</b>	10446,70	10451,50	10452,20	10453,50
<b>IND - 2</b>	5537,70	5542,60	5544,80	5544,80
<b>S9 - 1</b>	14894,10	14917,90	14928,70	14936,30
<b>S9 - 2</b>	7066,10	7077,90	7082,30	7084,50
<b>SAP - 1</b>	21093,40	21107,60	21125,80	21126,80
<b>SAP - 2</b>	11672,50	11678,70	11688,40	11692,80
<b>UR ambiente (%)</b>	53,50	55,00	53,00	58,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	20,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	5,70	7,80	17,90	16,60
<b>Acetato</b>	Massa seca		Massa em [mg]	
<b>data</b>	25/fev	17/mar	28/abr	15/jun
<b>hora</b>	08:56	08:57	08:43	10:36
<b>SIL - 1</b>	21265,10	21434,80	21471,90	21489,00
<b>SIL - 2</b>	7950,50	8015,30	8029,00	8035,70
<b>EZN - 1</b>	21507,70	21638,80	21653,20	21662,70
<b>EZN - 2</b>	8783,20	8834,50	8842,50	8846,80
<b>ECA - 1</b>	21325,60	21465,50	21485,50	21497,40
<b>ECA - 2</b>	10109,60	10171,20	10181,30	10186,70
<b>VINN - 1</b>	11022,10	11095,10	11105,20	11110,20
<b>VINN - 2</b>	8524,50	8582,10	8589,00	8592,20
<b>INC - 1</b>	12830,30	12923,60	12945,30	12955,90
<b>INC - 2</b>	7754,80	7806,60	7820,90	7828,90
<b>IND - 1</b>	10614,30	10646,20	10658,80	10663,90
<b>IND - 2</b>	9029,40	9042,50	9048,50	9052,70
<b>S9 - 1</b>	25339,90	25463,80	25485,50	25495,50
<b>S9 - 2</b>	20035,30	20112,50	20123,40	20127,50
<b>SAP - 1</b>	20380,60	20490,40	20513,40	20522,50
<b>SAP - 2</b>	11570,80	11632,60	11644,90	11651,00
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	52,00	53,00	58,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	20,00	21,00
<b>UR solução (%)</b>	28,90	28,10	28,60	30,90

<b>NaBr</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	25/fev	17/mar	28/abr	15/jun
<b>hora</b>	09:38	09:34	09:09	10:19
<b>SIL - 1</b>	19994,00	20247,70	20315,10	20367,50
<b>SIL - 2</b>	7593,90	7689,00	7717,00	7744,60
<b>EZN - 1</b>	24471,70	24732,60	24784,50	24830,00
<b>EZN - 2</b>	16107,90	16283,70	16318,60	16347,70
<b>ECA - 1</b>	20904,40	21138,70	21190,40	21229,90
<b>ECA - 2</b>	10928,40	11050,30	11076,10	11097,20
<b>VINN - 1</b>	8963,10	9081,00	9106,90	9127,90
<b>VINN - 2</b>	9931,80	10062,90	10092,10	10115,00
<b>INC - 1</b>	11965,30	12124,70	12191,40	12246,00
<b>INC - 2</b>	11268,90	11411,30	11462,70	11508,80
<b>IND - 1</b>	12005,70	12094,40	12122,00	12137,50
<b>IND - 2</b>	6721,30	6783,80	6807,50	6820,40
<b>S9 - 1</b>	18602,00	18795,20	18863,30	18926,90
<b>S9 - 2</b>	5923,00	5985,00	6010,40	6029,90
<b>SAP - 1</b>	19633,20	19804,30	19847,90	19899,70
<b>SAP - 2</b>	10107,80	10185,40	10203,70	10227,30
<b>UR ambiente (%)</b>	52,50	53,00	53,00	20,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	20,00	56,00
<b>UR solução (%)</b>	57,90	57,70	60,00	60,00
<b>NaCl</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	25/fev	17/mar	28/abr	15/jun
<b>hora</b>	09:54	09:48	09:22	10:48
<b>SIL - 1</b>	16584,50	16854,20	16912,80	16956,50
<b>SIL - 2</b>	6542,10	6663,70	6697,60	6722,60
<b>EZN - 1</b>	18187,80	18419,40	18456,10	18485,20
<b>EZN - 2</b>	15466,00	15687,20	15726,40	15760,10
<b>ECA - 1</b>	20070,90	20370,90	20415,40	20455,10
<b>ECA - 2</b>	14955,90	15144,70	15177,50	15205,00
<b>VINN - 1</b>	8290,80	8441,40	8462,70	8481,7
<b>VINN - 2</b>	7765,80	7904,80	7923,80	7942,20
<b>INC - 1</b>	10970,70	11181,10	11245,20	11295,40
<b>INC - 2</b>	11125,10	11314,60	11357,00	11394,30
<b>IND - 1</b>	12094,30	12237,30	12265,90	12292,90
<b>IND - 2</b>	6722,00	6796,30	6811,80	6827,80
<b>S9 - 1</b>	17232,20	17451,60	17507,50	17565,50
<b>S9 - 2</b>	6999,30	7088,10	7118,00	7145,40
<b>SAP - 1</b>	17921,80	18138,80	18163,30	18198,90
<b>SAP - 2</b>	9529,20	9669,20	9693,00	9721,30
<b>UR ambiente (%)</b>	54,00	56,00	53,00	58,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	20,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	72,80	72,60	73,40	78,20

<b>KCl</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	25/fev	17/mar	12/mai	15/jun
<b>hora</b>	11:12	10:04	10:15	11:31
<b>SIL - 1</b>	18409,90	18811,00	18931,70	18965,50
<b>SIL - 2</b>	8571,30	8767,60	8831,70	8852,50
<b>EZN - 1</b>	25205,10	25621,70	25687,30	25716,20
<b>EZN - 2</b>	10039,70	10227,80	10262,20	10276,50
<b>ECA - 1</b>	21211,20	21580,60	21636,10	21661,40
<b>ECA - 2</b>	10058,10	10224,60	10252,80	10265,20
<b>VINN - 1</b>	19958,70	20430,50	20529,60	20571,90
<b>VINN - 2</b>	8033,60	8223,70	8267,70	8285,80
<b>INC - 1</b>	10477,40	10726,50	10791,50	10821,10
<b>INC - 2</b>	7988,90	8177,90	8220,50	8242,80
<b>IND - 1</b>	12933,30	13088,40	13131,40	13153,40
<b>IND - 2</b>	9327,70	9469,40	9503,10	9520,40
<b>S9 - 1</b>	26500,40	26909,90	27030,80	27085,60
<b>S9 - 2</b>	8220,00	8352,30	8392,90	8412,30
<b>SAP - 1</b>	21105,00	21448,00	21496,90	21531,30
<b>SAP - 2</b>	12307,40	12490,30	12539,80	12565,30
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	54,00	53,00	56,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	20,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	82,40	78,10	90,60	88,40
<b>BaCl2</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	25/fev	17/mar	28/abr	15/jun
<b>hora</b>	10:44	10:20	11:32	11:17
<b>SIL - 1</b>	19927,40	20504,50	20606,00	20644,80
<b>SIL - 2</b>	7309,60	7523,80	7561,30	7581,70
<b>EZN - 1</b>	19436,70	19817,70	19862,80	19907,70
<b>EZN - 2</b>	9873,80	10078,10	10105,10	10129,70
<b>ECA - 1</b>	22743,80	23182,40	23241,60	23291,50
<b>ECA - 2</b>	12055,50	12303,40	12327,20	12344,10
<b>VINN - 1</b>	18388,60	18957,60	19067,70	19110,40
<b>VINN - 2</b>	10734,30	11058,20	11115,30	11138,60
<b>INC - 1</b>	15104,00	15488,60	15543,10	15587,10
<b>INC - 2</b>	9102,60	9321,40	9353,10	9386,40
<b>IND - 1</b>	13206,20	13391,10	13421,60	13460,40
<b>IND - 2</b>	8377,80	8509,40	8528,20	8550,20
<b>S9 - 1</b>	20570,00	20981,10	21069,30	21119,40
<b>S9 - 2</b>	7939,70	8103,70	8138,40	8160,60
<b>SAP - 1</b>	21583,30	22037,60	22099,00	22151,60
<b>SAP - 2</b>	11922,00	12151,70	12183,10	12213,30
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	53,00	54,00	60,00
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	21,00	20,00
<b>UR solução (%)</b>	86,00	84,20	88,10	92,30

<b>K2SO4</b>	Massa saturada	Massa em [mg]		
<b>data</b>	25/fev	17/mar	12/mai	15/jun
<b>hora</b>	10:58	11:00	10:35	11:43
<b>SIL - 1</b>	22359,20	23181,80	23392,50	23427,60
<b>SIL - 2</b>	7956,20	8230,40	8284,90	8298,70
<b>EZN - 1</b>	23696,00	24241,90	24373,90	24422,80
<b>EZN - 2</b>	10929,50	11161,60	11220,30	11239,60
<b>ECA - 1</b>	20600,50	21078,40	21218,30	21266,00
<b>ECA - 2</b>	11704,80	11973,10	12033,20	12054,30
<b>VINN - 1</b>	24415,20	25460,00	25460,00	25460,00
<b>VINN - 2</b>	8471,00	8824,50	8824,50	8824,50
<b>INC - 1</b>	16779,90	17405,10	17562,40	17597,10
<b>INC - 2</b>	7266,70	7550,70	7629,00	7644,40
<b>IND - 1</b>	13005,40	13284,80	13391,50	13420,40
<b>IND - 2</b>	7138,80	7327,10	7390,80	7414,10
<b>S9 - 1</b>	16720,60	17215,80	17215,80	17215,80
<b>S9 - 2</b>	11490,80	11779,00	11779,00	11779,00
<b>SAP - 1</b>	20633,40	21296,70	21503,20	21526,70
<b>SAP - 2</b>	9264,90	9550,00	9630,80	9651,70
<b>UR ambiente (%)</b>	53,00	51,50	55,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	19,00	20,00	
<b>UR solução (%)</b>	91,30	90,10	94,20	98,00
<b>Água destilada</b>	Massa seca	Massa em [mg]		
<b>data</b>	25/fev	17/mar	12/mai	15/jun
<b>hora</b>	10:28	12:32	10:51	11:08
<b>SIL - 1</b>	21109,60	22039,10	22216,60	22275,70
<b>SIL - 2</b>	8610,10	9017,10	9095,80	9119,10
<b>EZN - 1</b>	22676,10	23249,90	23453,60	23555,60
<b>EZN - 2</b>	8282,80	8526,70	8623,30	8657,30
<b>ECA - 1</b>	20302,30	20878,00	21097,00	21185,00
<b>ECA - 2</b>	12122,30	12433,40	12548,40	12593,00
<b>VINN - 1</b>	20460,40	21521,80	21521,80	21521,80
<b>VINN - 2</b>	11134,20	11760,50	11760,50	11760,50
<b>INC - 1</b>	15725,60	16530,30	16530,30	16530,30
<b>INC - 2</b>	6905,00	7267,90	7267,90	7267,90
<b>IND - 1</b>	10621,60	10958,10	11079,30	11131,00
<b>IND - 2</b>	7407,70	7623,00	7708,50	7740,60
<b>S9 - 1</b>	10304,60	10685,30	10685,30	10685,30
<b>S9 - 2</b>	7213,20	7469,80	7469,80	7469,80
<b>SAP - 1</b>	21880,30	22800,70	23068,40	23181,20
<b>SAP - 2</b>	11110,10	11606,00	11775,80	11806,30
<b>UR ambiente (%)</b>	53,50	55,00	52,00	
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	21,00	20,00	20,00	
<b>UR solução (%)</b>	95,10	94,00		

