



**ESTUDO DO MECANISMO DE FORMAÇÃO DE FLORESCÊNCIAS EM
REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS A SUBSTRATO
CERÂMICO E O EFEITO DE BARREIRA**

MOACYR SALLES NETO

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

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

**ESTUDO DO MECANISMO DE FORMAÇÃO DE
FLORESCÊNCIAS EM REVESTIMENTOS DE
ARGAMASSA APLICADOS A SUBSTRATO CERÂMICO E
O EFEITO DE BARREIRA**

MOACYR SALLES NETO

ORIENTADOR: ELTON BAUER

TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**PUBLICAÇÃO: E. TD – 003 A/10
BRASÍLIA/DF: JULHO – 2010**


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

**ESTUDO DO MECANISMO DE FORMAÇÃO DE FLORESCÊNCIAS
EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS A
SUBSTRATO CERÂMICO E O EFEITO DE BARREIRA**

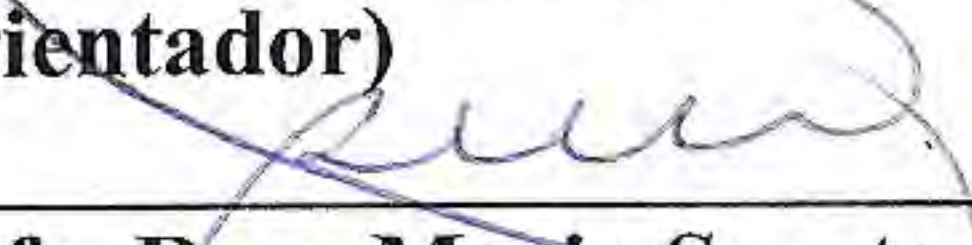
MOACYR SALLES NETO

**TESE DE DOUTRADO SUBMETIDO 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 CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:



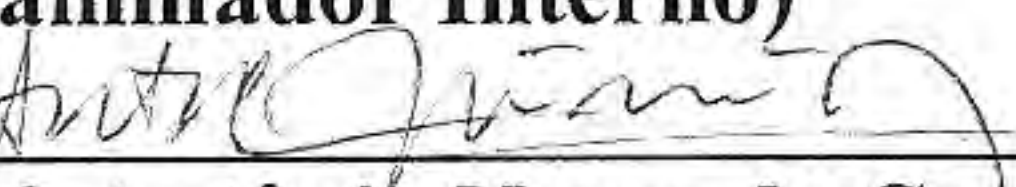
Prof. Elton Bauer, Dr. (UnB)
(Orientador)



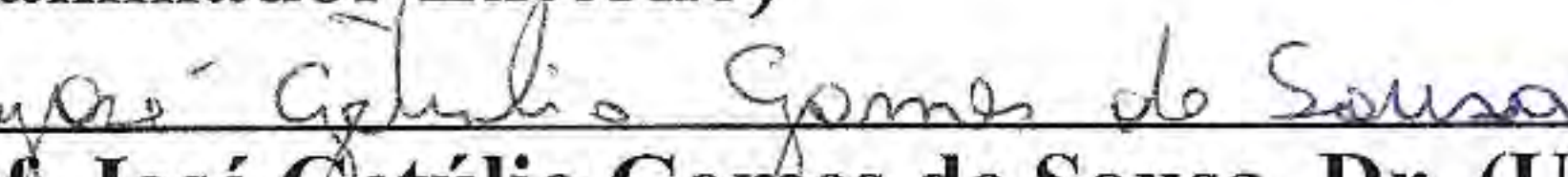
Profa. Rosa Maria Sposto, Dra. (UnB)
(Examinador Interno)



Profa. Eliane Kraus de Castro, Dra. (UnB)
(Examinador Interno)



Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior, Dr. (UFMG)
(Examinador Externo)



Prof. José Getúlio Gomes de Sousa, Dr. (UNIVASF)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 30 DE JULHO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

SALLES NETO, MOACYR

Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira. [Distrito Federal] 2010.

xxvii, 237p. 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2010).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Florescência

2. Eflorescência

3. Criptoflorescência

4. Sais solúveis

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SALLES NETO, M. (2010). Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 003A/10 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 237p.

CESSÃO DE DIREITOS

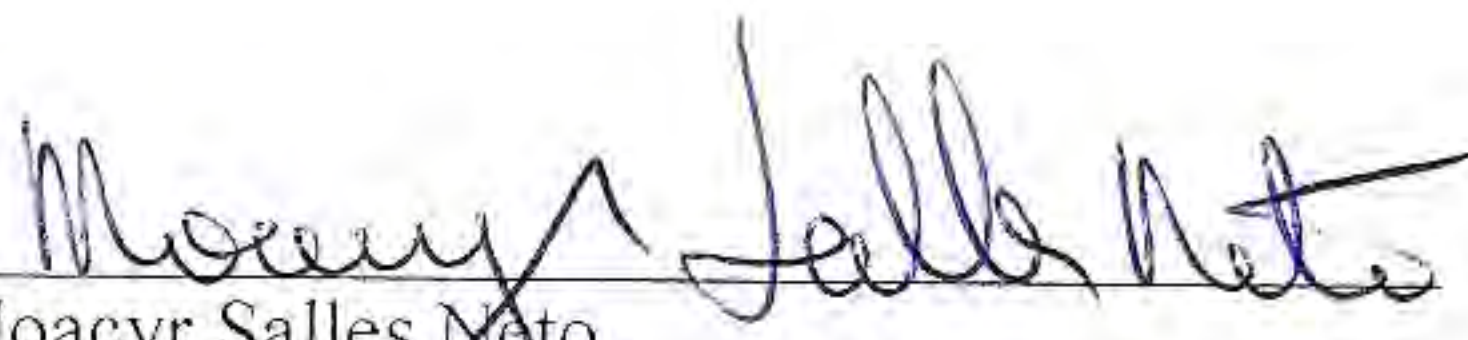
AUTOR: Moacyr Salles Neto.

TÍTULO: Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira.

GRAU: Doutor

ANO: 2010

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


Moacyr Salles Neto
Quadra 1104 Sul, Alameda 12, número 5, Área Sudeste
77.024-040 – Palmas – TO – Brasil.

“He who never made a mistake never made a discovery.”

(Samuel Smiles)

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Rosana, pelo amor e compreensão, sem os quais este trabalho não teria se realizado. Às minhas filhas Sophia e Beatriz (a caminho), promessas de um grande futuro.

AGRADECIMENTOS

À cerâmica Tecil pelo fornecimento dos substratos cerâmicos utilizados nesta pesquisa.

À Impercia – Especialidades Químicas para Construção pelo fornecimento da resina epoxídica utilizada nesta pesquisa.

Ao Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP/ULBRA pela disponibilização das instalações e recursos laboratoriais.

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília pela disponibilização de recursos laboratoriais.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus de Palmas pela liberação parcial para capacitação no final da pesquisa.

Aos colegas que colaboraram na coordenação de Construção Civil do IFTO, Liliane, Danilo e Flávio, pela compreensão da necessidade de desenvolver este trabalho.

À Eva, secretária do programa, por sua prontidão e presteza.

À Prof. Rosa e ao Prof. Brito, pelo atendimento às demandas que viabilizaram esta tese.

À Prof. Adriana e ao Prof Pedrosa, do IFTO, e ao Benjamin, do CEULP, pelo auxílio na utilização dos equipamentos.

Ao Prof. Voninio, do IFTO, pelo auxílio na redação do abstract.

Aos Profs. Guilherme e Bauer, sobretudo pela amizade.

Ao Prof. Flávio Roldão, amigo de todas as horas.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste projeto.

RESUMO

ESTUDO DO MECANISMO DE FORMAÇÃO DE FLORESCÊNCIAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS A SUBSTRATO CERÂMICO E O EFEITO DE BARREIRA

Autor: Moacyr Salles Neto

Orientador: Elton Bauer

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (UnB)

Brasília, julho de 2010.

Apesar da melhor compreensão das técnicas construtivas e da crescente disponibilidade de novos materiais, é comum a presença de depósitos cristalinos na superfície e no interior de painéis de alvenaria e concreto por evaporação de soluções salinas, normalmente em presença da umidade. Este fenômeno, freqüente e complexo, é conhecido por fluorescência.

A presente tese de doutorado teve como objetivo contribuir para a análise do mecanismo de formação de fluorescências em revestimentos de argamassa aplicados sobre substratos cerâmicos, e a influência do efeito de barreira na dinâmica do processo.

Foram confeccionados corpos-de-prova compostos de substratos cerâmicos revestidos com 3 cm de argamassa em uma das faces. O polímero impermeabilizante, caracterizado por infravermelho, foi a base de resina acrílica, pigmentos inorgânicos, cargas minerais, aguarrás e aditivos. As argamassas foram mistas de cimento Portland e cal hidratada, com três granulometrias de areia de rio lavada, traço em volume 1:1:6 (cimento : cal hidratada : areia). Após a exposição inicial à solução salina, as séries foram expostas à água deionizada ou à solução saturada de Na_2SO_4 , sendo então analisadas ao longo do tempo.

Foram desenvolvidos sensores para monitorar as franjas de umidade. As fluorescências foram acompanhadas pelo perfil de distribuição de sulfatos, através de espectrofotometria; pela quantificação da massa de sal eflorado, e pela determinação da velocidade de formação por análise das regiões efloradas ao longo do tempo.

Concluiu-se que o fenômeno tem sua velocidade influenciada pela absorvidade e porosidade aberta do revestimento, bem como pela concentração salina deste e do substrato, sendo proposta uma equação para correlação das variáveis. Constatou-se também que a presença da película de barreira retardou, mas não impediu a formação das fluorescências, acarretando ainda em um aumento da concentração de sais no interior do revestimento, provocando uma maior degradação pela formação de criptoflorescências.

ABSTRACT

Author: Moacyr Salles Neto

Supervisor: Elton Bauer

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, July of 2010.

STUDY OF FLORESCENCES'S FORMATION MECHANISM IN MORTAR REVETMENT OVER CERAMIC SUBSTRATE AND BARRIER EFFECT

Despite the better understanding of construction techniques and the increasing availability of new materials, it is still common the presence of crystalline deposits on the surface and inside masonry and concrete panels by evaporation of saline solutions, usually with moisture. This phenomenon, frequent and complex, is usually known as florescence.

This thesis aimed to contribute to the analysis of the mechanism of florescence formation in mortar revetments applied on ceramic substrates, and the influence of the barrier effect in the dynamics of the process.

Samples were prepared with ceramic substrates coated with 3 cm mortar by one side. The sealant polymer, characterized by infrared, was made by acrylic resin, inorganic pigments, mineral fillers, additives and turpentine. The mortars were made with Portland cement and hydrated lime, with three sizes of sand volume proportion 1:1:6 (cement: lime: sand). After the initial exposure to saline, the series were exposed to deionized water or saturated solution of Na_2SO_4 , and then analyzed over time.

Sensors were developed to monitor the head of moisture. The florescences were monitored by the sulfates distribution on samples, through spectrophotometry; for the quantification of mass of effloresced salt, and by the rate of formation by analysis of effloresced regions over time.