Tabela A.7 – Isoterma de Dessorção argamassas com aditivo – teor de umidade x conteúdo de umidade mássico

Teor de umidade	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,73	0,75	0,80	0,85	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96
<b>SIL</b>	0	1,61	1,76	1,96	2,20	2,52	2,95	3,56	3,76	3,98	4,49	5,17	6,08	6,55	6,81	7,09	7,39	7,73
<b>Ezn</b>	0	1,35	1,49	1,66	1,88	2,17	2,56	3,13	3,32	3,52	4,02	4,69	5,63	6,12	6,40	6,70	7,03	7,40
<b>Eca</b>	0	1,48	1,62	1,81	2,04	2,36	2,79	3,41	3,61	3,84	4,39	5,13	6,16	6,71	7,02	7,35	7,73	8,14
<b>VIN</b>	0	1,39	1,53	1,71	1,93	2,21	2,60	3,15	3,32	3,52	3,99	4,60	5,44	5,87	6,11	6,37	6,66	6,97
<b>INC</b>	0	1,29	1,32	1,45	1,62	1,86	2,20	2,68	2,84	3,02	3,45	4,03	4,84	5,27	5,52	5,78	6,08	6,40
<b>IND</b>	0	0,98	1,01	1,11	1,26	1,47	1,78	2,24	2,40	2,58	3,05	3,73	4,80	5,42	5,80	6,24	6,74	7,33
<b>S9</b>	0	1,15	1,19	1,29	1,43	1,61	1,86	2,19	2,30	2,41	2,68	3,02	3,45	3,67	3,78	3,91	4,04	4,18
<b>SAP</b>	0	0,45	0,54	0,62	0,73	0,88	1,10	1,45	1,57	1,72	2,12	2,76	3,94	4,76	5,32	6,02	6,93	8,18

Tabela A.8 – Isoterma de Adsorção argamassas com aditivo – teor de umidade x conteúdo de umidade mássico

Teor de umidade	0	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,92	0,94	0,95
<b>SIL</b>	0	1,04	1,17	1,33	1,55	1,84	2,27	2,97	4,27	4,68	5,17	5,46
<b>Ezn</b>	0	0,60	0,70	0,82	0,96	1,17	1,46	1,95	2,92	3,24	3,64	3,88
<b>Eca</b>	0	0,77	0,86	0,97	1,12	1,33	1,62	2,07	2,87	3,11	3,40	3,57
<b>VIN</b>	0	0,81	0,93	1,08	1,28	1,55	1,96	2,67	4,17	4,70	5,38	5,80
<b>INC</b>	0	1,06	1,21	1,38	1,60	1,89	2,32	2,97	4,15	4,51	4,93	5,17
<b>IND</b>	0	0,53	0,61	0,70	0,83	1,01	1,29	1,78	2,87	3,27	3,80	4,13
<b>S9</b>	0	0,76	0,87	0,99	1,15	1,36	1,66	2,12	2,93	3,18	3,47	3,63
<b>SAP</b>	0	0,63	0,72	0,82	0,97	1,17	1,49	2,03	3,22	3,65	4,20	4,55

**APÊNDICE B – RESULTADOS INDIVIDUAIS DAS CURVAS  
DE SUCCÃO**

Tabela B.1 – Teor de água versus Pressão de sucção medida com o equipamento WP4C – argamassas sem aditivos

<b>WP4C</b>	<b>A1E6</b>	<b>WP4C</b>	<b>A1E9</b>	<b>WP4C</b>	<b>A1E12</b>	<b>WP4C</b>	<b>A2E6</b>	<b>WP4C</b>	<b>A2E9</b>	<b>WP4C</b>	<b>A2E12</b>
<b>Teor de água</b>	<b>Pressão [KPa]</b>										
12,73	280	12,66	50	15,65	120	14,01		17,05		15,46	20
12,49	140	10,90	240	15,17	120	12,67	40	15,70		13,69	150
11,96	270	9,46	370	14,97	140	11,73	140	13,80	60	12,49	170
11,64	220	8,52	400	14,63	280	8,51	560	12,81	80	11,05	240
11,45	380	7,39	500	14,06	150	6,92	1080	10,54	260	7,41	450
10,54	480	6,15	930	13,51	120	6,19	1570	9,15	380	5,79	850
9,79	420	5,43	1420	12,92	230	5,53	2130	8,29	520	3,70	3620
9,13	680	4,49	2510	12,19	290	4,82	3000	6,50	1410	2,81	6790
8,65	730	3,56	5110	11,30	300	3,80	6330	4,98	3440	1,18	48800
7,87	1050	2,89	8770	10,52	170	3,54	7850	3,73	7290	0,87	123630
7,17	1260	2,17	17500	9,68	350	2,94	12200	3,28	9590	0,61	214920
5,87	2880	1,69	35980	8,62	370	1,87	41900	2,75	14030		
4,47	6650	1,12	108100	7,10	600	1,47	86170	1,69	49930		
3,16	16730	0,91	161130	5,09	1760	1,14	179820	1,09	122810		
1,85	75180	0,82	191970	2,12	15000	1,06	228780	0,72	284210		
0,85	204210			1,22	72170						
				0,75	212240						

Tabela B.2 - Tabela B.3 – Teor de água versus Pressão de sucção medida com o equipamento WP4C – argamassas com aditivos

WP4C	SIL	WP4C	EZN	WP4C	ECA	WP4C	VIN	WP4C	INC	WP4C	IND	WP4C	S 9	WP4C	SAP	WP4C	A1E6
Teor de água	Pressão [KPa]																
12,40	110	11,31	60	11,16	0	15,82	110	16,46		22,17		10,29		17,89	80	12,73	280
11,97	150	10,19	200	10,14	200	14,11	170	15,56	30	21,79		9,32	30	15,91	160	12,49	140
11,69	100	8,54	1190	9,11	370	13,67	160	14,87	110	21,31	130	7,47	810	15,09	160	11,96	270
11,35	130	8,49	1130	7,87	1330	11,66	430	12,89	20	20,76	130	6,65	900	13,47	290	11,64	220
11,14	180	7,31	2560	7,20	2440	9,81	990	10,30	20	20,29	100	5,58	2280	13,42	230	11,45	380
10,93	160	6,11	5470	5,80	6130	8,55	2320	7,12	1090	19,35	40	4,39	8440	12,08	410	10,54	480
10,47	140	5,44	7840	5,66	5670	7,73	3750	5,47	2430	18,90	10	3,98	11600	11,41	560	9,79	420
10,30	150	5,12	9280	5,19	8410	6,62	7770	4,02	5820	18,45	20	3,68	15850	11,05	620	9,13	680
9,92	290	4,63	11810	4,66	12680	6,18	11650	2,42	26300	17,36	20	3,24	25020	9,72	940	8,65	730
9,49	410	4,15	16210	4,42	15300	5,05	21990	1,09	168220	16,69	130	2,70	47350	8,14	2080	7,87	1050
9,03	570	3,53	27110	3,74	25930	4,58	31100	1,00	220310	15,43	140	2,17	102910	6,67	4520	7,17	1260
8,13	1170	3,11	43370	3,25	43970	3,98	49610			15,11	180	1,91	139040	5,14	12210	5,87	2880
7,68	2280	2,67	84790	2,90	74800	3,22	91750			13,09	560	1,70	188990	3,78	44040	4,47	6650
6,60	4900	2,09	136180	2,22	140650	2,87	111170			11,00	1960	1,48	298980	3,29	86330	3,16	16730
5,98	7630	2,00	147280	2,16	143520	2,59	143480			9,40	3690			2,97	144140	1,85	75180
5,15	11750	1,63	264990	2,07	157520	2,23	167110			7,62	5590			2,84	177850	0,85	204210
4,24	20010			1,80	241570	2,07	208320			5,93	8890						
3,39	44880									0,47	204620						
2,01	138920																

**APÊNDICE C – RESULTADOS INDIVIDUAIS ISOTERMAS  
DE DESSORÇÃO OBTIDAS POR SOLUÇÃO SALINA E PELA  
CURVA DE SUCCÃO**

Tabela C.1 - - Isoterma de Dessorção argamassas sem aditivo – teor de umidade x conteúdo de umidade mássico – após ajuste GAB com dados das soluções e WP4C

Teor de umidade	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
A1E6	0,00	0,86	0,86	0,94	1,07	1,24	1,49	1,88	2,17	2,55	3,11	3,99	4,50	4,81	5,57	6,04	6,61	7,30	9,21
A2E6	0,00	0,89	0,85	0,92	1,03	1,19	1,42	1,77	2,02	2,36	2,83	3,55	3,96	4,20	4,78	5,13	5,54	6,02	7,29
A1E9	0,00	0,70	0,63	0,67	0,75	0,86	1,03	1,30	1,50	1,77	2,16	2,79	3,15	3,37	3,93	4,28	4,70	5,21	6,66
A2E9	0,00	0,77	0,71	0,76	0,85	0,99	1,18	1,48	1,70	2,00	2,43	3,10	3,49	3,72	4,30	4,66	5,08	5,59	7,00
A1E12	0,00	0,70	0,65	0,69	0,78	0,90	1,08	1,36	1,57	1,86	2,27	2,93	3,32	3,56	4,15	4,53	4,98	5,53	7,10
A2E12	0,00	0,73	0,71	0,77	0,86	0,99	1,18	1,45	1,65	1,92	2,28	2,82	3,12	3,29	3,70	3,94	4,22	4,55	5,37

Tabela C.2 - - Isoterma de Dessorção argamassas com aditivo – teor de umidade x conteúdo de umidade mássico– após ajuste GAB com dados das soluções e WP4C

Teor de umidade	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,73	0,75	0,80	0,85	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
<b>SIL</b>	0,00	1,63	1,78	1,98	2,22	2,54	2,96	3,54	3,72	3,93	4,41	5,03	5,84	6,25	6,48	6,98	7,26	7,57	7,90	8,66
<b>EZN</b>	0,00	1,39	1,53	1,70	1,92	2,21	2,59	3,14	3,32	3,52	3,99	4,61	5,45	5,89	6,13	6,68	7,00	7,34	7,73	8,62
<b>ECA</b>	0,00	1,50	1,67	1,86	2,10	2,41	2,82	3,39	3,57	3,77	4,25	4,86	5,69	6,10	6,34	6,85	7,15	7,46	7,81	8,61
<b>VIN</b>	0,00	1,38	1,50	1,67	1,89	2,18	2,57	3,15	3,33	3,54	4,05	4,74	5,70	6,20	6,48	7,14	7,53	7,95	8,43	9,58
<b>INC</b>	0,00	1,30	1,35	1,48	1,66	1,89	2,22	2,68	2,83	2,99	3,39	3,92	4,63	5,00	5,21	5,67	5,94	6,23	6,56	7,32
<b>IND</b>	0,00	0,98	0,99	1,08	1,22	1,43	1,73	2,19	2,35	2,54	3,02	3,72	4,86	5,53	5,95	7,00	7,68	8,51	9,53	12,56
<b>S9</b>	0,00	1,13	1,14	1,23	1,37	1,56	1,82	2,19	2,31	2,45	2,77	3,19	3,77	4,07	4,23	4,61	4,82	5,06	5,32	5,93
<b>SAP</b>	0,00	0,57	0,63	0,71	0,82	0,97	1,18	1,53	1,65	1,79	2,17	2,73	3,71	4,32	4,71	5,76	6,47	7,39	8,62	12,89

**APÊNDICE D – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS  
ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE**

Tabela D.1 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A1E6

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) ( tempo em raiz de minuto)													
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	<b>0,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,24</b>	<b>3,16</b>	<b>3,87</b>	<b>5,48</b>	<b>7,75</b>	<b>9,49</b>	<b>10,95</b>	<b>15,49</b>	<b>21,91</b>	<b>37,95</b>
1	3,0	3,0	1,22%	0,38	0,00	0,05	0,10	0,13	0,16	0,21	0,27	0,32	0,36	0,45	0,59	0,86	1,09	1,26
2	3,0		0,44%	0,38	0,00	0,05	0,10	0,13	0,16	0,21	0,27	0,32	0,36	0,45	0,59	0,88	1,12	1,30
3	3,0		0,78%	0,38	0,00	0,05	0,10	0,13	0,16	0,21	0,27	0,32	0,36	0,46	0,59	0,89	1,15	1,33
média					<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,21</b>	<b>0,27</b>	<b>0,32</b>	<b>0,36</b>	<b>0,46</b>	<b>0,59</b>	<b>0,88</b>	<b>1,12</b>	<b>1,30</b>

Tabela D.2 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A1E9

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) ( tempo em raiz de minuto)													
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	<b>0,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,24</b>	<b>3,61</b>	<b>4,47</b>	<b>6,08</b>	<b>8,31</b>	<b>10,00</b>	<b>11,40</b>	<b>15,81</b>	<b>22,14</b>	<b>37,95</b>
1	7,2	6,9	4,91%	0,65	0,00	0,07	0,16	0,23	0,28	0,39	0,56	0,68	0,77	1,03	1,38	2,04	2,69	3,09
2	6,9		0,83%	0,66	0,00	0,08	0,17	0,24	0,29	0,40	0,56	0,67	0,76	1,00	1,33	1,96	2,57	2,94
3	6,5		5,73%	0,65	0,00	0,08	0,17	0,23	0,29	0,39	0,54	0,64	0,72	0,93	1,24	1,84	2,45	2,82
média					<b>0,00</b>	<b>0,08</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,29</b>	<b>0,40</b>	<b>0,55</b>	<b>0,66</b>	<b>0,75</b>	<b>0,99</b>	<b>1,32</b>	<b>1,95</b>	<b>2,57</b>	<b>2,95</b>

Tabela D.3 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A1E12

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) ( tempo em raiz de minuto)													
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	<b>0,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,45</b>	<b>3,16</b>	<b>3,87</b>	<b>6,00</b>	<b>8,06</b>	<b>9,75</b>	<b>11,18</b>	<b>15,49</b>	<b>21,91</b>	<b>37,95</b>
1	12,9	12,6	2,27%	1,32	0,00	0,15	0,34	0,47	0,58	0,79	1,07	1,28	1,43	1,81	2,33	3,36	3,52	3,55
2	12,5		0,58%	1,31	0,00	0,15	0,34	0,47	0,58	0,79	1,06	1,25	1,41	1,79	2,32	3,39	3,56	3,59
3	12,4		1,69%	1,31	0,00	0,16	0,34	0,47	0,57	0,78	1,05	1,25	1,40	1,78	2,30	3,39	3,56	3,58
média					<b>0,00</b>	<b>0,15</b>	<b>0,34</b>	<b>0,47</b>	<b>0,58</b>	<b>0,79</b>	<b>1,06</b>	<b>1,26</b>	<b>1,42</b>	<b>1,79</b>	<b>2,32</b>	<b>3,38</b>	<b>3,55</b>	<b>3,57</b>

Tabela D.4 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A2E6

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)													
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	<b>0,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,45</b>	<b>3,46</b>	<b>4,36</b>	<b>5,92</b>	<b>8,06</b>	<b>9,80</b>	<b>11,22</b>	<b>15,49</b>	<b>21,91</b>	<b>40,25</b>
1	3,6	3,9	7,38%	0,39	0,00	0,04	0,09	0,14	0,17	0,23	0,31	0,37	0,41	0,53	0,71	1,14	1,44	1,64
2	4,2		7,38%	0,42	0,00	0,05	0,10	0,15	0,18	0,25	0,34	0,41	0,46	0,60	0,78	1,21	1,49	1,67
3	3,9		0,00%	0,40	0,00	0,05	0,10	0,14	0,17	0,24	0,32	0,39	0,44	0,57	0,75	1,18	1,46	1,64
média					<b>0,00</b>	<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,14</b>	<b>0,17</b>	<b>0,24</b>	<b>0,32</b>	<b>0,39</b>	<b>0,44</b>	<b>0,56</b>	<b>0,75</b>	<b>1,17</b>	<b>1,46</b>	<b>1,65</b>

Tabela D.5 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A2E9

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)													
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	<b>0,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,65</b>	<b>3,74</b>	<b>4,47</b>	<b>6,08</b>	<b>8,31</b>	<b>10,00</b>	<b>11,49</b>	<b>15,91</b>	<b>22,05</b>	<b>37,96</b>
1	8,2	8,5	2,91%	0,93	0,00	0,13	0,24	0,34	0,42	0,57	0,76	0,89	0,99	1,29	1,59	2,40	3,09	3,55
2	8,5		0,04%	0,96	0,00	0,13	0,25	0,36	0,43	0,59	0,78	0,91	1,02	1,33	1,62	2,42	3,09	3,54
3	8,7		2,87%	0,95	0,00	0,12	0,24	0,34	0,43	0,58	0,79	0,93	1,05	1,38	1,70	2,51	3,17	3,59
média					<b>0,00</b>	<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>	<b>0,43</b>	<b>0,58</b>	<b>0,77</b>	<b>0,91</b>	<b>1,02</b>	<b>1,33</b>	<b>1,64</b>	<b>2,44</b>	<b>3,12</b>	<b>3,56</b>

Tabela D.6 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – A2E12

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)													
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	<b>0,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,65</b>	<b>3,74</b>	<b>4,47</b>	<b>6,08</b>	<b>8,31</b>	<b>10,00</b>	<b>11,49</b>	<b>15,91</b>	<b>22,05</b>	<b>37,96</b>
1	14,1	14,6	3,40%	1,52	0,00	0,20	0,38	0,54	0,67	0,92	1,26	1,51	1,70	2,23	2,85	3,77	3,80	3,82
2	15,0		2,56%	1,60	0,00	0,21	0,40	0,57	0,70	0,98	1,34	1,59	1,79	2,34	2,97	3,92	3,95	3,97
3	14,7		0,84%	1,58	0,00	0,21	0,41	0,57	0,70	0,96	1,33	1,60	1,81	2,41	3,13	3,89	3,92	3,94
média					<b>0,00</b>	<b>0,21</b>	<b>0,40</b>	<b>0,56</b>	<b>0,69</b>	<b>0,95</b>	<b>1,31</b>	<b>1,56</b>	<b>1,77</b>	<b>2,32</b>	<b>2,99</b>	<b>3,86</b>	<b>3,89</b>	<b>3,91</b>

Tabela D.7 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – EZN

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,75	9,49	10,95	15,49
1	0,15	0,2	2,17%	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
2	0,18		17,39%	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
3	0,13		15,22%	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
média					0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04

Tabela D.8 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – SIL

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,94	9,49	11,09	15,49
1	0,290	0,3	2,25%	0,04	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
2	0,300		1,12%	0,05	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08
3	0,300		1,12%	0,05	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08
média					0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08

Tabela D.9 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – ECA

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,75	9,49	10,95	15,49
1	0,23	0,2	1,47%	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05
2	0,20		11,76%	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
3	0,25		10,29%	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,08
média					0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06

Tabela D.10 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – VIN

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,75	9,49	10,95	16,64
1	0,12	0,1	0,00%	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	
2	0,14		16,67%	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	
3	0,10		16,67%	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	
média					0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	

Tabela D.11 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – INC

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,75	9,49	10,95	16,64
1	1,5	1,5	3,27%	0,20	0,00	0,03	0,05	0,07	0,08	0,11	0,14	0,17	0,18	0,25		
2	1,6		1,31%	0,21	0,00	0,03	0,05	0,07	0,08	0,11	0,15	0,17	0,19	0,25		
3	1,6		1,96%	0,22	0,00	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18	0,20	0,26		
média					0,00	0,03	0,05	0,07	0,08	0,11	0,15	0,17	0,19	0,25		

Tabela D.12 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – SAP

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,45	3,46	4,12	5,74	8,00	9,75	11,22	15,72
1	2,7	2,7	0,50%	0,32	0,00	0,04	0,08	0,11	0,14	0,18	0,25	0,29	0,33	0,43	0,56	0,86
2	2,6		1,63%	0,32	0,00	0,04	0,08	0,11	0,14	0,18	0,25	0,29	0,33	0,43	0,56	0,87
3	2,7		2,13%	0,34	0,00	0,05	0,09	0,12	0,15	0,20	0,26	0,31	0,35	0,46	0,60	0,94
média					0,00	0,04	0,09	0,12	0,14	0,19	0,25	0,30	0,34	0,44	0,57	0,89

Tabela D.13 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – S9

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,75	9,49	10,95	15,49
1	0,27	0,3	5,19%	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
2	0,26		1,30%	0,05	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,10
3	0,24		6,49%	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
média					0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,09

Tabela D.14 Resultados individuais do ensaio de absorção de água por capilaridade – IND

	Coeficiente de Capilaridade	Média e desvio relativo		Absortividade	Absorção de água por Capilaridade (g/cm <sup>2</sup> ) (tempo em raiz de minuto)											
					[g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]	[mm.min <sup>-1/2</sup> ]	0,00	1,00	2,24	3,16	3,87	5,48	7,75	9,49	10,95	15,49
1	5,4	5,1	5,71%	0,67	0,00	0,09	0,16	0,23	0,27	0,36	0,50	0,58	0,65	0,83	1,03	1,49
2	5,1		0,52%	0,64	0,00	0,08	0,16	0,22	0,26	0,35	0,48	0,56	0,62	0,79	0,97	1,39
3	4,9		5,19%	0,62	0,00	0,09	0,16	0,21	0,25	0,34	0,46	0,54	0,60	0,76	0,95	1,37
média					0,00	0,09	0,16	0,22	0,26	0,35	0,48	0,56	0,62	0,79	0,98	1,42

**APÊNDICE E – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS  
ENSAIOS DE PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA**

Tabela E.1 – Dimensão dos corpos de prova e preparação para ensaio – argamassas sem aditivos