It has concluded that the phenomenon is influenced by absorption and open porosity of the coating, and by the concentration of salt in mortar and substrate, it has been proposed an equation for correlation of variables. It was also found that the presence of the barrier film has slowed, but it has not prevented the formation of florescences, resulting in a further increase in salt concentration inside the coating, and causing further degradation of the formation of cryptoflorescences.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DAS TABELAS	xiii
LISTA DAS FIGURAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xxvi
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Justificativa e relevância do tema	1
1.2 – Objetivos e originalidade da pesquisa	4
1.3 – Estruturação da tese	4
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 – Umidade nas edificações	6
2.2 – Mecanismos fundamentais de fixação da umidade nos materiais porosos	8
2.2.1 – Adsorção física	10
2.2.2 – Condensação	12
2.2.3 – Capilaridade	17
2.3 – Véus e florescências	20
2.3.1 – Classificação	22
2.3.2 – Subflorescências ou criptoflorescências	26
2.3.3 – Eflorescências	32
2.3.4 – Interações entre revestimentos de argamassa e florescências	37
2.3.5 – Natureza química das florescências	40
2.3.5.1 – Compostos salinos de origem interna	42
2.3.5.2 – Compostos salinos de origem externa	43
2.3.5.3 – Dinâmica dos sulfatos na formação de eflorescências	43
2.3.5.4 – Processo de cristalização do sulfato de sódio	50
2.3.6 – Métodos de ensaio e orientações normativas	52
2.3.7 – Técnicas de quantificação do teor de sais solúveis	55

3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL	56
3.1 – Definição das variáveis do trabalho	56
3.1.1 – Condições fixas	56
3.1.1.1 – Natureza do substrato	57
3.1.1.2 – Espessura da camada de revestimento	57
3.1.1.3 – Tipo de película de barreira	58
3.1.2 – Variáveis independentes	58
3.1.3 – Variáveis dependentes	60
3.2 – Descrição do programa experimental	61
3.2.1 – Estudos-piloto	62
3.2.1.1 – Adaptação da técnica de quantificação do teor de sulfatos e preparo de amostras	62
3.2.1.2 – Caracterização da absorção dos substratos – taxa inicial de absorção de água livre (AAI), absorção capilar de água livre (ao longo do tempo), absortividade e índice de absorção de água	67
3.2.1.3 – Determinação do tempo necessário de exposição inicial dos corpos-de-prova	70
3.2.2 – Caracterização dos materiais empregados	72
3.2.2.1 – Cimento Portland	72
3.2.2.2 – Cal hidratada	73
3.2.2.3 – Agregados	74
3.2.2.4 – Água de amassamento	76
3.2.2.5 – Argamassas	76
3.2.2.6 – Substratos	79
3.2.2.7 – Película de barreira	83
3.2.3 – Procedimento metodológico da avaliação da fluorescência	85
3.2.3.1 – Programação dos corpos-de-prova para análise do mecanismo de formação de fluorescências e da influência do efeito de barreira	85
3.2.3.2 – Dosagem das argamassas e estrutura dos corpos-de-prova	87
3.2.3.3 – Exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄	90
3.2.3.4 – Aplicação da película de barreira	92
3.2.3.5 – Ciclo final de exposição	93
3.2.3.6 – Acompanhamento do perfil de distribuição de sulfatos	94

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	95
4.1 – Perfil de absorção de água das séries	95
4.2 – Alterações observadas na estrutura de poros	97
4.3 – Perfis de distribuição de sulfatos	106
4.4 – Massa de sal eflorescido	118
4.5 – Monitoramento da área eflorescida durante o ciclo de exposição final e análise do comportamento do revestimento de argamassa e da película de barreira	123
4.6 – Análise das estruturas das eflorescências formadas no ciclo final de exposição	135
4.7 – Análise geral	138
5 – CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	147
5.1 – Conclusões	147
5.2 – Considerações finais	149
5.3 – Sugestões para trabalhos futuros	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
APÊNDICE A – Caracterização granulométrica dos agregados empregados	159
APÊNDICE B – Caracterização da absorção de água dos substratos cerâmicos	165
APÊNDICE C – Caracterização da absorção de água ao longo do tempo dos corpos-de-prova	172
APÊNDICE D – Relatórios de ensaio de caracterização da argamassa – resistência à tração na flexão (NBR 13279, 2005)	178
APÊNDICE E – Relatórios de ensaio de caracterização da argamassa – resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222, 1994)	182
APÊNDICE F – Relatórios de ensaio de caracterização da argamassa – resistência à compressão (NBR 13279, 2005)	186
APÊNDICE G – Ensaio de caracterização da argamassa – absorção de água por capilaridade (NBR 9778, 2005)	190

APÊNDICE H – Evolução da superfície eflorescida dos corpos-de-prova ao longo do tempo _____	194
APÊNDICE I – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo _	219
APÊNDICE J – Monitoramento do teor de sulfato _____	230
APÊNDICE K – Boletim Técnico Tintas Renner - Aquabloc® _____	233

LISTA DAS TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação da umidade nas edificações (HENRIQUES, 2007)	7
Tabela 2.2 – Incidência de infiltrações em 36 conjuntos habitacionais do interior do estado de São Paulo (adaptado de PEREZ, 1986)	7
Tabela 2.3 – Incidência de infiltrações conforme o tipo de edificação – Conjunto habitacional de Boroó, São Paulo – SP (adaptado de PEREZ, 1986)	8
Tabela 2.4 – Incidência de infiltrações conforme a idade da edificação em casas térreas de 36 conjuntos habitacionais do interior do estado de São Paulo (adaptado de PEREZ, 1986)	8
Tabela 2.5 – Locais de formação e prováveis origens para as eflorescências, a partir da observação global da edificação (VERDUCH e SOLANA, 1999)	34
Tabela 2.6 – Locais de formação, prováveis origens e reparos indicados para as eflorescências, segundo Uemoto (1988)	35
Tabela 2.7 – Apresentação das possibilidades de distribuição das eflorescências em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos (SCHMIDT, 1963)	36
Tabela 2.8 – Formas básicas de interação entre revestimentos de argamassa e florescências (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)	38
Tabela 2.9 – Compostos identificados em eflorescências (VERDUCH e SOLANA, 1999)	40
Tabela 2.10 – Natureza química das eflorescências (UEMOTO, 1988)	41
Tabela 2.11 – Ação de diversos sais adicionados a argilas que não possuíam tendência à eflorescência (BROWNELL, 1955)	42
Tabela 2.12 – Produtos de formação a partir de reagentes binários em compostos argilosos (BROWNELL, 1955)	45
Tabela 3.13 – Caracterização física do cimento Portland CP IV	72
Tabela 3.14 – Análise química do cimento Portland CP IV	73
Tabela 3.15 – Caracterização física da cal hidratada CH-I	73
Tabela 3.16 – Análise química da cal hidratada CH-I	73
Tabela 3.17 – Composição granulométrica dos agregados empregados	74
Tabela 3.18 – Caracterização dos agregados empregados	75
Tabela 3.19 – Caracterização da água de amassamento	76

Tabela 3.20 – Caracterização das argamassas empregadas – estado fresco _____	76
Tabela 3.21 – Caracterização das argamassas empregadas – estado endurecido _____	78
Tabela 3.22 – Índice de absorção inicial de água livre, absorvidade e índice de absorção de água dos substratos selecionados _____	80
Tabela 3.23 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio do substrato, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ _____	83
Tabela 3.24 – Relação dos corpos-de-prova confeccionados no procedimento experimental _____	86
Tabela 3.25 – Traço em massa das argamassas empregadas _____	87
Tabela 4.1 – Características de absorção de água dos corpos-de-prova e das argamassas	96
Tabela 4.2 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ _____	99
Tabela 4.3 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ _____	101
Tabela 4.4 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas, após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na ₂ SO ₄ _____	102
Tabela 4.5 – Distribuição da concentração dos sulfatos nas amostras após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ – valores relativos _____	107
Tabela 4.6 – Distribuição da concentração dos sulfatos nas amostras após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na ₂ SO ₄ ou à água deionizada – valores relativos	108
Tabela 4.7 – Médias do perfil de distribuição de sulfatos – série AD _____	112
Tabela 4.8 – Médias do perfil de distribuição de sulfatos – série NA _____	116
Tabela 4.9 – Massas eflorescidas após o ciclo de exposição final e redução relativa proporcionada pela película de barreira _____	121
Tabela 4.10 – Ordem de formação das eflorescências no ciclo de exposição final – série AD _____	128
Tabela 4.11 – Ordem de formação das eflorescências no ciclo de exposição final – série NA _____	128
Tabela 4.12 – Velocidade de formação de eflorescências e tempo correspondente à máxima área eflorescida no ciclo de exposição final _____	132
Tabela 4.13 – Análise do coeficiente de correlação de Pearson (SANTOS, 2007) _____	138
Tabela 4.14 – Análise de correlação das variáveis massa de sal eflorescida e velocidade de formação de eflorescências – série AD _____	139

Tabela 4.15 – Análise de correlação das variáveis teor de sulfatos no terço final da argamassa e média do perfil de distribuição de sulfatos – série AD _____	140
Tabela 4.16 – Análise de correlação das variáveis massa de sal eflorescida e velocidade de formação de eflorescências – série NA _____	141
Tabela 4.17 – Análise de correlação das variáveis teor de sulfatos no terço final da argamassa e média do perfil de distribuição de sulfatos – série NA _____	142
Tabela 4.18 – Análise geral – Absortividade e perfil de distribuição do sal _____	143
Tabela 4.19 – Análise geral – Sistema poroso _____	144
Tabela B.1 – Índice de absorção inicial de água livre dos substratos cerâmicos _____	166
Tabela B.2 – Índice de absorção de água e absortividade dos substratos cerâmicos _____	167
Tabela B.3 – Volume de água absorvida por unidade de área dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 1 a 95 min (mm^3/mm^2) – i _____	168
Tabela B.4 – Volume de água absorvida por unidade de área dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 110 a 2880 min (mm^3/mm^2) – i _____	169
Tabela B.5 – Teor de umidade dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 1 a 95 min (%) _____	170
Tabela B.6 – Teor de umidade dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 110 a 2880 min (%) _____	171
Tabela C.1 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 1 a 95 min (%) _____	173
Tabela C.2 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 110 a 2880 min (%) _____	173
Tabela C.3 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo - média por tipo de argamassa – 1 a 95 min (%) _____	174
Tabela C.4 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo - média por tipo de argamassa – 110 a 2880 min (%) _____	174
Tabela C.5 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 1 a 95 min _____	176
Tabela C.6 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 110 a 2880 minutos _____	177
Tabela G.1 – Absorção de água por capilaridade – resultados individuais (NBR 9779, 1995) _____	191
Tabela G.2 – Absorção de água por capilaridade – média dos CPs (NBR 9779, 1995) _____	191
Tabela H.1 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG1SB_	195

Tabela H.2 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG2SB_	197
Tabela H.3 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG3SB_	199
Tabela H.4 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG1CB	201
Tabela H.5 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG2CB	203
Tabela H.6 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG3CB	205
Tabela H.7 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG1SB_	207
Tabela H.8 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG2SB_	209
Tabela H.9 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG3SB_	211
Tabela H.10 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG1CB	213
Tabela H.11 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG2CB	215
Tabela H.12 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG3CB	217
Tabela I.1 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 5 a 360 min _____	220
Tabela I.2 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 390 a 1440 min _____	221
Tabela I.3 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 1700 a 8640 min _____	222
Tabela J.1 – Teor de sulfatos - substrato _____	231
Tabela J.2 – Teor de sulfatos – argamassa – terço próximo ao substrato (T1) _____	231
Tabela J.3 – Teor de sulfatos – argamassa – terço médio (T2) _____	231
Tabela J.4 – Teor de sulfatos – argamassa – terço próximo à superfície (T3) _____	232
Tabela J.5 – Teor de sulfatos – argamassa – média T1, T2 e T3 _____	232