<b>Tipo</b>	<b>Diam médio [mm]</b>	<b>Esp média [mm]</b>	<b>M arg seca estufa [g]</b>	<b>M arg seca estabil [g]</b>	<b>M arg seca pintura [g]</b>	<b>Diam int médio [cm]</b>	<b>M conjunto vazio [g]</b>	<b>M conjunto + sal [g]</b>	<b>M conjunto total [g]</b>
<b>A1E6 -1</b>	100,01	12,66	175,46	175,64	179,47	7,8	122,28	252,38	440,82
<b>A1E6 -2</b>	100,12	13,39	187,53	187,65	191,60	7,8	122,18	252,39	453,27
<b>A1E9 -1</b>	100,16	13,13	183,08	183,30	187,18	7,8	121,82	252,01	448,48
<b>A1E9 -2</b>	100,55	12,23	169,56	169,75	173,67	7,8	120,50	250,99	431,91
<b>A1E12 -1</b>	100,22	13,42	168,15	168,17	171,91	7,8	122,91	253,37	435,88
<b>A1E12 -2</b>	100,36	12,00	151,21	151,30	155,50	7,8	120,02	250,40	413,97
<b>A2E6 -1</b>	100,06	14,05	186,47	186,59	191,29	7,8	120,18	250,58	450,49
<b>A2E6 -2</b>	100,08	11,24	147,5	147,58	151,67	7,8	121,76	251,78	413,60
<b>A2E9 -1</b>	100,63	12,47	162,7	162,9	166,75	7,8	119,99	250,24	426,17
<b>A2E9 -2</b>	100,23	12,44	164,61	164,78	168,77	7,8	119,10	249,95	428,37
<b>A2E12 -1</b>	100,34	13,16	173,26	173,33	177,67	7,8	119,89	250,39	438,54
<b>A2E12 -2</b>	99,81	11,26	145,58	145,63	149,52	7,8	120,52	251,09	412,27

Tabela E.2 – Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas sem aditivos A1E6, A1E9 e A1E12

<b>Tipo</b>	M inicial	M total										
<b>A1E6 -1</b>	440,82	442,15	446,72	450,65	452,31	453,89	455,10	456,43	455,75	456,75	457,26	457,71
<b>A1E6 -2</b>	453,27	454,36	458,48	462,11	464,05	465,39	466,51	466,89	467,14	467,90	468,61	468,85
<b>A1E9 -1</b>	448,48	449,71	454,81	459,12	461,37	462,92	464,20	464,74	465,17	466,13	466,58	467,01
<b>A1E9 -2</b>	431,91	433,32	438,25	442,78	444,68	446,51	447,83	448,36	448,78	449,70	450,17	450,61
<b>A1E12 -1</b>	435,88	437,68	445,26	451,64	454,56	457,10	458,95	459,95	460,22	461,53	462,24	462,80
<b>A1E12 -2</b>	413,97	415,36	423,68	430,28	433,15	435,85	437,80	438,45	439,29	440,46	441,25	441,72
Data	19/01/16	21/01/16	01/02/16	11/02/16	15/02/16	19/02/16	22/02/16	23/02/16	24/02/16	26/02/16	27/02/16	28/02/16
hora	11:30	14:40	14:04	11:25	15:23	15:18	14:00	09:30	10:41	08:23	11:00	09:52
UR sala	60	53	55	55	20	20	20	20	20	21	20	20
temp. sala	20	19	20	20	52	50	55	56	51	55	56	55
UR %	72,8	69,5	69,4	69	70,8	68,7	70,8	71,8	70,3	72,9	73	73
temp. °C	20,7	20,4	21,7	21,8	21,65	22,5	21,8	21	22	21	21,3	21,3

Tabela E.3 - Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas sem aditivos A2E6, A2E9 e A2E12

<b>Tipo</b>	M inicial	M total										
<b>A2E6 -1</b>	450,49	453,65	457,96	459,97	461,64	463,03	463,41	466,17	466,77	467,11	468,44	467,99
<b>A2E6 -2</b>	413,60	417,26	422,4	424,66	426,78	428,49	428,93	432,2	432,9	433,28	434	434,33
<b>A2E9 -1</b>	426,17	430,28	436,39	438,99	441,43	443,32	443,87	447,55	449,02	448,82	449,87	449,94
<b>A2E9 -2</b>	428,37	43,64	438,95	441,61	444,08	446,02	446,5	450,28	451,21	451,48	452,3	452,73
<b>A2E12 -1</b>	438,54	443,16	450,97	453,26	456,38	458,14	458,73	462,83	463,7	464,18	465,17	465,56
<b>A2E12 -2</b>	412,27	417,58	425,49	428,76	432,04	434,21	436,27	439,46	440,38	440,94	441,75	442,45
Tara [g]	0	499,64	499,67	499,68	499,67	499,67	499,7	499,68	499,68	499,55	499,65	499,67
Data	26/01/16	01/02/16	11/02/16	15/02/16	19/02/16	22/02/16	23/02/16	29/02/16	01/03/16	02/03/16	03/03/16	04/03/16
hora	14:38	13:34	10:50	15:45	14:05	15:35	08:34	09:10	15:34	09:00	16:40	08:20
UR sala	58	55	55	20	20	20	21	20	20	20	20	20
temp. sala	20	20	20	50	50	55	58	52	52	53	55	55
UR %	72,8	71,4	70,9	72,6	70,8	74,5	73,3	75	74	74	74	74
temp. °C	21,4	22	22	22,5	23,3	22,5	22,2	21,3	21,9	21,9	21,9	21,9

Tabela E.4 – Variação da massa ao longo do tempo - – argamassas sem aditivos A1E6, A1E9 e A1E12

Tempo	19/1/16 11:30	21/1/16 14:40	1/2/16 14:04	11/2/16 11:25	15/2/16 15:23	19/2/16 15:18	22/2/16 14:00	23/2/16 9:30	24/2/16 10:41	26/2/16 8:23
Tempo acum dias	0,00	2,13	13,11	23,00	27,16	31,16	34,10	34,92	35,97	37,87
Tempo acum horas	0,00	51,17	314,57	551,92	651,88	747,80	818,50	838,00	863,18	908,88
Tempo acum segundos	0,00	184200,00	1132440,00	1986900,00	2346780,00	2692080,00	2946600,00	3016800,00	3107460,00	3271980,00
<b>Massa em Kg</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>A1E6 -1</b>	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
<b>A1E6 -2</b>	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
<b>A1E9 -1</b>	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47
<b>A1E9 -2</b>	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
<b>A1E12 -1</b>	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
<b>A1E12 -2</b>	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
<b>Variação da massa</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>A1E6 -1</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
<b>A1E6 -2</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>A1E9 -1</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>A1E9 -2</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>A1E12 -1</b>	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
<b>A1E12 -2</b>	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03

Tabela E.5 – Variação da massa ao longo do tempo - – argamassas sem aditivos A2E6, A2E9 e A2E12

Tempo	26/1/16 14:38	1/2/16 13:34	11/2/16 10:50	15/2/16 15:45	19/2/16 14:05	22/2/16 15:35	23/2/16 8:34	29/2/16 9:10	1/3/16 15:34	2/3/16 9:00
Tempo acum dias	0,00	5,96	15,84	20,05	23,98	27,04	27,75	33,77	35,04	35,77
Tempo acum horas	0,00	142,93	380,20	481,12	575,45	648,95	665,93	810,53	840,93	858,37
Tempo acum segundos	0,00	514560,00	1368720,00	1732020,00	2071620,00	2336220,00	2397360,00	2917920,00	3027360,00	3090120,00
<b>Massa em Kg</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>A2E6 -1</b>	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47
<b>A2E6 -2</b>	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
<b>A2E9 -1</b>	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45
<b>A2E9 -2</b>	0,43	0,04	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
<b>A2E12 -1</b>	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
<b>A2E12 -2</b>	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44
<b>Variação da massa</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>A2E6 -1</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
<b>A2E6 -2</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>A2E9 -1</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>A2E9 -2</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>A2E12 -1</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
<b>A2E12 -2</b>	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03

Tabela E.6 – Cálculo dos parâmetros de entrada (ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000)).

<b>Tipo</b>	<b>coef ang</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>espessura (mm)</b>	<b>diâmetro total (m)</b>	<b>diâmetro efetivo (m)</b>	<b>lado escondido (m)</b>	<b>diametro hidráulico</b>	<b>área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Correção lado escondido c<sub>te</sub></b>
<b>A1E6 -1</b>	4,87E-09	0,997	12,66	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0034
<b>A1E6 -2</b>	4,47E-09	1,000	13,39	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0034
<b>A1E9 -1</b>	5,39E-09	1,000	13,13	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A1E9 -2</b>	5,44E-09	1,000	12,23	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A1E12 -1</b>	7,84E-09	1,000	13,42	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A1E12 -2</b>	8,10E-09	1,000	12,00	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A2E6 -1</b>	5,38E-09	1,000	14,05	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0034
<b>A2E6 -2</b>	6,37E-09	1,000	11,24	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0034
<b>A2E9 -1</b>	7,33E-09	0,999	12,47	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A2E9 -2</b>	7,48E-09	0,275	12,44	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A2E12 -1</b>	8,30E-09	0,999	13,16	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0035
<b>A2E12 -2</b>	9,28E-09	0,997	11,26	0,10	0,08	0,01	0,08	0,0048	1,0034

Tabela E.7 – Cálculo dos valores individuais de permeabilidade ao vapor das argamassas sem aditivos - ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000).

Tipo	Taxa de mudança de massa	Densidade da taxa do fluxo de vapor de água	Permeancia ao vapor de água	resistencia ao vapor de água	permeabilidade ao vapor de água	fator de resistencia ao vapor de água	espessura de ar equivalente
	G [kg/s ]	g [kg/(m <sup>2</sup> .s)]	W [kg/(m <sup>2</sup> .s.Pa)]	Z = 1/W	δ [kg/(m.s.Pa)]	μ	Sd [m]
<b>A1E6 -1</b>	4,87E-09	1,02E-06	5,59E-10	1,79E+09	7,07E-12	27,16	0,34
<b>A1E6 -2</b>	4,47E-09	9,33E-07	5,13E-10	1,95E+09	6,87E-12	27,94	0,37
<b>A1E9 -1</b>	5,39E-09	1,13E-06	6,19E-10	1,62E+09	8,13E-12	23,62	0,31
<b>A1E9 -2</b>	5,44E-09	1,13E-06	6,24E-10	1,60E+09	7,63E-12	25,18	0,31
<b>A1E12 -1</b>	7,84E-09	1,63E-06	9,00E-10	1,11E+09	1,21E-11	15,91	0,21
<b>A1E12 -2</b>	8,10E-09	1,69E-06	9,29E-10	1,08E+09	1,12E-11	17,22	0,21
<b>A2E6 -1</b>	5,38E-09	1,12E-06	5,85E-10	1,71E+09	8,21E-12	23,35	0,33
<b>A2E6 -2</b>	6,37E-09	1,33E-06	6,92E-10	1,44E+09	7,78E-12	24,65	0,28
<b>A2E9 -1</b>	7,33E-09	1,53E-06	7,97E-10	1,25E+09	9,94E-12	19,30	0,24
<b>A2E9 -2</b>	7,48E-09	1,56E-06	8,13E-10	1,23E+09	1,01E-11	18,96	0,24
<b>A2E12 -1</b>	8,30E-09	1,73E-06	9,02E-10	1,11E+09	1,19E-11	16,15	0,21
<b>A2E12 -2</b>	9,28E-09	1,94E-06	1,01E-09	9,91E+08	1,14E-11	16,89	0,19

Tabela E.8 – Dimensão dos corpos de prova e preparação para ensaio – argamassas com aditivos

<b>Tipo</b>	Diam médio [mm]	Esp média [mm]	M arg seca estabil [g]	M arg seca pintura [g]	Diam int médio [cm]	M conjunto vazio [g]	M conjunto + sal [g]	M conjunto total [g]
<b>INC1</b>	100,14	14,67	160,52	164,25	7,08	121,83	253,04	431,66
<b>INC2</b>	99,91	11,10	118,16	121,45	7,08	119,73	249,87	385,40
<b>IND1</b>	100,13	11,39	118,09	121,17	7,08	120,30	250,30	385,39
<b>IND2</b>	100,01	10,54	108,77	111,48	7,08	121,80	253,76	378,44
<b>S91</b>	100,77	9,69	136,55	138,90	7,08	120,47	251,54	405,62
<b>S92</b>	100,63	9,62	136,21	138,12	7,08	122,90	253,20	403,10
<b>SAP1</b>	100,13	11,17	149,97	152,30	7,08	121,30	251,54	420,37
<b>SAP2</b>	100,22	9,52	126,30	128,83	7,08	119,99	257,30	397,40
<b>SIL1</b>	100,63	7,82		114,51	7,8	119,96	249,99	371,24
<b>SIL 2</b>	100,64	8,86		130,32	7,8	119,10	249,13	392,06
<b>EZN</b>	100,27	10,02		149,21	7,8	119,66	249,68	411,79
<b>EZN 2</b>	100,24	9,44		135,55	7,8	116,24	249,39	393,51
<b>ECA 1</b>	100,08	10,25		150,04	7,8	119,88	250,01	414,48
<b>ECA 2</b>	100,41	10,92		162,73	7,8	121,76	251,73	425,07
<b>VIN 1</b>	100,74	10,06		138,73	7,8	119,98	250,03	404,53
<b>VIN 2</b>	100,80	10,65		147,08	7,8	120,15	250,18	410,34

Tabela E.9 – Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas SIL EZN ECA e VIN

<b>Tipo</b>	M inicial	M total									
<b>SIL1</b>	371,24	374,06	376,59	380,2	387,01	397,17	396,01	396,35	396,72	397,05	397,38
<b>SIL 2</b>	392,06	394,57	396,71	400,15	405,86	414,6	413,34	413,62	413,95	414,21	414,21
<b>EZN</b>	411,79	414,31	416,35	419,3	425,49	434,04	432,85	433,12	433,40	433,72	433,99
<b>EZN 2</b>	393,51	396,53	399,19	402,9	409,91	420,2	419,11	419,43	419,81	420,17	420,48
<b>ECA 1</b>	414,48	416,97	419,16	422,22	428,09	436,69	435,42	435,73	436,01	436,30	436,57
<b>ECA 2</b>	425,07	427,35	429,35	432	437,44	445,1	443,82	444,05	444,34	444,59	444,84
<b>VIN 1</b>	404,53	406,92	408,42	410,83	415,67	422,52	421,13	421,36	421,57	421,78	422,06
<b>VIN 2</b>	410,34	412,5	414,19	416,5	421,31	428,08	426,64	426,85	427,08	427,33	427,53
Data		499,55	499,58	499,56	499,57	499,55	499,56	499,56	499,61	499,56	499,56
hora	03/11/15	10/11/15	17/11/15	27/11/15	14/12/15	11/01/16	13/01/16	14/01/16	15/01/16	16/01/16	17/01/16
UR sala	10:00	14:32	12:15	10:17	16:15	10:40	11:18	11:09	13:22	15:54	10:34
temp. sala	56	56	54	59	60	60	54	55	55	65	60
UR %	20	21	20	20	21	21	20	20	20	20	20
temp. °C	72,7	70,5	67,4	70,1	68,2	68,2	69	69,2	69,3	65,5	69,9

Tabela E.10 - Medida da massa dos conjuntos ao longo do ensaio – argamassas sem aditivos INC IND S9 e SAP

<b>Tipo</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>INC1</b>	431,66	434,90	438,82	443,73	448,08	452,32	460,51	461,04	461,48	462,12
<b>INC2</b>	385,40	389,19	394,01	400,14	405,31	411,45	420,45	421,11	421,51	422,38
<b>IND1</b>	385,39	390,03	396,01	403,63	410,02	416,26	428,06	428,86	429,43	430,37
<b>IND2</b>	378,44	383,44	389,96	398,72	404,79	411,76	425,44	425,32	425,91	426,96
<b>S91</b>	405,62	407,99	408,94	408,66	413,5	415,61	419,88	420,18	420,5	420,8
<b>S92</b>	403,10	404,57	406,31	411,41	410,48	412,42	416,48	416,98	416,93	417,21
<b>SAP1</b>	420,37	422,31	424,46	427,35	429,85	432,38	437,65	438,05	439,13	438,89
<b>SAP2</b>	397,40	399,56	401,89	405,24	407,98	410,88	416,48	416,7	416,96	417,48
Tara [g]	0	499,64	499,67	499,68	499,67	499,67	499,7	499,68	499,68	499,55
Data	10/03/16	15/03/16	21/03/16	29/03/2016	05/04/16	12/04/16	26/04/16	27/04/16	28/04/16	29/04/16
hora		10:50	14:00	13:33		15:08	18:00	19:04	10:38	16:10
UR sala		55	59	55		53	20	54	55	56
temp. sala		21	20	20		20	58	20	22	21
UR %	75,8	71,5	73,1	71,3	73,5	72,4				
temp. °C	21,4	22	22	22,5	23,3	22,5	22,2	21,3	21,9	21,9

Tabela E.11 – Variação da massa ao longo do tempo -- argamassas sem aditivos SIL EZN ECA e VIN

Tempo	3/11/15 10:00	10/11/15 14:32	17/11/15 12:15	27/11/15 16:15	14/12/15 10:40	11/1/16 10:40	13/1/16 11:18	14/1/16 11:09	15/1/16 13:22	16/1/16 15:54	17/1/16 10:34
Tempo acum dias	0,00	7,19	14,09	24,01	41,26	69,03	71,05	72,05	73,14	74,25	75,02
Tempo acum horas	0,00	172,53	338,25	576,28	990,25	1656,67	1705,30	1729,15	1755,37	1781,90	1800,57
Tempo acum segundos	0,00	621120,00	1217700,00	2074620,00	3564900,00	5964000,00	6139080,00	6224940,00	6319320,00	6414840,00	6482040,00
<b>Massa em Kg</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>SIL1</b>	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
<b>SIL 2</b>	0,39	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
<b>EZN</b>	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
<b>EZN 2</b>	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>ECA 1</b>	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
<b>ECA 2</b>	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
<b>VIN 1</b>	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>VIN 2</b>	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
<b>Variação da massa</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>SIL1</b>	0,0000	0,0028	0,0053	0,0090	0,0158	0,0259	0,0248	0,0251	0,0255	0,0258	0,0261
<b>SIL 2</b>	0,0000	0,0025	0,0046	0,0081	0,0138	0,0225	0,0213	0,0216	0,0219	0,0221	0,0221
<b>EZN</b>	0,0000	0,0025	0,0046	0,0075	0,0137	0,0223	0,0211	0,0213	0,0216	0,0219	0,0222
<b>EZN 2</b>	0,0000	0,0030	0,0057	0,0094	0,0164	0,0267	0,0256	0,0259	0,0263	0,0267	0,0270
<b>ECA 1</b>	0,0000	0,0025	0,0047	0,0077	0,0136	0,0222	0,0209	0,0213	0,0215	0,0218	0,0221
<b>ECA 2</b>	0,0000	0,0023	0,0043	0,0069	0,0124	0,0200	0,0188	0,0190	0,0193	0,0195	0,0198
<b>VIN 1</b>	0,0000	0,0024	0,0039	0,0063	0,0111	0,0180	0,0166	0,0168	0,0170	0,0173	0,0175
<b>VIN 2</b>	0,0000	0,0022	0,0039	0,0062	0,0110	0,0177	0,0163	0,0165	0,0167	0,0170	0,0172

Tabela E.12 – Variação da massa ao longo do tempo - - argamassas sem aditivos INC IND S9 e SAP

Tempo	10/3/16 0:00	15/3/16 10:50	21/3/16 14:00	29/3/16 13:33	5/4/16 0:00	12/4/16 15:08	26/4/16 18:00	27/4/16 19:04	28/4/16 10:38	29/4/16 16:10
Tempo acum dias	0,00	5,45	11,58	19,56	26,00	33,63	47,75	48,79	49,44	50,67
Tempo acum horas	0,00	130,83	278,00	469,55	624,00	807,13	1146,00	1171,07	1186,63	1216,17
Tempo acum segundos	0,00	471000,00	1000800,00	1690380,00	2246400,00	2905680,00	4125600,00	4215840,00	4271880,00	4378200,00
<b>Massa em Kg</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>INC1</b>	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
<b>INC2</b>	0,39	0,39	0,39	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>IND1</b>	0,39	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43
<b>IND2</b>	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,43	0,43	0,43	0,43
<b>S91</b>	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>S92</b>	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>SAP1</b>	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44
<b>SAP2</b>	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42
<b>Variação da massa</b>	M inicial	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total	M total
<b>INC1</b>	0,000	0,003	0,007	0,012	0,016	0,021	0,029	0,029	0,030	0,030
<b>INC2</b>	0,000	0,004	0,009	0,015	0,020	0,026	0,035	0,036	0,036	0,037
<b>IND1</b>	0,000	0,005	0,011	0,018	0,025	0,031	0,043	0,043	0,044	0,045
<b>IND2</b>	0,000	0,005	0,012	0,020	0,026	0,033	0,047	0,047	0,047	0,049
<b>S91</b>	0,000	0,002	0,003	0,003	0,008	0,010	0,014	0,015	0,015	0,015
<b>S92</b>	0,000	0,001	0,003	0,008	0,007	0,009	0,013	0,014	0,014	0,014
<b>SAP1</b>	0,000	0,002	0,004	0,007	0,009	0,012	0,017	0,018	0,019	0,019
<b>SAP2</b>	0,000	0,002	0,004	0,008	0,011	0,013	0,019	0,019	0,020	0,020

Tabela E.13 – Cálculo dos parâmetros de entrada (ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000).

<b>Tipo</b>	<b>coef ang</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>espessura (mm)</b>	<b>diâmetro total (m)</b>	<b>diâmetro efetivo (m)</b>	<b>lado escondido (m)</b>	<b>diametro hidráulico</b>	<b>área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Correção lado escondido C<sub>ie</sub></b>
<b>SIL1</b>	4,03E-09	0,996	7,82	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0035
<b>SIL 2</b>	3,45E-09	0,994	8,86	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0035
<b>EZN</b>	3,42E-09	0,995	10,02	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0035
<b>EZN 2</b>	4,16E-09	0,996	9,44	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0035
<b>ECA 1</b>	3,40E-09	0,994	10,25	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0034
<b>ECA 2</b>	3,04E-09	0,993	10,92	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0035
<b>VIN 1</b>	2,69E-09	0,991	10,06	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0035
<b>VIN 2</b>	2,65E-09	0,990	10,65	0,10	0,08	0,01	0,08	4,78E-03	1,0036
<b>INC1</b>	6,96E-09	1,000	14,67	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0041
<b>INC2</b>	8,45E-09	0,999	11,10	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0041
<b>IND1</b>	1,03E-08	0,999	11,39	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0041
<b>IND2</b>	1,11E-08	0,999	10,54	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0041
<b>S91</b>	3,47E-09	0,975	9,69	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0042
<b>S92</b>	3,22E-09	0,973	9,62	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0042
<b>SAP1</b>	4,23E-09	0,999	11,17	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0041
<b>SAP2</b>	4,59E-09	1,000	9,52	0,10	0,07	0,01	0,07	0,0039	1,0042

Tabela E.14 – Cálculo dos valores individuais de permeabilidade ao vapor das argamassas sem aditivos - ISO 12572 (ISO, 2001) e EN 1015-19 (2000).