LISTA DAS FIGURAS

Figura 2.1 – Transferência de umidade em uma parede porosa (MENDES, 1997)	9
Figura 2.2 – Etapas de fixação de umidade por adsorção em um capilar (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)	11
Figura 2.3 – Curva de adsorção típica de materiais porosos em função da umidade relativa do ambiente (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)	11
Figura 2.4 – Modos de condensação de umidade (adaptado de FERNANDES, 1990)	13
Figura 2.5 – Sucessão de modos de condensação de água em um poro isolado (adaptado de FERNANDES, 1990)	14
Figura 2.6 – Representação esquemática de um fluido molhante em um cilindro de pequeno diâmetro (adaptado de MENDES, 1997)	15
Figura 2.7 – Esquema de fixação de umidade por condensação em parede constituída de material poroso (adaptado de HENRIQUES, 2007)	17
Figura 2.8 – Fenômeno da capilaridade (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)	18
Figura 2.9 – Curvas típicas de pressão capilar (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)	19
Figura 2.10 – Curva de sucção capilar (adaptado de VALEN, 1998)	20
Figura 2.11 – Véu de pirita em bloco de argila (WEST, 2009)	20
Figura 2.12 – Fluxograma de degradação por cristalização de sais solúveis (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)	22
Figura 2.13 – Florescência em junta de assentamento de revestimento cerâmico com fissuração provocada por expansão na argamassa - criptoflorescência	23
Figura 2.14 – Eflorescência em revestimento de granito na escada de edifício público	24
Figura 2.15 – Eflorescências provocadas pela lixiviação do hidróxido de cálcio em laje de edifício comercial em Brasília – DF	25
Figura 2.16 – Eflorescência em juntas de alvenaria aparente com fissuração horizontal por efeito de expansão da argamassa de assentamento (subflorescência) (UEMOTO,1988)	27
Figura 2.17 – Eflorescência em juntas de alvenaria aparente com fissuração por efeito de expansão da argamassa de assentamento (subflorescência) (UEMOTO,1988)	27
Figura 2.18 – Parâmetros envolvidos no mecanismo proposto por Lewin (1981) para a desintegração de alvenarias devido à formação de depósitos salinos (LEWIN, 1981)	29
Figura 2.19 – Cristais de sulfato de cálcio (GMREIS, 2009)	30

Figura 2.20 – Cristal de Sulfato de cobre penta-hidratado (PEREIRA, 2009)	30
Figura 2.21 – Desprendimento de revestimentos cerâmicos vítreos devido à ação de subflorescências (CHIN e PETRY, 1993)	31
Figura 2.22 – Eflorescência em alvenaria de deck de piscina de edifício residencial em Goiânia – GO	32
Figura 2.23 – Formas básicas de interação entre revestimentos de argamassa e florescências (A – “transporte de sal”; B – “acumulação de sal”; c – “bloqueio de sal”) (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)	38
Figura 2.24 – Formas básicas de interação entre revestimentos de argamassa “selantes” e florescências (A – revestimento impedindo o fluxo de vapor ou líquido; B – revestimento fissurado acarretando em cristalização localizada; c – alargamento da fissura pelo aumento da cristalização) (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)	39
Figura 2.25 – Secagem de materiais de construção porosos (A – 1ª fase; B – 2ª fase) (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)	39
Figura 2.26 – Formação de sulfatos em blocos cerâmicos (adaptado de VERDUCH e SOLANA, 1999)	44
Figura 2.27 – Cátions presentes em sais solúveis de extratos de blocos cerâmicos e argamassas (SCHMIDT, 1963)	45
Figura 2.28 – Cátions presentes em sais solúveis de extratos de composições formadas por 80% de blocos cerâmicos e 20% de argamassas – Valores teóricos e experimentais (SCHMIDT, 1963)	46
Figura 2.29 – Composição dos sais solúveis nos extratos de blocos cerâmicos e de composições formadas por 80% de blocos cerâmicos e 20% de argamassas em relação à massa do material (adaptado de SCHMIDT, 1963)	46
Figura 2.30 – Quantidade de Na ₂ SO ₄ e K ₂ SO ₄ em blocos de mesma classificação, colocados em obra e armazenados sob a intempérie (adaptado de SCHMIDT, 1963)	48
Figura 2.31 – Efeito da adição de Ca(OH) ₂ e NaCl na solubilidade de CaSO ₄ (adaptado de SCHMIDT, 1963)	49
Figura 2.32 – Cristais de thenardita formados após a desidratação de cristais de mirabilita pré-existent (A – “agregados” formados; B – detalhe dos cristais) (adaptado de RODRIGUEZ-NAVARRO; DOEHNE e SEBASTIAN, 2000)	50
Figura 2.33 – Micrografia de cristais de thenardita precipitados a 20°C (A – h>40%; b – h = 13%) (adaptado de RODRIGUEZ-NAVARRO; DOEHNE e SEBASTIAN, 2000)	51

Figura 2.34 – Ensaio de determinação de potencial de efluorescência através da técnica de alimentação com frasco (adaptado de VERDUCH e SOLANA, 1999)	53
Figura 3.1 – Condições fixas do programa experimental	56
Figura 3.2 – Substrato cerâmico empregado	57
Figura 3.3 – Variáveis independentes do programa experimental – argamassa	58
Figura 3.4 – Variáveis independentes do programa experimental – meio de exposição	59
Figura 3.5 – Cura úmida dos corpos-de-prova	60
Figura 3.6 – Variáveis dependentes do programa experimental – argamassa	61
Figura 3.7 – Espectrofotômetro Hach Company, modelo DR 4000	62
Figura 3.8 – Substratos empregados na determinação da técnica de quantificação do teor de sulfatos e preparo de amostras (A – com manchas de falha de queima e B – sem manchas de falha de queima)	63
Figura 3.9 – Triturador de amostras	63
Figura 3.10 – Destilador QUIMIS modelo Q34125	64
Figura 3.11 – Extração dos sais solúveis (A – soluções obtidas e B – técnica de filtração empregada)	64
Figura 3.12 – Almofariz empregado na trituração das amostras de argamassa e substrato	65
Figura 3.13 – Condutividade elétrica da água empregada na análise do teor de sulfatos (A – água destilada e B – água filtrada, destilada e deionizada)	65
Figura 3.14 – Sistema de deionização / filtração	66
Figura 3.15 – Procedimento empregado na extração do sulfato das amostras	66
Figura 3.16 – Absorção de água ao longo do tempo dos substratos cerâmicos	68
Figura 3.17 – Absorção de água ao longo do tempo dos substratos cerâmicos – curva média e intervalo de resultados a ser empregado	69
Figura 3.18 – Absorção de água ao longo do tempo dos substratos cerâmicos – curva dos substratos selecionados e intervalo de valores válidos	69
Figura 3.19 – Monitoramento da corrente elétrica para acompanhamento das franjas de umidade (A – estrutura do ensaio e B – detalhe da ligação dos eletrodos)	70
Figura 3.20 – Ascensão da franja de umidade ao longo do tempo – média das séries	71
Figura 3.21 – Granulometria dos agregados empregados na confecção das argamassas	75
Figura 3.22 – Determinação do teor de ar incorporado (A – equipamento e B – leitura no manômetro)	77
Figura 3.23 – Determinação da penetração de cone	77

Figura 3.24 – Determinação da retenção de água (A – equipamento e B – procedimento de ensaio)	77
Figura 3.25 – Determinação da resistência à tração na flexão	78
Figura 3.26 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral	78
Figura 3.27 – Determinação da resistência à compressão	79
Figura 3.28 – Porosímetro Quantachrome, modelo PoreMaster 33 empregado (A – vista geral do equipamento e B – porta-amostra em detalhe) (fonte: Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS)	81
Figura 3.29 – Distribuição do tamanho dos poros do substrato antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	82
Figura 3.30 – Distribuição do tamanho dos poros do substrato antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	82
Figura 3.31 – Espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) empregado	83
Figura 3.32 – Preparação do amostrador para caracterização da película de barreira por FTIR (A – impregnação do amostrador; B – secagem do polímero e C – montagem da estrutura)	84
Figura 3.33 – Espectrometria ao infravermelho médio da película de barreira	84
Figura 3.34 – Programação dos ensaios – análises iniciais e moldagem das séries	85
Figura 3.35 – Programação dos ensaios – ciclo de exposição inicial e aplicação da película de barreira	85
Figura 3.36 – Programação dos ensaios – Ciclo de exposição final	86
Figura 3.37 – Sensor de umidade empregado	88
Figura 3.38 – Substrato com sensor de umidade instalado	88
Figura 3.39 – Corpo-de-prova moldado anteriormente à aplicação da resina epóxi	89
Figura 3.40 – Extração de amostra para porosimetria e restauração da seção com EPS	89
Figura 3.41 – Aplicação de adesivo epóxi no corpo-de-prova para orientar o fluxo da solução em estudo	89
Figura 3.42 – Ciclo de exposição inicial dos corpos-de-prova (A – antes da exposição e B – após a exposição)	90
Figura 3.43 – Danos provocados pelas fluorescências aos corpos-de-prova durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄	91

Figura 3.44 – Eflorescências formadas durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ – ADG1SB em detalhe	91
Figura 3.45 – Eflorescências formadas durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ – ADG2CB em detalhe	92
Figura 3.46 – Limpeza da superfície para aplicação da película de barreira (A – aplicação da solução de ácido muriático e B – remoção de partículas soltas por meio mecânico)	92
Figura 3.47 – Aplicação da película de barreira (A – Aquabloc [®] ; B – aplicação do produto e C – superfície acabada)	93
Figura 3.48 – Regiões de extração das amostras para elaboração dos perfis de distribuição de sulfatos	94
Figura 4.1 – Absorção de água ao longo do tempo – média das séries	95
Figura 4.2 – Absorção de água por capilaridade – média dos CPs	97
Figura 4.3 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	98
Figura 4.4 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	99
Figura 4.5 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	100
Figura 4.6 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	100
Figura 4.7 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	101
Figura 4.8 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na ₂ SO ₄ , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	102
Figura 4.9 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,72, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	103

Figura 4.10 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,72, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (µm)	104
Figura 4.11 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,79, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (µm)	104
Figura 4.12 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,79, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (µm)	105
Figura 4.13 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 2,29, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (µm)	105
Figura 4.14 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 2,29, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm ³ /g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (µm)	106
Figura 4.15 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG1SB	109
Figura 4.16 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG1CB	109
Figura 4.17 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG2SB	110
Figura 4.18 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG2CB	110
Figura 4.19 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG3SB	111
Figura 4.20 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG3CB	111
Figura 4.21 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG1SB	113
Figura 4.22 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG1CB	114
Figura 4.23 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG2SB	114

Figura 4.24 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG2CB _____	115
Figura 4.25 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG3SB _____	115
Figura 4.26 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG3CB _____	116
Figura 4.27 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova após a exposição inicial – CPs AD _____	118
Figura 4.28 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova após a exposição inicial – CPs NA _____	119
Figura 4.29 – Massa de sal eflorescido após o ciclo de exposição inicial, por argamassa _____	119
Figura 4.30 – Massa de sal eflorescido após o ciclo de exposição final, por argamassa – série AD _____	120
Figura 4.31 – Massa de sal eflorescido após a exposição final, por argamassa – série NA _____	121
Figura 4.32 – Redução da massa de sal eflorescido proporcionada pela película de barreira, em relação às séries ADSB e NASB _____	122
Figura 4.33 – Massa de sal eflorescido, por corpo-de-prova _____	123
Figura 4.34 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova ADSB anteriormente ao ciclo de exposição final à água deionizada _____	124
Figura 4.35 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova ADCB anteriormente ao ciclo de exposição final à água deionizada _____	125
Figura 4.36 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova NASB anteriormente ao ciclo de exposição final à solução saturada de Na ₂ SO ₄ _____	126
Figura 4.37 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova NACB anteriormente ao ciclo de exposição final à solução saturada de Na ₂ SO ₄ _____	127
Figura 4.38 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,72 – série sem película de barreira _____	129
Figura 4.39 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,72 – série com película de barreira _____	129
Figura 4.40 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,79 – série sem película de barreira _____	130