Tipo	Taxa de mudança de massa	Densidade da taxa do fluxo de vapor de água	Permeancia ao vapor de água	resistencia ao vapor de água	permeabilidade ao vapor de água	fator de resistencia ao vapor de água	espessura de ar equivalente
	G [kg/s ]	g [kg/(m <sup>2</sup> .s)]	W [kg/(m <sup>2</sup> .s.Pa)]	Z = 1/W	δ [kg/(m.s.Pa)]	μ	Sd [m]
<b>SIL1</b>	4,03E-09	8,41E-07	4,53E-10	2,21E+09	3,55E-12	54	0,42
<b>SIL 2</b>	3,45E-09	7,20E-07	3,88E-10	2,58E+09	3,44E-12	56	0,49
<b>EZN</b>	3,42E-09	7,13E-07	3,84E-10	2,60E+09	3,85E-12	50	0,50
<b>EZN 2</b>	4,16E-09	8,67E-07	4,67E-10	2,14E+09	4,41E-12	43	0,41
<b>ECA 1</b>	3,40E-09	7,09E-07	3,83E-10	2,61E+09	3,92E-12	49	0,50
<b>ECA 2</b>	3,04E-09	6,35E-07	3,42E-10	2,92E+09	3,74E-12	51	0,56
<b>VIN 1</b>	2,69E-09	5,61E-07	3,02E-10	3,31E+09	3,04E-12	63	0,63
<b>VIN 2</b>	2,65E-09	5,52E-07	2,98E-10	3,36E+09	3,17E-12	60	0,64
<b>INC1</b>	6,96E-09	1,76E-06	1,02E-09	9,84E+08	1,49E-11	13	0,19
<b>INC2</b>	8,45E-09	2,14E-06	1,23E-09	8,10E+08	1,37E-11	14	0,16
<b>IND1</b>	1,03E-08	2,60E-06	1,50E-09	6,66E+08	1,71E-11	11	0,13
<b>IND2</b>	1,11E-08	2,80E-06	1,62E-09	6,18E+08	1,71E-11	11	0,12
<b>S91</b>	3,47E-09	8,77E-07	5,07E-10	1,97E+09	4,91E-12	39	0,38
<b>S92</b>	3,22E-09	8,15E-07	4,71E-10	2,12E+09	4,53E-12	43	0,41
<b>SAP1</b>	4,23E-09	1,07E-06	6,18E-10	1,62E+09	6,90E-12	28	0,31
<b>SAP2</b>	4,59E-09	1,16E-06	6,70E-10	1,49E+09	6,38E-12	30	0,29

Observação- correção dos valores de SD menores que 0,20m

correção	da	$\delta a$ [kg/(m.s.Pa)]	$W_c$	$Z = 1/W$	$\delta$ [kg/(m.s.Pa)]	$\mu$	Sd [m]
<b>INC1</b>	0,015	1,93E-10	1,10E-09	9,06E+08	1,6195E-11	12	0,17
<b>INC2</b>	0,015	1,93E-10	1,37E-09	7,32E+08	1,5158E-11	13	0,14
<b>IND1</b>	0,015	1,93E-10	1,70E-09	5,88E+08	1,935E-11	10	0,11
<b>IND2</b>	0,015	1,93E-10	1,85E-09	5,40E+08	1,9523E-11	10	0,10

**APÊNDICE F – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS  
ENSAIOS DE SECAGEM**

Tabela F.1 - Estudo piloto de secagem - definição do tamanho e selagem lateral dos corpos de prova

<b>Horas</b>	<b>0</b>	<b>0,71</b>	<b>1</b>	<b>1,25</b>	<b>1,41</b>	<b>2,04</b>	<b>2,47</b>	<b>3,5</b>	<b>4,89</b>	<b>6,95</b>	<b>8,5</b>	<b>10,12</b>	<b>11,32</b>	<b>12,23</b>	<b>12,89</b>	<b>14,65</b>
<b>1cm - selado</b>	13,09	12,76	12,43	12,18	11,86	10,53	9,43	6,33	3,59	1,56	1,07	0,88	0,87	0,87	0,87	0,00
<b>2,5cm - selado</b>	13,29	13,02	12,84	12,62	12,39	11,64	11,07	9,27	6,79	4,46	3,39	2,49	1,97	1,70	1,56	0,00
<b>1cm - não selado</b>	13,24	12,89	12,61	12,29	11,95	10,60	9,57	6,02	2,90	1,09	0,88	0,80	0,78	0,78	0,78	0,00
<b>8cm - selado</b>	10,91	10,82	10,76	10,69	10,62	10,34	10,13	9,44	8,18	6,40	5,28	4,29	3,71	3,33	3,09	0,00
<b>8cm - não selado</b>	12,56	12,34	12,17	11,98	11,80	11,10	10,53	8,75	6,48	3,80	2,57	1,76	1,38	1,22	1,16	0,00

Tabela F.2 - Secagem A1E6

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas														Secagem estufa
ale6 2.3	33,26	33,16	33,06	32,96	32,85	32,48	32,21	31,23	30,26	29,66	29,6	29,59	29,59	29,59	29,59	29,3
ale6 2.3	29,25	29,17	29,09	29	28,9	28,54	28,26	27,33	26,52	26,09	26,06	26,06	26,05	26,05	26,05	25,88
ale6 2.3	40,4	40,25	40,18	40,09	40	39,5	39,11	37,78	36,74	36,13	36,02	35,95	35,94	35,94	35,94	35,69
data	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	08/03/16	09/03/16	10/03/16	11/03/16	12/03/16	13/03/16	14/03/16	16/03/16
hora	10:05	10:35	11:05	11:38	12:05	14:14	16:10	22:20	09:58	10:20	10:20	16:30	18:08	15:39	08:15	08:39
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
UR %	55	55	55	55	55	55	55	55	53	53	53	54	58	57	57	54

Tabela F.3 - Secagem A1E9

	Massa saturada	Leituras- massas em gramas														Secagem estufa
ale9 1.1	38,75	38,69	38,65	38,58	38,49	38,41	38,07	37,78	36,84	35,17	34,14	33,98	33,98	33,98	33,98	33,98
ale9 1.1	34,16	34,09	34,07	33,99	33,92	33,82	33,47	33,19	32,17	30,74	30,03	30	30	30	30	30
ale9 1.1	27,59	27,53	27,48	27,42	27,37	27,27	26,89	26,55	25,43	24,57	24,28	24,28	24,28	24,28	24,28	24,28
data	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	08/03/16	09/03/16	10/03/16	11/03/16	12/03/16	13/03/16	16/03/16
hora	10:15	10:37	10:50	11:15	11:45	12:15	14:15	16:12	22:22	10:00	10:30	10:07	10:00	18:10	15:39	08:15
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
UR %	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	54	58	57	57

Tabela F.4 - Secagem A1E12

	Massa saturada	Leituras- massas em gramas														Secagem estufa
ale12 2.3	33,13	33,07	33	32,87	32,79	32,69	32,38	32,11	31,18	29,56	28,66	28,65	28,64	28,64	28,64	28,64
ale12 2.3	35,55	35,48	35,45	35,31	35,23	35,17	34,79	34,47	33,45	31,57	30,71	30,71	30,69	30,69	30,69	30,69
ale12 2.3	30,18	30,12	30,07	29,99	29,93	29,84	29,44	29,1	27,88	26,43	26,03	26,03	26,03	26,03	26,03	26,03
data	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	08/03/16	09/03/16	10/03/16	11/03/16	12/03/16	13/03/16	14/03/16
hora	10:25	10:40	10:55	11:29	11:55	12:25	14:22	16:15	22:25	10:04	10:35	10:09	16:44	18:12	15:39	08:15
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
UR %	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	53	58	57	57

Tabela F.5 - Secagem A2E6

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas														Secagem estufa	
a2e6 2.2	28,68	28,63	28,57	28,48	28,39	28,29	27,96	27,64	26,73	25,86	25,53	25,52	25,52	25,52	25,52	25,52	
a2e6 2.2	41,86	41,8	41,72	41,61	41,47	41,37	40,93	40,5	39,28	37,94	37,38	37,29	37,27	37,27	37,27	37,27	
a2e6 2.2	31,18	31,13	31,08	30,99	30,9	30,82	30,35	29,92	28,76	28,03	27,78	27,74	27,74	27,73	27,73	27,73	
data	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	07/03/16	08/03/16	09/03/16	10/03/16	11/03/16	12/03/26	13/03/16	14/03/16
hora	10:30	10:45	11:00	11:30	12:00	12:30	14:24	16:30	22:27	10:05	10:38	10:10	10:00	18:12	15:39	08:15	
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
UR %	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	54	58	57	57

Tabela F.6 - Secagem A2E9

	Massa saturada	Leituras- massas em gramas														Secagem estufa	
a2e9 2.3	24,94	24,83	24,77	24,67	24,49	24,15	23,82	23,53	22,97	21,91	21,73	21,73	21,73	21,73	21,73	21,73	
a2e9 2.3	24,4	24,32	24,25	24,16	23,94	23,82	23,19	22,92	22,38	21,4	21,38	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	
a2e9 2.3	18,56	18,48	18,43	18,33	18,11	17,63	17,22	16,94	16,57	16,18	16,18	16,18	16,18	16,18	16,18	16,18	
data	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	10/03/16	11/03/16	12/03/16	13/03/16	14/03/16	15/03/16	16/03/16
hora	08:05	08:24	08:39	09:05	10:05	12:25	14:25	15:58	19:09	09:56	08:24	18:17	15:39	08:15	10:15	09:00	
temp	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	20	20	20	20	20	20	
UR %	55	55	55	53	53	53	53	58	54	55	54	58	57	57	57	54	

Tabela F.7 - Secagem A2E12

	Massa saturada	Leituras- massas em gramas														Secagem estufa	
a2e12 2.3	18,98	18,91	18,86	18,77	18,66	18,36	18,11	17,88	17,68	16,32	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	
a2e12 2.3	26,47	26,41	26,33	26,22	26,03	25,71	25,41	25,08	24,47	22,9	22,76	22,76	22,76	22,76	22,76	22,76	
a2e12 2.3	20,77	20,69	20,62	20,52	20,32	19,85	19,48	19,08	18,49	17,84	17,82	17,82	17,82	17,82	17,82	17,82	
data	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	09/03/16	10/03/16	11/03/16	12/03/16	13/03/16	14/03/16	15/03/16	16/03/16
hora	08:10	08:26	08:41	09:08	10:10	12:26	14:10	16:00	19:11	09:59	08:25	18:19	15:39	08:15	10:17	09:00	
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
UR %	55	55	54	53	53	53	53	53	53	54	55	54	58	57	57	58	54

Tabela F.8 - Secagem EZN

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas																	Secagem estufa	
ezn 2.2	19,78	19,72	19,66	19,54	19,42	19,32	18,84	18,57	18,46	18,27	18,26	18,25	18,25	18,25	18,25	18,25	18,25	18,25	18,16	
ezn 2.2	31,34	31,28	31,18	31,05	30,9	30,79	30,27	29,77	29,57	29,37	29,25	29,22	29,22	29,22	29,22	29,22	29,22	29,22	29,06	
ezn 2.2	28,18	28,12	28,05	27,93	27,8	27,7	27,19	26,78	26,61	26,38	26,3	26,29	26,29	26,29	26,29	26,29	26,29	26,29	26,17	
data	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	16/06/16	17/06/16	18/06/16	20/06/16	21/06/16	22/06/16	23/06/16	24/06/16	25/06/16	27/06/16
hora	09:04	09:19	09:34	10:04	10:33	11:00	13:16	15:59	19:03	09:00	09:45	12:07	11:31	12:42	09:05	11:30	15:40	10:54		
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	22		
UR %	60	56	60	55	57	58	53	55	55	55	55	61	58	57	55	53	50	50	53	

Tabela F.9 - Secagem SIL

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas																	Secagem estufa	
sil 1.1	39,91	39,83	39,75	39,63	39,53	39,42	39	38,75	38,58	38,17	37,85	37,65	37,53	37,48	37,47	37,45	37,43	37,45	37,19	
sil 1.1	28,88	28,82	28,71	28,62	28,51	28,51	27,98	27,7	27,51	27,11	26,86	26,77	26,78	26,74	26,76	26,76	26,76	26,74	26,57	
sil 1.1	43,15	43,05	42,99	42,84	42,74	42,74	42,14	41,87	41,69	41,27	40,95	40,72	40,56	40,54	40,5	40,46	40,46	40,45	40,19	
data	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	16/06/16	17/06/16	18/06/16	20/06/16	21/06/16	22/06/16	23/06/16	24/06/16	25/06/16	27/06/16
hora	09:00	09:15	09:30	10:00	10:30	10:58	13:13	15:55	19:00	09:00	09:45	12:02	11:26	12:38	09:01	11:27	15:36	10:48		
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	22		
UR %	60	58	55	55	54	58	53	55	55	55	55	61	54	57	55	56	50	50	53	

Tabela F.10 - Secagem ECA

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas																	Secagem estufa	
eca 1.1	30,44	30,37	30,29	30,19	30,09	29,98	29,52	29,04	28,84	28,49	28,29	28,2	28,19	28,19	28,19	28,19	28,19	28,19	28,02	
eca 1.1	44,85	44,79	44,7	44,57	44,45	44,34	43,82	43,42	43,21	42,78	42,5	42,28	42,21	42,05	42,05	42,04	42,02	42,02	41,78	
eca 1.1	30	29,95	29,88	29,75	29,66	29,56	29,13	28,66	28,46	28,1	27,88	27,8	27,79	27,79	27,78	27,78	27,76	27,76	27,62	
data	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	16/06/16	17/06/16	18/06/16	20/06/16	21/06/16	22/06/16	23/06/16	24/06/16	25/06/16	27/06/16
hora	09:02	09:16	09:32	10:02	10:32	11:00	13:14	15:56	19:00	09:00	09:45	12:04	11:30	12:40	09:04	11:29	15:38	10:52		
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	22		
UR %	60	56	60	55	54	58	60	55	55	55	55	61	54	57	55	56	50	50	53	

Tabela F.11 - Secagem VIN

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas																	Secagem estufa
vin 2.2	22,68	22,63	22,5	22,4	22,25	22,16	21,7	21,27	20,57	20,06	19,92	19,91	19,91	19,91	19,91	19,91	19,91	19,9	19,72
vin 2.2	22,67	22,6	22,5	22,37	22,25	22,14	21,66	21,22	20,5	19,97	19,82	19,82	19,82	19,82	19,81	19,81	19,81	19,81	19,63
vin 2.2	19,82	19,74	19,64	19,5	19,35	19,24	18,72	18,25	17,75	17,39	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,19
data	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	17/06/16	18/06/16	20/06/16	21/06/16	22/06/16	23/06/16	24/06/16	25/06/16	26/06/16	28/06/16
hora	09:20	09:35	09:54	10:23	11:03	11:24	13:25	15:20	19:40	09:55	12:11	11:36	12:46	09:10	11:33	15:42	10:57	17:15	
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	22	21	
UR %	55	55	58	58	58	58	53	53	57	61	60	55	50	53	50	50	53	50	

Tabela F.12 - Secagem INC

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas																	Secagem estufa
inc 2.2	15,39	15,33	15,26	15,17	15,05	14,93	14,45	13,83	13,11	12,53	12,51	12,51	12,5	12,5	12,5	12,5	12,48	12,47	12,39
inc 2.2	22,55	22,49	22,41	22,3	22,21	22,07	21,53	20,8	20	18,26	18,24	18,24	18,22	18,21	18,2	18,2	18,2	18,2	18,08
inc 2.2	20,88	20,83	20,74	20,64	20,54	20,39	19,79	19,01	18,17	16,88	16,85	16,85	16,84	16,84	16,84	16,82	16,82	16,82	16,71
data	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	15/06/16	16/06/16	17/06/16	18/06/16	20/06/16	21/06/16	22/06/16	23/06/16	24/06/16	25/06/16	27/06/16
hora	09:09	09:24	09:39	10:09	10:35	11:00	13:14	15:56	19:06	09:00	09:51	12:09	11:33	12:44	09:07	11:32	15:41	10:55	
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	22	
UR %	53	56	60	55	57	58	55	55	55	55	61	54	57	55	53	50	50	53	

Tabela F.13 - Secagem S9

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas																	Secagem estufa
S9 2.2	28,41	28,31	28,28	28,13	28,01	27,83	27,41	26,97	26,51	26,11	25,99	25,97	25,97	25,97	25,97	25,95	25,96	25,95	25,82
S9 2.2	17,83	17,74	17,68	17,59	17,45	17,3	16,97	16,68	16,48	16,32	16,3	16,29	16,29	16,29	16,31	16,29	16,28	16,28	16,21
S9 2.2	27,92	27,82	27,75	27,62	27,46	27,27	26,78	26,34	26	25,66	25,54	25,53	25,53	25,53	25,5	25,51	25,51	25,51	25,38
data	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	16/06/16	17/06/16	18/06/16	20/06/16	21/06/16	22/06/16	23/06/16	24/06/16	25/06/16	26/06/16	01/07/16
hora	09:40	09:55	10:10	10:40	11:13	11:55	13:40	15:40	19:45	09:55	12:15	11:40	12:51	09:13	11:36	15:44	10:59	17:16	
temp	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	22	21	
UR %	55	58	58	58	58	55	55	58	57	53	60	55	55	53	50	50	53	50	

Tabela F.14 - Secagem SAP

	Massa saturada	Leituras - massas em gramas														Secagem estufa
SAP 2.3	20,32	20,24	20,12	20,09	20	19,89	19,61	18,89	18,63	18,32	18,32	18,32	18,3	18,28	18,28	18,21
SAP 2.3	27,36	27,24	27,12	27,08	26,97	26,83	26,51	25,58	25,24	24,81	24,76	24,76	24,76	24,76	24,76	24,61
SAP 2.3	20,37	20,27	20,15	20,12	20,01	19,86	19,58	18,77	18,61	18,38	18,38	18,38	18,38	18,38	18,38	18,28
data	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	25/03/16	27/03/16	28/03/16	29/03/16	30/03/16	31/03/16	05/04/16
hora	08:52	09:07	09:43	09:52	10:22	11:03	12:52	17:52	21:02	13:00	14:00	17:00	13:23	13:50	16:35	10:00
temp	19			20	19					20	20	20	20	20	19	
UR %	55			55	53					56	57	54	55	55	53	

Tabela F.15 - Secagem IND

	Massa saturada	Leituras- massas em gramas														Secagem estufa
IND 2.3	14,55	14,45	14,37	14,28	14,16	13,86	13,58	13,12	12,64	11,8	11,8	11,8	11,79	11,79	11,79	11,74
IND 2.3	19,35	19,27	19,15	19,04	18,88	18,56	18,22	17,68	17,16	15,8	15,78	15,78	15,77	15,77	15,77	15,73
IND 2.3	19,73	19,6	19,52	19,37	19,22	18,82	18,44	17,79	17,26	16,12	16,12	16,12	16,11	16,11	16,11	16,06
data	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	24/03/16	25/03/16	27/03/16	28/03/16	29/03/16	30/03/16	31/03/16	05/04/16
hora	08:34	08:49	09:04	09:59	10:34	12:34	14:34	18:04	21:05	13:00	14:00	17:00	13:23	13:56	16:35	10:00
temp	19	19		20	20	19	20	20	20	20	20	20	20	20	19	
UR %	53	55		55	55	55	60	60	67	56	57	54	55	52		

**ANEXO A – RELATÓRIOS DE ENSAIO SORÇÃO DE  
NITROGÊNIO**

Figura A.1 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A1E6

Quantachrome Novawin - Data Acquisition and Reduction for NOVA instruments ©1994-2010, Quantachrome Instruments version 11.0			
Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/04	Operator:Geotecnia	Date:4/4/2016
Sample ID: A1E6	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6 estufavacu e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa A1E6	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.5849 g	Sample Volume: 0.585115 cc	Sample Density:2.7087 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 139.8 min	End of run: 2016/04/04 17:17:08	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/w version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc	
Surface Area Data			
MultiPoint BET	4.489e-01 m²/g		
Langmuir surface area	1.717e+02 m²/g		
BJH method cumulative adsorption surface area	1.530e+00 m²/g		
BJH method cumulative desorption surface area	3.348e+00 m²/g		
DH method cumulative adsorption surface area	1.636e+00 m²/g		
DH method cumulative desorption surface area	3.476e+00 m²/g		
Pore Volume Data			
BJH method cumulative adsorption pore volume	9.079e-03 cc/g		
BJH method cumulative desorption pore volume	9.895e-03 cc/g		
DH method cumulative adsorption pore volume	9.008e-03 cc/g		
DH method cumulative desorption pore volume	9.855e-03 cc/g		
HK method cumulative pore volume	1.212e-03 cc/g		
SF method cumulative pore volume	1.258e-03 cc/g		
Pore Size Data			
BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.446e+01 Å		
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.119e+01 Å		
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.446e+01 Å		
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.119e+01 Å		
HK method pore Radius (Mode)	8.062e+00 Å		
SF method pore Radius (Mode)	1.306e+01 Å		