Figura 4.41 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,79 – série com película de barreira _____	130
Figura 4.42 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 2,29 – série sem película de barreira _____	131
Figura 4.43 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 2,29 – série com película de barreira _____	131
Figura 4.44 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série ADSB _____	133
Figura 4.45 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série ADCB _____	133
Figura 4.46 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série NASB _____	134
Figura 4.47 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série NACB _____	134
Figura 4.48 – Configuração geral das eflorescências formadas na superfície das séries após o ciclo de exposição final (A – NAG3SB e B – ADG1CB) _____	135
Figura 4.49 – Eflorescências formadas no ciclo de exposição final em corpo-de-prova sem película de barreira características da Fase III da thenardita _____	135
Figura 4.50 – Eflorescências formadas no ciclo final em corpo de prova com película de barreira características da Fase V da thenardita _____	136
Figura 4.51 – Desagregação superficial da argamassa de corpo-de-prova devido à formação de eflorescências no ciclo de exposição final _____	136
Figura 4.52 – Ruptura da película de barreira devido ao acúmulo e cristalização de sais em sua interface com o revestimento de argamassa _____	137
Figura 4.53 – Ruptura e desagregação generalizada da película de barreira devido ao acúmulo e cristalização de sais em sua interface com o revestimento de argamassa _____	137
Figura 4.54 – Ruptura da película de barreira devido à cristalização de sais, característicos da Fase III e da Fase V da thenardita, em sua interface com o revestimento de argamassa _____	137
Figura 4.55 – Análise de resíduos da regressão proposta para a velocidade de formação das eflorescências _____	146
Figura C.1 – Absorção de água ao longo do tempo – argamassa MF 1,72 _____	174
Figura C.2 – Absorção de água ao longo do tempo – argamassa MF 1,79 _____	175
Figura C.3 - Absorção de água ao longo do tempo – argamassa MF 2,29 _____	175

Figura G.1 – Absorção de água por capilaridade – série confeccionada com argamassa MF 1,72	192
Figura G.2 – Absorção de água por capilaridade – série confeccionada com argamassa MF 1,79	192
Figura G.3 – Absorção de água por capilaridade – série confeccionada com argamassa MF 2,29	193
Figura I.1 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG1SB	223
Figura I.2 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG1CB	223
Figura I.3 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG2SB	224
Figura I.4 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG2CB	224
Figura I.5 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG3SB	225
Figura I.6 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG3CB	225
Figura I.7 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG1SB	226
Figura I.8 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG1CB	226
Figura I.9 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG2SB	227
Figura I.10 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG2CB	227
Figura I.11 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG3SB	228
Figura I.12 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG3CB	228
Figura I.13 – Monitoramento das franjas de umidade durante o ciclo de exposição final, por argamassa	229
Figura I.14 – Corrosão dos sensores de aço inox no ciclo de exposição final	229

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolo ou abreviação	Significado
α	Ângulo de contato entre a água e a superfície do poro
δ	Espessura da camada de difusão
Δp	Varição de massa, em gramas;
ϕ	Umidade relativa do ar
ϕ_l	Potencial correspondente ao líquido, expresso em unidades de pressão
ϕ_v	Potencial correspondente ao vapor, expresso em unidades de pressão
σ	Tensão superficial da água
ρ	Coefficiente de correlação de Pearson
ρ_l	Densidade da água
ψ	Sucção capilar (mca)
Å	Ângström
AA	Índice de absorção de água (%)
AAI	Absorção inicial de água livre
AENOR	<i>Asociación Española de Normalización y Certificación</i>
Área	Área líquida ensaiada, em centímetros quadrados
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BET	Teoria da adsorção multimolecular – modelo Brunauer, Emmet e Teller
BJH	Modelo Barret, E.P., Joyner, L.G. e Halenda, P.P
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CP	Cimento Portland ou Corpo-de-Prova
CP IV - 32	Cimento Portland pozolânico
D	Coefficiente de difusão
e_a	Espessura da camada de água adsorvida
EPS	Poliestireno expandido
f_i	Frequência de ocorrência em histograma
FTIR	Espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier
g	Aceleração da gravidade (m/s^2)
GAB	Modelo Guggenheim, Anderson, De Boer
h	Umidade relativa
h_s	Umidade limite na qual ocorre a condensação capilar
HMC	<i>Hygroscopic moisture content</i> – teor de umidade higroscópica
i	Volume de água absorvida por unidade de área ($\frac{mm^3}{mm^2}$)
IA	Aditivo incorporador de ar
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRA	<i>Inicial Rate Absortion</i> – índice/taxa de absorção inicial de água livre
J	Velocidade de difusão do vapor de água
M	Massa molecular da água
mca	Metros de coluna de água
M.F.	Módulo de finura
M_v	Massa volumétrica do vapor
NBR	Norma Brasileira Registrada
P	Pressão do vapor de água

P'	Pressão do vapor de água num ambiente saturado sob idênticas condições de temperatura
P_a	Pressão do vapor de água no ar ambiente
P_s	Pressão do vapor de água na superfície da solução
p_c	Pressão capilar
p_0	Pressão do ar na interface ar/água
p_1	Pressão da água na interface ar/água
P_W	Massa volumétrica da água líquida
pH	Potencial de hidrogênio
PVA	Acetato de polivinila
R	Constante universal dos gases perfeitos ($8,314472 \pm 0,000015 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$); Coeficiente de correlação
R^2	Coeficiente de determinação
r	Raio do capilar; raio de curvatura
r_1	Raio principal de curvatura
r_2	Raio principal de curvatura
r_e	Raio da esfera
r_c	Raio crítico do capilar
r_k	Raio do núcleo do poro, considerando a camada adsorvida
S	Coeficiente de absorção de água, “absortividade” $\left(\frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{min}}} \right)$
SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins
SBR	Estirenobutadieno
t	Tempo (min)
T	Temperatura; temperatura ambiente
TS	Teor de sulfatos (%)
u_{cap}	Conteúdo de umidade de saturação capilar
u_{max}	Conteúdo de umidade de saturação
VFE	Velocidade de formação de eflorescências ($\% / \text{min}$)
W	Umidade
W_{cr}	Umidade crítica
W_{H}	Umidade higroscópica
$W_{\text{máx}}$	Umidade máxima

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

A observação das fachadas dos diversos tipos de edifícios leva à conclusão de que a formação de depósitos cristalinos, na superfície e no interior de painéis de alvenaria, por evaporação de soluções salinas, é uma das manifestações patológicas de maior incidência, geralmente acompanhando a presença de umidade.

Observa-se ainda que, além de freqüente, o fenômeno é complexo, uma vez que os sais podem ser originados em diferentes etapas da fabricação dos materiais envolvidos; pela interação entre os diversos componentes do sistema de fechamento e mesmo de produtos das reações secundárias entre estes componentes e o solo ou o meio atmosférico podendo, além do prejuízo estético, influenciar na durabilidade do sistema de revestimento (NASCIMENTO, 1998; VERDUCH e SOLANA, 1999; MENEZES et al., 2006), sendo o fenômeno reconhecido como um dos principais mecanismos de degradação de materiais de construção porosos como pedras, argamassas e materiais cerâmicos (GOUDIE e VILES, 1997; HARRIS, 2001; SCHERER, 2006).

Em edificações antigas, construídas antes do advento do cimento Portland, o processo de cristalização salina pode ser ainda mais prejudicial relacionado, dentre outros fatores, a (GONÇALVES e RODRIGUES, 2010):

- presença, por vezes recorrente, de umidade e sais solúveis, devido: freqüente utilização de materiais hidrófilos e de elevada porosidade, os quais favorecem o ingresso e permanência da umidade na rede porosa; os painéis são normalmente edificadas em continuidade sobre o terreno, favorecendo a ascensão capilar da água do solo; a deficiência de manutenção (falta de estanqueidade da cobertura e deterioração do revestimento) pode favorecer o acúmulo de umidade e sais na alvenaria, ao longo dos anos.
- Reduzida resistência mecânica dos materiais empregados em alvenarias antigas, como argamassas de cal aérea, a qual acelera os processos de degradação causados pela cristalização salina.
- Maior gravidade das conseqüências da degradação, podendo por vezes levar ao colapso, uma vez que os painéis possuem função estrutural.

- Falta de aplicação do conceito de vida útil, dado o valor histórico e artístico de muitos destes edifícios, os quais podem possuir afrescos e esculturas incorporados, que podem ser danificados ou mesmo destruídos pela ação de sais solúveis.

Apesar do contexto formado, observa-se uma carência da compreensão do fenômeno, sendo que os estudos existentes muitas vezes limitam-se a edifícios antigos ou a avaliar o potencial efluorescente de matérias-primas como blocos cerâmicos, brita, areia e massame^{1.1} (RIBEIRO, 1996; NASCIMENTO, 1998; VALE, 1999; RODRIGUES e GONÇALVES, 2007), não avançando sobre a dinâmica do processo.

A ausência de uma compreensão sobre os aspectos fundamentais do fenômeno limitam a eficiência das estratégias de prevenção e correção, conduzindo, por vezes, ao empirismo nas alternativas empregadas na solução do problema, não raro limitando-se à limpeza da superfície e posterior emprego de barreiras impermeabilizantes e/ou da película de acabamento, procedimento que pode agravar o fenômeno, introduzindo tensões no sistema capazes de reduzir o desempenho do mesmo.

Esta tese encontra-se inserida na Linha de Pesquisa referente a “Sistemas Construtivos e Desempenho de Materiais e Componentes”, do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB), especificamente, no tema “Sistemas de Revestimento, de Impermeabilização e de Proteção”. Dentro desta linha de pesquisa, destaca-se o mérito de algumas contribuições em trabalhos experimentais, como:

- Saraiva (1998), que identificou as tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada;
- Cortez (1999), que analisou a incorporação de fibras sintéticas nas argamassas de revestimento;
- Oliveira (1999) com a avaliação do comportamento mecânico de sistemas de revestimento à base de argamassa modificados com polímeros;
- Silva (2000) avaliou numericamente, com o método dos elementos finitos, as tensões termo-mecânicas em sistemas de revestimento de fachadas;
- Sousa (2001), que estudou a relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto utilizando entulho como agregado reciclado;

^{1.1} Argamassa utilizada no assentamento de ladrilhos cerâmicos

- Alves (2002), com o estudo sobre aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento;
- Santos (2003), com critérios de projetabilidade de argamassas de revestimento industrializadas;
- Leal (2003), com o estudo de desempenho do chapisco como procedimento de preparação de base em sistemas de revestimento;
- Do Ó (2004), com o estudo da retenção de água nas argamassas de revestimento aditivadas;
- Gonçalves (2004), com o estudo de variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos de argamassa;
- Araújo Júnior (2004), com o estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento;
- Paes (2004), que avaliou o transporte de água em argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação;
- Sousa (2005), que estudou as propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco;
- Silva (2006), que propôs metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa;
- Pereira (2007), com sua contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento de revestimentos à base de argamassa;
- Pereira (2008), com o estudo dos paradigmas e variabilidades no controle da resistência do concreto;
- Chagas (2009), com o estudo e proposição de um modelo de resistência à fadiga de argamassas de revestimento em estado plano e tridimensional de tensões;
- Antunes (2010), com o estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada na cidade de Brasília.

1.2 – OBJETIVOS E ORIGINALIDADE DA PESQUISA

O objetivo geral da presente tese é contribuir para a análise do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados sobre substratos cerâmicos, e a influência do efeito de barreira na dinâmica do processo.

Apresentado o objetivo geral relacionam-se, a seguir, os objetivos específicos do presente trabalho:

- observar o efeito da distribuição do tamanho dos poros do revestimento de argamassa no mecanismo de formação de florescências de Na_2SO_4 ;
- observar a importância do mecanismo de transporte de água na formação de florescências;
- observar a influência do efeito de barreira proporcionado por película impermeabilizante aplicada no revestimento de argamassa;
- desenvolver e aplicar um ensaio acelerado de florescência, com monitoramento da massa de sal e da área eflorescida;
- adaptar e desenvolver uma metodologia de mensuração do perfil de distribuição de sais.