Figura A.2 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A1E9

Quantachrome Novawin - Data Acquisition and Reduction for NOVA instruments ©1994-2010, Quantachrome Instruments version 11.0			
Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/05	Operator:Geotecnia	Date:4/4/2016
Sample ID: A1E9	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E9 estufavacu e pentapyc.	
Sample Desc: Argamassa A1E9	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.13583 g	Sample Volume: 0.420834 cc	Sample Density:2.699 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 129.8 min	End of run: 2016/04/05 20:02:13	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/w version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc	
Surface Area Data			
MultiPoint BET	1.029e+00 m²/g		
Langmuir surface area	8.949e+01 m²/g		
BJH method cumulative adsorption surface area	2.302e+00 m²/g		
BJH method cumulative desorption surface area	4.073e+00 m²/g		
DH method cumulative adsorption surface area	2.452e+00 m²/g		
DH method cumulative desorption surface area	4.218e+00 m²/g		
Pore Volume Data			
BJH method cumulative adsorption pore volume	1.263e-02 cc/g		
BJH method cumulative desorption pore volume	1.371e-02 cc/g		
DH method cumulative adsorption pore volume	1.260e-02 cc/g		
DH method cumulative desorption pore volume	1.363e-02 cc/g		
HK method cumulative pore volume	1.511e-03 cc/g		
SF method cumulative pore volume	1.578e-03 cc/g		
Pore Size Data			
BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.466e+01 Å		
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	6.740e+01 Å		
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.466e+01 Å		
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	6.740e+01 Å		
HK method pore Radius (Mode)	1.838e+00 Å		
SF method pore Radius (Mode)	2.261e+00 Å		

### Figura A.3 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A1E12

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/05	Operator:Geotecnia	Date:4/5/2016
Sample ID: A1E12	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E12 estufavacu e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa A1E12	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.06335 g	Sample Volume: 0.407195 cc	Sample Density:2.6114 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 128.0 min	End of run: 2016/04/05 12:45:35	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

#### Surface Area Data

MultiPoint BET	3.662e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	9.758e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.016e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	2.152e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.076e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	2.230e+00 m <sup>2</sup> /g

#### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	7.359e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	7.382e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	7.287e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	7.333e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	7.266e-04 cc/g
SF method cumulative pore volume	7.560e-04 cc/g

#### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	4.479e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.099e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	4.479e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.099e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.112e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.324e+01 Å

## Figura A.4 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A2E6

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/05	Operator:Geotecnia	Date:4/5/2016
Sample ID: A2E6	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A2E6 estufavacu e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa A2E6	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.56967 g	Sample Volume: 0.604044 cc	Sample Density:2.5986 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 160.6 min	End of run: 2016/04/05 16:21:02	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	9.339e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	5.117e+02 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	2.651e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	5.062e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	2.835e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	5.268e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.195e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.327e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.197e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.323e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.699e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.789e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.447e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.121e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.447e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.121e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.037e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.315e+01 Å

## Figura A.5 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A2E9

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/05	Operator:Geotecnia	Date:4/5/2016
Sample ID: A2E9	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A2E9 estufavacu e pentapyc.	
Sample Desc: Argamassa A2E69	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.35635 g	Sample Volume: 0.535599 cc	Sample Density:2.5324 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 134.2 min	End of run: 2016/04/05 19:54:07	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	4.568e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	5.224e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.698e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	3.487e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.820e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	3.627e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	8.655e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	9.522e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	8.618e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	9.492e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.284e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.330e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.445e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.120e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.445e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.120e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	1.838e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	2.261e+00 Å

## Figura A.6 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –A2E12

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/06	Operator:Geotecnia	Date:4/6/2016
Sample ID: A2E12	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A2E12 estufavacu e pentapyc.	
Sample Desc: Argamassa A2E12	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.1433 g	Sample Volume: 0.418791 cc	Sample Density:2.73 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 110.0 min	End of run: 2016/04/06 10:28:46	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	4.915e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	6.880e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.750e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	2.943e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.885e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	3.076e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	6.819e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	7.577e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	6.845e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	7.583e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.108e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.156e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.448e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.106e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.448e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.106e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.037e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.320e+01 Å

## Figura A.7 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –ECA

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator: Geotecnia	Date: 2016/04/06	Operator: Geotecnia	Date: 4/6/2016
Sample ID: ECa	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6-Eca estufavacuo e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa A1E6-ECa	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.4452 g	Sample Volume: 0.51855 cc	Sample Density: 2.787 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)		Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 146.2 min	End of run: 2016/04/06 16:27:43	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate: Nitrogen	Temperature: 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	7.835e-01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.705e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	3.627e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.818e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	3.776e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	9.252e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	9.958e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	9.230e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	9.922e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.267e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.332e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.443e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.136e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.443e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.136e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.087e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.329e+01 Å

## Figura A.8 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio – EZN

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator: Geotecnia	Date: 2016/04/06	Operator: Geotecnia	Date: 4/6/2016
Sample ID: EZn	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6-EZn estufavacuo e pentapyc.	
Sample Desc: Argamassa A1E6-EZn	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.29512 g	Sample Volume: 0.480564 cc	Sample Density: 2.695 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 139.7 min	End of run: 2016/04/06 19:45:37	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate: Nitrogen	Temperature: 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	9.111e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	4.830e+02 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	2.192e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	4.215e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	2.342e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	4.387e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.067e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.178e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.066e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.173e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.443e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.526e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.466e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.117e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.466e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.117e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.062e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.324e+01 Å

## Figura A.9 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio –INC

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/07	Operator:Geotecnia	Date:4/7/2016
Sample ID: INC	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6-Inc estufavacuo e pentapyc.	
Sample Desc: A1E6 - Incorporador	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.32778 g	Sample Volume: 0.533931 cc	Sample Density:2.4868 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 134.8 min	End of run: 2016/04/07 19:42:55	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	8.556e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	7.508e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	2.662e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	4.908e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	2.854e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	5.113e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.029e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.161e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.035e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.160e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.719e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.793e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.447e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.114e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.447e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.114e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	1.838e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	2.261e+00 Å

## Figura A.10 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio – SAP

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator: Geotecnia	Date: 2016/04/08	Operator: Geotecnia	Date: 4/8/2016
Sample ID: SAP	Filename: C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6-SAP estufavacuo e pentapyc.		
Sample Desc: A1E6 - SAP	Comment: seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc		
Sample weight: 1.40027 g	Sample Volume: 0.553488 cc	Sample Density: 2.5299 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 151.0 min	End of run: 2016/04/08 11:55:40	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate: Nitrogen	Temperature: 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	8.728e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	7.297e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	2.377e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	4.592e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	2.538e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	4.762e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.218e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.307e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.217e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.302e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.688e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.744e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.468e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	3.967e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.468e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	3.967e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	1.838e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	2.261e+00 Å

## Figura A.11 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio – SIL

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator: Geotecnia	Date: 2016/04/06	Operator: Geotecnia	Date: 4/6/2016
Sample ID: SIL	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6-SIL estufavacuo e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa A1E6-SIL	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 1.35935 g	Sample Volume: 0.508073 cc	Sample Density: 2.6755 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 167.5 min	End of run: 2016/04/06 13:43:02	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate: Nitrogen	Temperature: 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	1.189e+00 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	1.061e+02 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	2.987e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	6.517e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	3.192e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	6.785e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.440e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.626e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.440e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.623e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume	2.066e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	2.140e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.481e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.081e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.481e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.081e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	1.838e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	2.261e+00 Å

Figura A.12 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio – VIN

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/07	Operator:Geotecnia	Date:4/7/2016
Sample ID: VI	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\A1E6-Vi estufavacu e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa A1E6-Vi	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc]	
Sample weight: 1.23715 g	Sample Volume: 0.48296 cc	Sample Density:2.5616 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 146.2 min	End of run: 2016/04/07 13:54:11	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

Surface Area Data

MultiPoint BET	9.749e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	2.249e+02 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	2.677e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	6.204e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	2.867e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	6.476e+00 m <sup>2</sup> /g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	1.168e-02 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	1.339e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	1.171e-02 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	1.339e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.905e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.998e-03 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.448e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.125e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.448e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.125e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.087e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.320e+01 Å

## Figura A.13 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio – IND

©1994-2010, Quantachrome Instruments  
version 11.0

Analysis		Report	
Operator:Geotecnia	Date:2016/04/07	Operator:Geotecnia	Date:4/7/2016
Sample ID: IND	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\ind estufavacu e pentapyc	
Sample Desc: Argamassa Industrializada	Comment:	seca estufa a vacuo, massa esp pentapyc	
Sample weight: 0.93557 g	Sample Volume: 0.351652 cc	Sample Density:2.6605 g/cc	
Outgas Time: 1.0 hrs	OutgasTemp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Analysis Time: 125.1 min	End of run: 2016/04/07 16:49:23	Instrument: Nova Station B	
Cell ID: 4		F/W version: 0.00	
Adsorbate Nitrogen	Temperature 77.350K		
Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup>	Liquid Density: 0.808 g/cc	

### Surface Area Data

MultiPoint BET	6.666e-01 m <sup>2</sup> /g
Langmuir surface area	5.575e+01 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative adsorption surface area	1.786e+00 m <sup>2</sup> /g
BJH method cumulative desorption surface area	3.130e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative adsorption surface area	1.907e+00 m <sup>2</sup> /g
DH method cumulative desorption surface area	3.255e+00 m <sup>2</sup> /g

### Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume	9.207e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume	9.337e-03 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume	9.188e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume	9.285e-03 cc/g
HK method cumulative pore volume	1.211e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume	1.260e-03 cc/g

### Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.449e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.105e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.449e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r))	2.105e+01 Å
HK method pore Radius (Mode)	8.062e+00 Å
SF method pore Radius (Mode)	1.324e+01 Å

Figura A.14 – Relatório de Ensaio – Sorção de Nitrogênio – S9

```

©1994-2010, Quantachrome Instruments
version 11.0

Analysis
Operator:Geotecnia          Date:2016/04/08          Report
Sample ID: S9              Filename:               Operator:Geotecnia      Date:4/7/2016
Sample Desc: A1E9 - SIL    Comment:               C:\QCdata\Physisorb\maria claudia\S9 estufavacu e pentapyc
Sample weight: 1.1556 g    Sample Volume: 0.463594 cc      Sample Density:2.4927 g/cc
Outgas Time: 1.0 hrs      OutgasTemp: 300.0 C
Analysis gas: Nitrogen     Bath Temp: 77.3 K
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 127.2 min  End of run: 2016/04/08 22:33:35 Instrument: Nova Station B
Cell ID: 4                F/W version: 0.00
Adsorbate Nitrogen       Temperature 77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g     Cross Section: 16.200 Å²      Liquid Density: 0.808 g/cc

Surface Area Data

MultiPoint BET                8.493e-01 m²/g
Langmuir surface area        1.375e+02 m²/g
BJH method cumulative adsorption surface area 2.468e+00 m²/g
BJH method cumulative desorption surface area 5.680e+00 m²/g
DH method cumulative adsorption surface area 2.649e+00 m²/g
DH method cumulative desorption surface area 5.944e+00 m²/g

Pore Volume Data

BJH method cumulative adsorption pore volume 9.689e-03 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume 1.151e-02 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume 9.736e-03 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume 1.152e-02 cc/g
HK method cumulative pore volume 1.660e-03 cc/g
SF method cumulative pore volume 1.754e-03 cc/g

Pore Size Data

BJH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r)) 2.461e+01 Å
BJH method desorption pore Radius (Mode Dv(r)) 2.128e+01 Å
DH method adsorption pore Radius (Mode Dv(r)) 2.461e+01 Å
DH method desorption pore Radius (Mode Dv(r)) 2.128e+01 Å
HK method pore Radius (Mode) 8.087e+00 Å
SF method pore Radius (Mode) 1.324e+01 Å
    
```