A originalidade deste trabalho encontra-se nos fatores de análise e discussão do mecanismo de formação das florescências em revestimentos de argamassa (teor de sulfatos, massa de sal eflorescido e velocidade de formação pela evolução da área eflorescida ao longo do tempo).

1.3 – ESTRUTURAÇÃO DA TESE

A presente tese foi estruturada em cinco capítulos e treze apêndices. O primeiro Capítulo é introdutório, e indica os motivos que levaram à pesquisa, a importância, as delimitações e os objetos da mesma.

Uma revisão bibliográfica sobre o tema encontra-se no Capítulo 2, salientando a incidência da umidade nas edificações, as principais patologias decorrentes da mesma e os mecanismos fundamentais de fixação da umidade nos materiais porosos. São também estudados os véus e as florescências, sua classificação, distribuição e interação com

revestimentos de argamassa, bem como sua natureza química, métodos de ensaio e orientações normativas.

O Capítulo 3 aborda o programa experimental desenvolvido, apresentando as variáveis do estudo, os estudos-piloto necessários para o desenvolvimento das técnicas empregadas, os ensaios de caracterização dos materiais e os procedimentos empregados para acompanhamento da evolução do fenômeno ao longo do tempo.

Os resultados obtidos no programa experimental são apresentados no Capítulo 4, sendo apresentado e discutido o espectro de poros do substrato e das diferentes argamassas empregadas, ao longo do procedimento, através da porosimetria por intrusão de mercúrio. Em seguida é apresentada a espessura média alcançada pela película de barreira aplicada, e, de forma gráfica, a massa de sal eflorescido durante os ciclos de exposição inicial e final, os perfis de distribuição de sulfatos nos corpos-de-prova bem como o monitoramento da corrente elétrica e da área eflorescida durante o ciclo de exposição final. As correlações entre os fatores observados são também abordados neste capítulo.

Finalizando, tem-se o Capítulo 5, onde são tecidas as conclusões da tese, as considerações finais e as sugestões para trabalhos futuros. Após este capítulo, são apresentados, seqüencialmente, as referências bibliográficas e os apêndices.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo abordam-se os aspectos fundamentais do processo de cristalização de sais em meios porosos. Como o fenômeno encontra-se sempre acompanhado da presença de umidade, esta é inicialmente estudada, sendo apresentadas suas patologias, incidências e mecanismos fundamentais de fixação nos materiais porosos.

Também são estudados os véus e florescências, suas características, formas de apresentação, natureza química, prescrições normativas e mecanismos de interação com revestimentos de argamassa.

2.1 – UMIDADE NAS EDIFICAÇÕES

A umidade presente nas edificações, quando descontrolada ou em limites inadequados, pode figurar como um dos principais agentes de deterioração da edificação, bem como da saúde de seus ocupantes e usuários. É também observado um comportamento interativo da mesma, com a umidade provocando a degenerescência da edificação, e essa degradação aumentando os problemas da umidade.

Diversas manifestações patológicas são associadas à presença ou variação da umidade nas edificações, podendo-se salientar, dentre outras: corrosão; manchas de umidade; bolor, fungos e líquens; florescências; escorrimento e/ou gotejamento de água líquida; água condensada; descolamento e mudança de coloração dos revestimentos; fissuras e odores desagradáveis. Nos moradores ou usuários, por sua vez, são observadas: gripes; rinites alérgicas e asma; choques eletrostáticos; desconforto térmico; artrites e doenças bronco pulmonares de forma geral, dentre outras.

A umidade nas edificações possui uma classificação internacionalmente aceita quando do estudo de suas manifestações, ainda que possua pequenas variações entre os diferentes países e autores. Esta classificação, apresentada na Tabela 2.1, adaptada de Henriques (2007), busca relacionar a origem do fenômeno com sua forma de manifestação.

Tabela 2.1 – Classificação da umidade nas edificações (HENRIQUES, 2007)

Tipo de umidade	Origem e forma de manifestação
Umidade de construção	Origina-se na execução da obra, mantendo-se durante certo período após a execução da mesma, quando diminui gradualmente, até se extinguir.
Umidade devida a fenômenos de higroscopicidade	Fixação de umidade pela presença de sais higroscópicos nos materiais de construção (geralmente cloretos, nitritos e nitratos), os quais podem também provocar a degradação devido às pressões decorrentes dos processos de cristalização.
Umidade de precipitação	Origina-se na água das chuvas que penetra nas edificações através dos elementos construtivos de sua envoltória exterior.
Umidade de condensação	Origina-se no vapor de água que condensa na superfície ou no interior dos elementos construtivos.
Umidade do terreno	Origina-se na umidade do solo que migra para os elementos da edificação, de forma horizontal ou vertical, na ausência de barreiras impermeabilizantes.
Umidade accidental	Origina-se em vazamentos do sistema de coleta e/ou distribuição de água da edificação.

Diversos pesquisadores estudaram os problemas decorrentes da presença de umidade nas edificações. Perez (1986) pesquisou a ocorrência de problemas de umidade em conjuntos habitacionais do interior do estado de São Paulo e em sua capital, buscando relacionar incidência, elementos construtivos, tipo de edificação e idade. Constatou que a maior incidência pertence à umidade de precipitação, independente do tipo ou idade da edificação, sendo seguida da umidade de condensação. Estes dados, apesar de possuírem mais de 20 anos, ainda possuem representatividade, encontrando-se na Tabela 2.2, na Tabela 2.3 e na Tabela 2.4. Nestas tabelas as umidades diversas referem-se àquelas que não tiveram origem precisa.

Tabela 2.2 – Incidência de infiltrações em 36 conjuntos habitacionais do interior do estado de São Paulo (adaptado de PEREZ, 1986)

Tipo de umidade		Incidência
Umidade de precipitação	Coberturas → 27 %	60 %
	Caixilhos → 25 %	
	Paredes → 48 %	
Umidade de condensação		25 %
Umidade de construção		7 %
Umidade do terreno		2 %
Umidades diversas		6 %

Tabela 2.3 – Incidência de infiltrações conforme o tipo de edificação – Conjunto habitacional de Boroé, São Paulo – SP (adaptado de PEREZ, 1986)

Tipo de umidade	Tipo de edificação	
	Sobrado	Casa térrea
Umidade de precipitação	69 %	41 %
Umidade de condensação	10 %	18 %
Umidade do terreno	15 %	41 %
Umidades diversas	6 %	-

Tabela 2.4 – Incidência de infiltrações conforme a idade da edificação em casas térreas de 36 conjuntos habitacionais do interior do estado de São Paulo (adaptado de PEREZ, 1986)

Tipo de umidade	Idade da edificação		
	1 a 3 anos	4 a 7 anos	Acima de 8 anos
Umidade de precipitação	70 %	78 %	69 %
Umidade de condensação	6 %	6 %	9 %
Umidade do terreno	2 %	-	3 %
Umidades diversas	22 %	16 %	19 %

A frequência de aparecimento de problemas de umidade encontra-se associada à idade da construção, ao clima, às técnicas construtivas e materiais empregados, à manutenção e ao uso da edificação. Foi observado que a maior incidência de problemas de infiltração ocorre pelas fachadas das edificações, o que pode explicar a grande variabilidade de impermeabilizantes para argamassas e painéis disponibilizada pelo mercado. Observou-se também que os problemas de umidade são mais comuns nos apartamentos, por estes estarem em maiores alturas e sujeitos a maiores solicitações climáticas.

2.2 – MECANISMOS FUNDAMENTAIS DE FIXAÇÃO DA UMIDADE NOS MATERIAIS POROSOS

A porosidade aberta, presente na maioria dos materiais de construção, permite aos mesmos fixar umidade líquida e gasosa em seus poros, alterando suas características físicas. As moléculas d'água, na fase líquida, aderidas a uma superfície, podem ser de natureza pluvial e/ou originadas da condensação de vapor d'água do ar circundante. Geralmente esta retenção de umidade resulta da ação, por vezes conjunta, de três mecanismos físicos fundamentais: adsorção, condensação e capilaridade, sendo que a relevância relativa de cada um destes depende de diversos parâmetros, tais como porosidade, superfície

específica, natureza da fase aquosa em contato com o material (vapor ou líquida), temperatura e pressão (SANTOS, 2006).

A fase vapor pode migrar diretamente na estrutura e sua fixação na superfície dos poros maiores pode ocorrer através de processos de adsorção física e, nos poros mais finos, através de condensação capilar. A Figura 2.1 ilustra os processos de fixação e transferência de umidade em uma estrutura porosa, quando esta é submetida a um gradiente de pressão parcial de vapor entre as superfícies externa e interna, tendo os poros de menor diâmetro preenchidos por água e representados pela região escura. Normalmente os materiais de construção apresentam uma distribuição bastante extensa em diâmetros de poros, com poros muito finos facilmente preenchidos por líquido. Observa-se, nesta figura, que podem existir poros preenchidos ou não por água, em função do conteúdo de umidade. Nos poros não preenchidos ocorre transferência de vapor por difusão, enquanto nos preenchidos as trocas de líquido ocorrem por condensação, migração capilar e evaporação (MENDES, 1997).

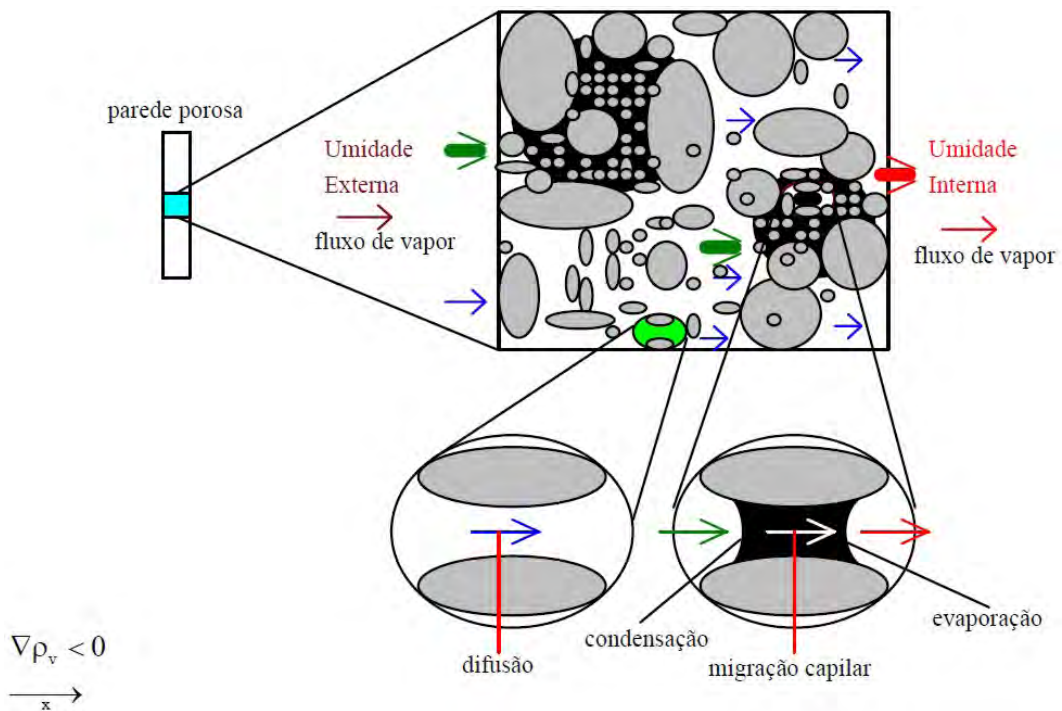


Figura 2.1 – Transferência de umidade em uma parede porosa (MENDES, 1997)

2.2.1 – Adsorção física

A forma pela qual um material poroso varia sua quantidade de umidade em função da variação da umidade relativa é denominada adsorção, sendo os materiais que apresentam esse comportamento conhecidos como higroscópicos.

O mecanismo de adsorção física foi primeiramente interpretado por Langmuir em 1918. Segundo o autor, no equilíbrio há taxas iguais de condensação e evaporação sobre a superfície sólida considerando a formação de uma camada única de moléculas sobre a estrutura sólida, a chamada teoria monomolecular. A interpretação de Langmuir foi seguida e aperfeiçoada por Brunauer, Emmet e Teller (BET) em 1938, estabelecendo que a superfície de poros é recoberta por várias camadas moleculares superpostas (teoria da adsorção multimolecular ou BET), e o estado de equilíbrio corresponde à situação onde há evaporação numa determinada camada de moléculas sobre a superfície sólida e condensação numa camada imediatamente inferior. Posteriormente, o modelo BET foi aperfeiçoado, originando o modelo atualmente conhecido como modelo GAB, em homenagem aos autores Guggenheim, Anderson e De Boer (FERNANDES, 1990). Estudos apontam o modelo GAB como o que melhor se ajusta às curvas isotérmicas de equilíbrio (MEROUANI, 1987; SANTOS, 2006).

Pode-se exemplificar o fenômeno da adsorção física da água analisando-se o comportamento de uma amostra de material poroso e seco inserida em um ambiente onde a temperatura (T) e a umidade relativa do ar (ϕ) são controladas. Variando-se ϕ e mantendo-se a temperatura constante, observa-se que a massa da amostra aumenta até determinado valor, onde a pressão de vapor no ambiente aproxima-se da pressão de saturação do vapor, sendo este acréscimo de massa corresponde à fixação de certa quantidade de água pelo material poroso, através do fenômeno de adsorção, com origem física atribuída às forças intermoleculares de Van Der Waals, as quais agem sobre as moléculas de vapor na vizinhança da interface sólido/fluido dentro dos poros. Quando ocorre a diminuição da massa o fenômeno é denominado dessorção.

A Figura 2.2, adaptada de Freitas, Torres e Guimarães (2008), ilustra as três etapas observadas no processo de fixação de umidade por adsorção em um capilar. Este mesmo fenômeno pode ser representado através da curva de adsorção típica como a da Figura 2.3.

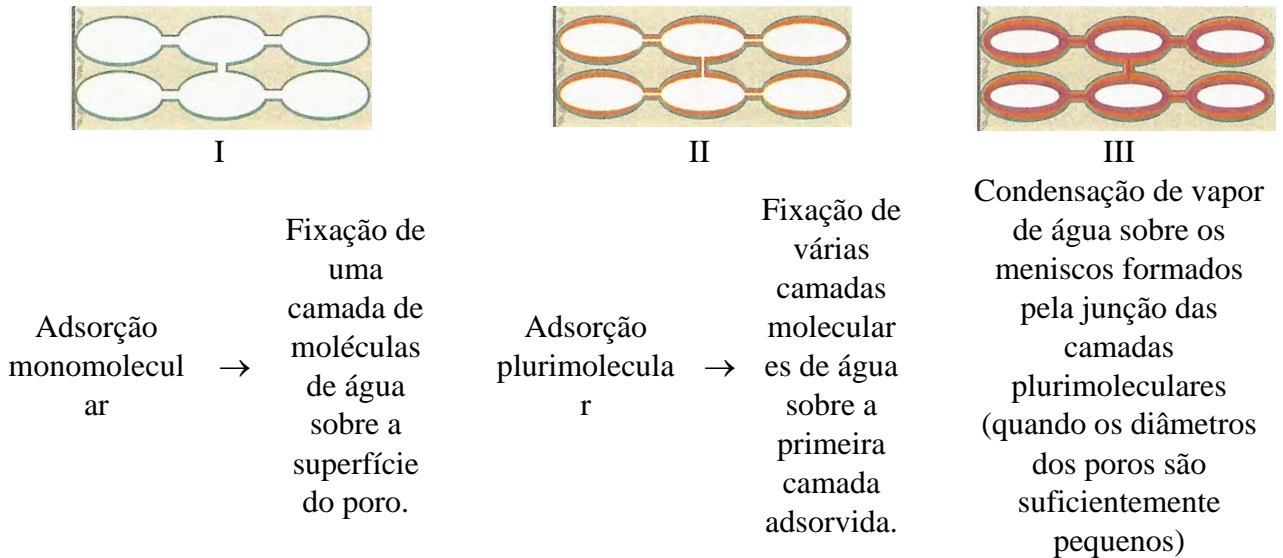


Figura 2.2 – Etapas de fixação de umidade por adsorção em um capilar (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)

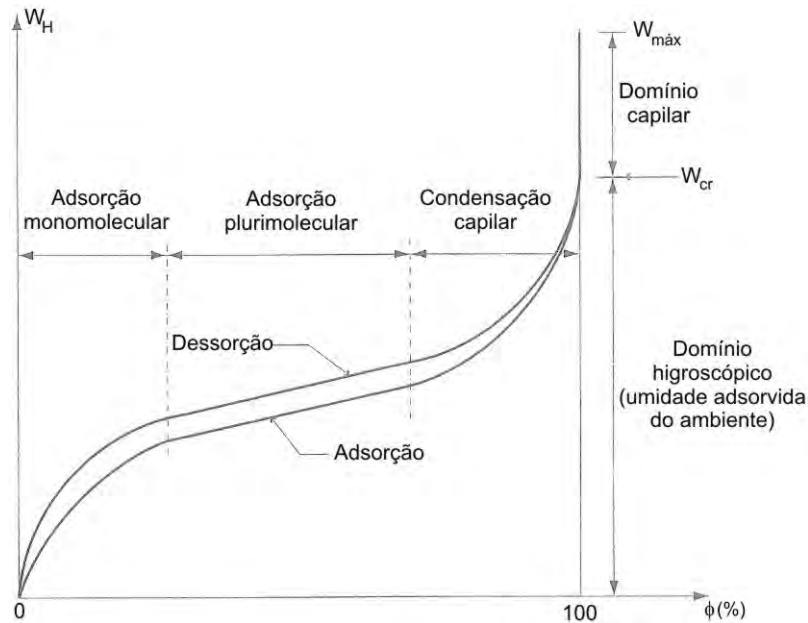


Figura 2.3 – Curva de adsorção típica de materiais porosos em função da umidade relativa do ambiente (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)

A umidade máxima fixada por adsorção em um material poroso, W_{cr} , é inferior à umidade correspondente à saturação completa (correspondente ao preenchimento de todos os poros) sendo que, a partir da ocorrência de equilíbrio higroscópico ($W_H = W_{cr}$), o aumento do teor de umidade no material poroso poderá ocorrer através de dois mecanismos: condensação e capilaridade (domínio capilar). A Equação 2.1 corresponde à equação de equilíbrio da etapa III da curva de adsorção típica de materiais porosos em função da umidade relativa do ambiente.

$$\phi = \frac{P}{P'} = e^{-\left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot M_v}{P_w \cdot r \cdot R \cdot T}\right)} \quad \dots(2.1)$$

Onde:

ϕ é a umidade relativa do ar;

P é a pressão do vapor de água;

P' é a pressão do vapor de água num ambiente saturado sob idênticas condições de temperatura;

σ é a tensão superficial na interface ^{água}/vapor;

M_v é a massa volumétrica do vapor;

P_w é a massa volumétrica da água líquida;

R é a constante universal dos gases perfeitos (8,314472 ±0,000015 J*K⁻¹*mol⁻¹);

r é o raio do capilar;

T é a temperatura.

2.2.2 – Condensação

Fernandes (1990) analisou os dois diferentes modos de condensação de água em argamassas (adsorção e capilaridade). A água adsorvida é composta por camadas de moléculas que condensam sobre a superfície dos poros. No equilíbrio, sua quantidade é função da superfície específica do meio poroso, da afinidade entre o vapor de água e a matriz sólida e as condições higrotérmicas existentes. A água capilar, por sua vez, representa uma fase contínua do líquido que preenche totalmente certos poros do material. A Figura 2.4 ilustra as formas de condensação de água. Foi verificado que a presença de poros com dimensões que permitam a condensação capilar, a partir de valores médios de umidade relativa, implicava em um aumento sensível do conteúdo de umidade, conferindo à argamassa uma grande capacidade de retenção de água no estado endurecido.

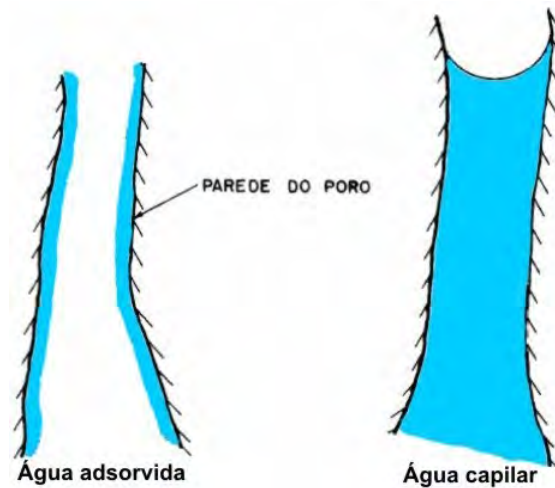


Figura 2.4 – Modos de condensação de umidade (adaptado de FERNANDES, 1990)

Dan et al. (1988) apresentam que, de acordo com a lei de Kelvin-Laplace, a condensação capilar ocorre nos poros com raios inferiores ao chamado raio crítico, calculado conforme a Equação 2.2.

$$r_c = \frac{2 * M * \sigma * \cos \alpha}{\rho_1 * R * T * \ln(\phi)} \quad \dots(2.2)$$

Onde:

r_c é o raio crítico, em metros;

M é a massa molecular da água, em g/mol ;

σ é a tensão superficial da água, em N/m ;

α é o ângulo de contato entre a água e a superfície do poro, em radianos;

ρ_1 é a densidade da água, em kg/m^3 ;

R é a constante universal dos gases perfeitos ($8,314472 \pm 0,000015 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$);

T é a temperatura, em Kelvin;

ϕ é a umidade relativa do ar ($0 < \phi < 1$).

Adamson (1990) apresenta em detalhes os fenômenos de adsorção física e condensação capilar. Segundo este, o mecanismo de fixação por capilaridade tem início quando a espessura da camada d'água adsorvida for suficientemente grande para que a força intermolecular seja mais importante que a força entre a fase líquida e a superfície sólida. A

Figura 2.5 ilustra a sucessão dos dois modos de condensação: por capilaridade e por adsorção, considerando-se um poro isolado cilíndrico e com perfeita molhabilidade.

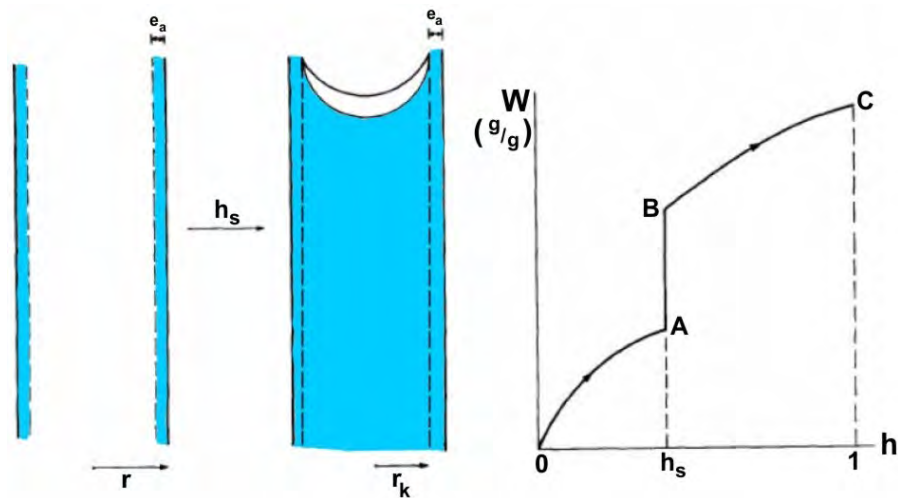


Figura 2.5 – Sucessão de modos de condensação de água em um poro isolado (adaptado de FERNANDES, 1990)

Onde:

r é o raio do poro;

r_k é o raio do núcleo do centro do poro considerando-se a camada adsorvida;

e_a é a espessura da camada adsorvida;

W é o conteúdo de umidade mássico;

h é a umidade relativa;

h_s é a umidade limite na qual ocorre a condensação capilar.

Partindo-se da umidade (h) nula e aumentando-a progressivamente, os fenômenos ilustrados na Figura 2.5 ocorrerão como segue (SANTOS, 2006):

- do aumento da umidade de 0 até “A” há um aumento da camada adsorvida;
- em “A”, a espessura da camada adsorvida (e_a) é tão espessa que o núcleo no centro do poro de raio r_k é capaz de conter um menisco esférico, ocorrendo a condensação capilar.
- de B até C ocorre o aplainamento do menisco;
- em C, o menisco é plano e o poro está saturado ($h=1$).

Para separar quantitativamente a água adsorvida da água capilar que compõe o conteúdo total a uma dada umidade relativa foi desenvolvido o modelo BJH (Barret, E.P., Joyner,

L.G. e Halenda, P.P.). Este modelo considera um meio poroso constituído de poros cilíndricos onde são adotadas as seguintes hipóteses (SANTOS, 2006):

- não existem formações do tipo de garganta – o meio poroso é assumido como um feixe de poros cilíndricos de raios variados, não existindo conexão entre eles;
- existe concordância tangencial das interfaces capilares com a camada adsorvida no limite da condensação capilar.

Neste modelo o meio poroso é submetido a um incremento de umidade ($h+\Delta h$), quando então uma classe de raios r a $r+\Delta r$ se preencherá com água capilar. Existirá assim, no interior dos poros núcleos com raio $r-e_a$ capaz de conter um poro capilar com umidade relativa $h+\Delta h$. Os poros com raio superior a essa classe terão apenas um aumento na camada adsorvida, pois $h+\Delta h$ não é suficiente para provocar a condensação capilar.

Na condensação é formada uma superfície curva separando as fases líquida e gasosa que, através de seus dois raios principais de curvatura (r_1 e r_2) e da tensão superficial ar-água, relaciona-se com a pressão capilar p_c , dada pela lei de Laplace (Equação 2.3). As pressões p_0 e p_1 encontram-se ilustradas na Figura 2.6.

$$p_c = p_0 - p_1 = \sigma \cdot \cos(\alpha) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad \dots(2.3)$$

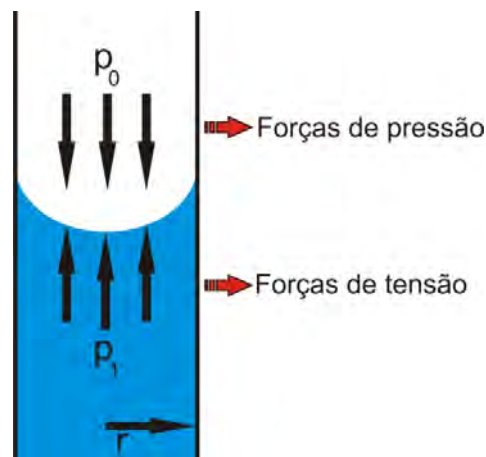


Figura 2.6 – Representação esquemática de um fluido molhante em um cilindro de pequeno diâmetro (adaptado de MENDES, 1997)

A lei de Kelvin, representada na Equação 2.4, estabelece que quando se tem o equilíbrio termodinâmico entre as fases vapor e líquido, elas se encontram dentro de um mesmo nível energético ou num mesmo potencial.

$$\phi_l = \phi_v = \rho_l * \frac{R * T}{M} * \ln(h) \quad \dots(2.4)$$

Onde:

ϕ_l é o potencial correspondente ao líquido, expresso em unidades de pressão;

ϕ_v é o potencial correspondente ao vapor, expresso em unidades de pressão.

Na ausência de adsorção física, quando a fixação ocorre puramente por condensação capilar, o potencial se iguala à pressão capilar, levando à Equação 2.5.

$$\phi = \rho_l * \frac{R * T}{M} * \ln(h) = -\sigma * \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad \dots(2.5)$$

Quando da consideração de uma interface esférica líquido/vapor, de raio r_e , sendo $r_e = r_1 = r_2$, obtêm-se a Equação 2.6, a qual, quando explicitamente relacionada à umidade relativa, transforma-se na Equação 2.7.

$$\phi = \rho_l * \frac{R * T}{M} * \ln(h) = \frac{-2 * \sigma}{r_e} \quad \dots(2.6)$$

$$h = \exp\left(\frac{-2 * \sigma}{r_e * \rho_l} * \frac{M}{R * T} \right) \quad \dots(2.7)$$

A Equação 2.8 apresenta a condição de estabilidade da interface líquido/vapor, caracterizando uma condição necessária para haver condensação capilar.

$$r_e \geq \frac{r}{\cos(\alpha)} \quad \dots(2.8)$$

Onde:

r é o raio do poro.

O fenômeno da condensação encontra-se ilustrado na Figura 2.7, sendo exemplificado através do modelo teórico proposto por Glaser e posteriormente completado por Krischer. Neste é considerada uma parede porosa separando dois ambientes e possuindo uma de suas faces impermeável ao vapor de água e inicialmente em equilíbrio higroscópico. O sistema, inicialmente com uma temperatura T_0 , pressão de vapor P_0 e pressão vapor de saturação P'_0 para a temperatura T_0 , $P'_0 > P_0$, tem o ambiente adjacente à face impermeável resfriado a uma temperatura T_e , de modo a criar um regime estacionário caracterizado por uma variação de temperatura T_0, T_e ($T_e < T_0$), provocando uma diminuição na pressão de vapor de saturação P'_0 para P'_e . Conforme a curva de pressão de saturação ilustrada na Figura 2.7, nos pontos onde a pressão de saturação é inferior à pressão de vapor P_0 haverá condensação. A massa de água líquida formada seria oriunda da condensação de vapor inicialmente localizada nesta região (J_e) e da condensação de uma parcela do fluxo de vapor existente em direção à zona fria e que se move por difusão molecular (J_v) (HENRIQUES, 2007).

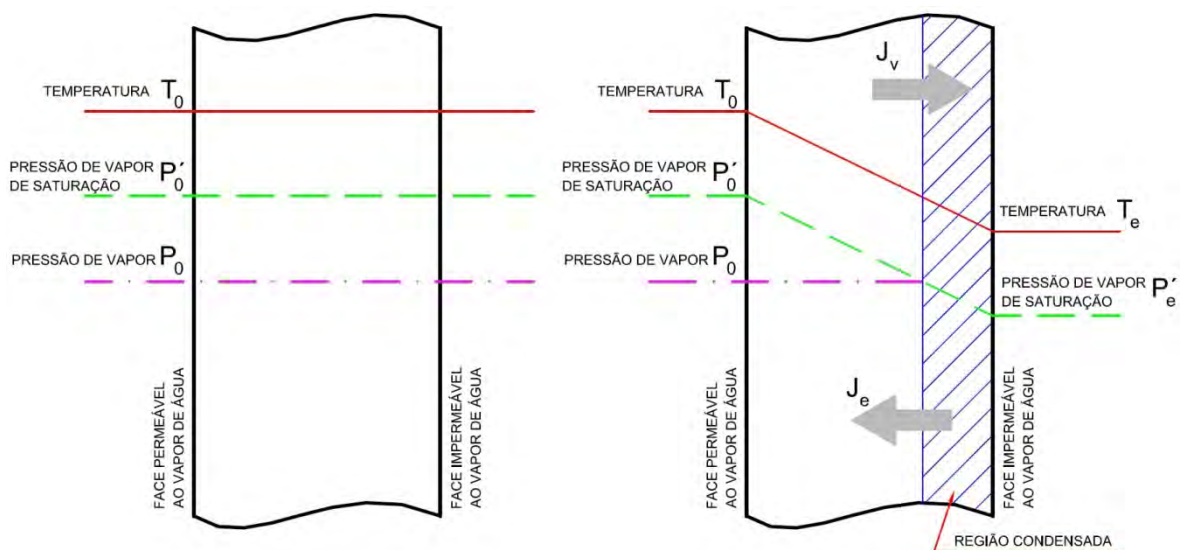


Figura 2.7 – Esquema de fixação de umidade por condensação em parede constituída de material poroso (adaptado de HENRIQUES, 2007)

2.2.3 – Capilaridade

A transferência de massa em sólidos relativamente homogêneos, como compostos orgânicos e gelatinosos, é descrita eficientemente pela teoria da difusão molecular. Materiais de construção civil e meios porosos em geral, por sua vez, possuem a migração

de umidade fortemente influenciada pela estrutura porosa, não permitindo considerar que o fluxo de líquido seja governado pela teoria da difusão (MENDES, 1997).

A ação capilar dos líquidos se deve à tendência que os mesmos possuem de subir pelas paredes de tubos capilares (tubos muito finos) e é uma consequência da tensão superficial. Para que haja invasão de água por capilaridade é necessário que a interação entre as moléculas do líquido seja mais importante que a interação delas com a superfície sólida, possibilitando a formação de pontes de líquido entre superfícies opostas.

Conforme pode ser observado na Figura 2.8, o fenômeno da capilaridade gera interfaces curvas entre o fluido (água) e o ar contido no interior dos poros. Na interface líquido/gás é estabelecido um gradiente de pressões designado por pressão capilar, conforme anteriormente representada pela Equação 2.3, a qual é função da tensão superficial líquido/ar (σ), dos raios de curvatura principais (r_1 e r_2) e do ângulo de molhamento (α). Conclui-se, portanto, que a pressão capilar é função da temperatura e da umidade, uma vez que a tensão superficial varia com a temperatura, e os raios de curvatura, com o teor de umidade.

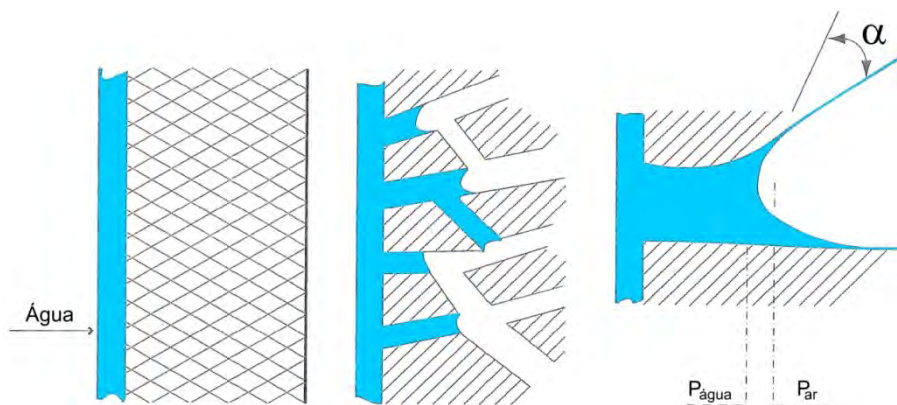


Figura 2.8 – Fenômeno da capilaridade (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)

Denomina-se sucção capilar, a pressão capilar expressa em metros de coluna de água, conforme representado na Equação 2.9. Observa-se que o desenvolvimento de sua curva depende da distribuição do raio dos poros e da sua variação, sendo que a sucção é tanto menor quanto maior for o teor de umidade e anula-se para um teor de umidade máximo (SANTOS, 2006; FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008). A Figura 2.9 ilustra um conjunto de curvas típicas de pressão capilar.

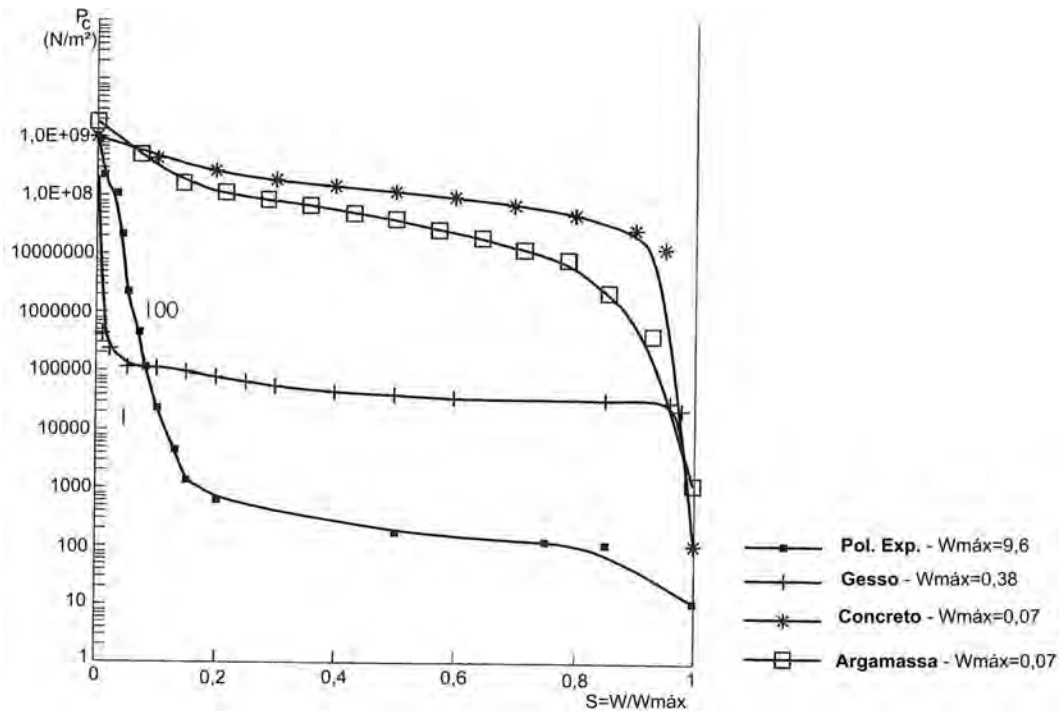


Figura 2.9 – Curvas típicas de pressão capilar (adaptado de FREITAS, TORRES e GUIMARÃES, 2008)

$$\psi = - \frac{P_c}{\rho_1 \cdot g} \text{ (mca)} \quad \dots (2.9)$$

Onde:

ψ é a sucção capilar (mca);

g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

A continuidade do transporte de água por capilaridade, para o interior do substrato, 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 e não mais pela absorção capilar (HALL, 1977).

A Figura 2.10 ilustra uma curva típica de sucção de um material poroso. Nesta, durante a absorção capilar, o material atingirá o conteúdo de umidade de saturação capilar (u_{cap}). Segundo Valen (1998), os grandes poros nunca serão preenchidos com água durante a absorção capilar, uma vez que existirão bolhas de ar no interior destes poros. Quando o processo é realizado em uma câmara de vácuo, todos os poros estarão acessíveis à água e o material poderá alcançar o estado de saturação (u_{max}).

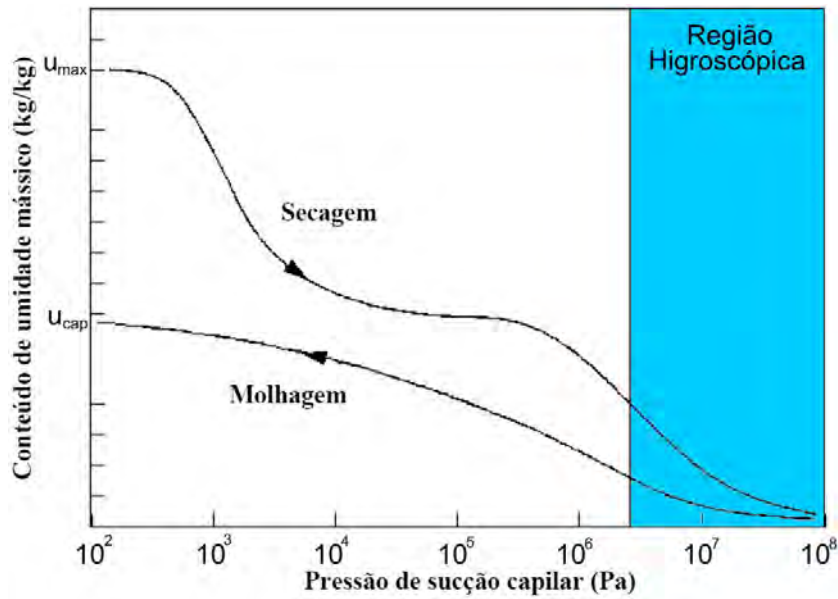


Figura 2.10 – Curva de sucção capilar (adaptado de VALEN, 1998)

2.3 – VÉUS E FLORESCÊNCIAS

Segundo Verduch e Solana (2000), véus (do espanhol “*velos*” e do inglês “*scum*”) são depósitos cristalinos que se formam em argilas ou em peças “cruas^{2.1}” pela ação da água como agente mobilizador dos sais solúveis, podendo se tornar permanentes após cozimento em temperaturas elevadas. A Figura 2.11 ilustra a formação de véus de pirita em maciço de argila.



Figura 2.11 – Véu de pirita em bloco de argila (WEST, 2009)

^{2.1} Entende-se por “crua” a peça cerâmica que foi moldada, por extrusão e/ou prensagem e que ainda não foi submetida ao cozimento, podendo ou não ter sido submetida à secagem.

Ainda segundo os autores, florescências são depósitos cristalinos que se formam na superfície (eflorescências) ou no interior (subflorescências ou criptoflorescências) de peças cerâmicas já “cozidas”, também pela ação da água como agente mobilizador, mediante estímulo de fatores externos, como infiltrações em painéis de alvenaria. Este último conceito deve ser ampliado, abordando não apenas os depósitos ocorridos em materiais cerâmicos, mas também nos demais substratos porosos (argamassa, concreto, madeira, etc.).

Os íons então solubilizados permanecem dispersos na água até o ponto onde este solvente não consegue mais mantê-los uniformemente distribuídos, devido à sua evaporação. A evaporação eleva a pressão osmótica, fazendo com que os íons sejam precipitados na solução, quase sempre na forma de cristais, que tendem a crescer com o processo continuado deste mecanismo (ANDEREGG, 1929).

Segundo Binda e Baronio (1984), a quantidade de sais depositados sob a camada seca é função da concentração original da solução aquosa, bem como do número de ciclos de molhagem-secagem aos quais a estrutura é submetida. Maiores quantidades de sais são obtidas em maiores concentrações e números de ciclos.

Uma combinação de três fatores é necessária para a formação da florescência: deve haver uma fonte de sais solúveis; deve haver a presença de umidade para atingir estes sais e trazê-los para a superfície; a evaporação ou pressão hidrostática deve causar a migração da solução. Se qualquer destas condições for eliminada, a florescência não ocorrerá (ASTM INTERNATIONAL C270, 2003). A Figura 2.12 ilustra, esquematicamente, o processo de degradação por cristalização de sais solúveis em edificações.

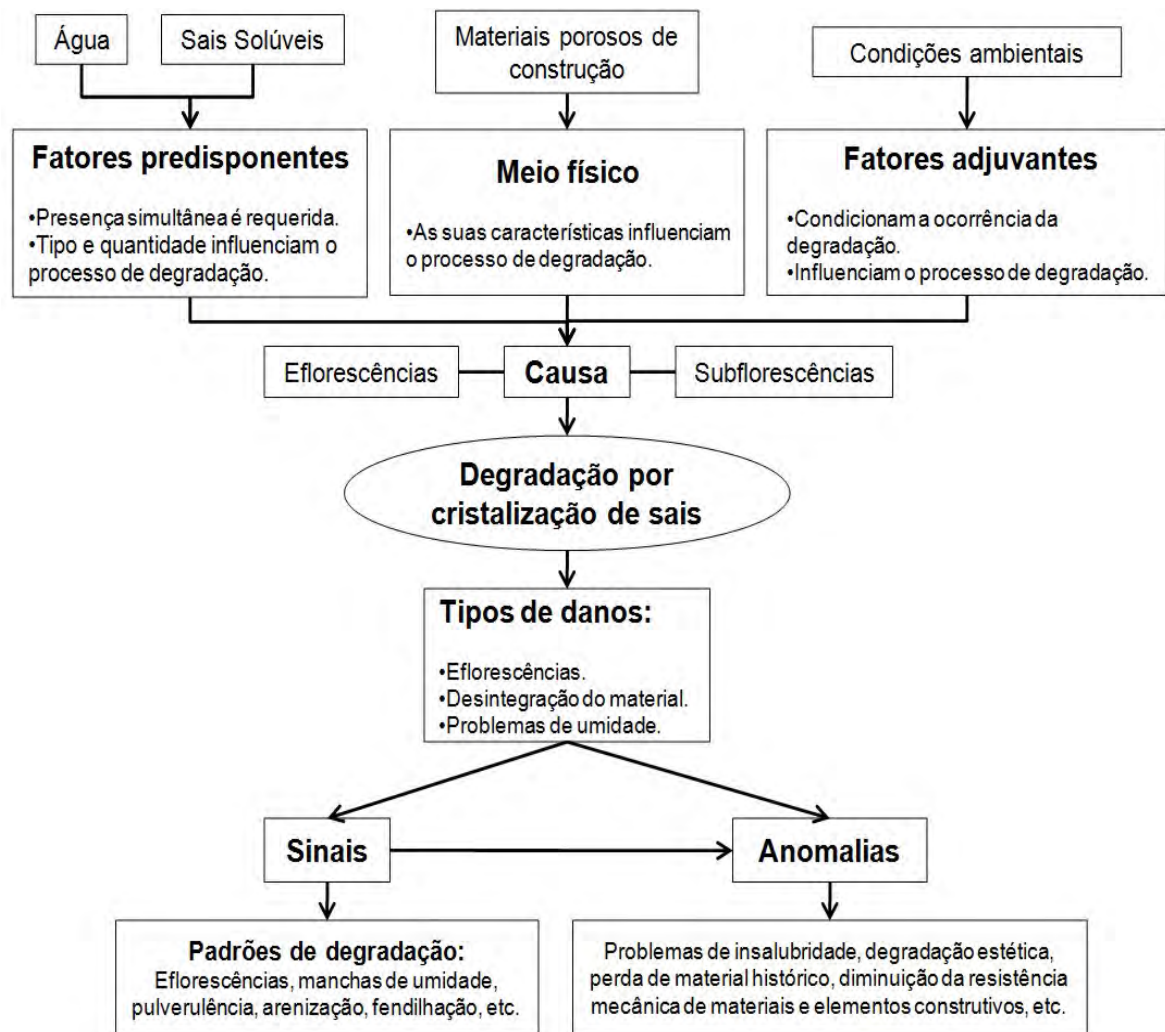


Figura 2.12 – Fluxograma de degradação por cristalização de sais solúveis (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)

2.3.1 – Classificação

Os véus podem ser classificados como véus de secagem, de secador ou de forno, a seguir discriminados (VERDUCH; SOLANA, 2000):

- a) **Véus de secagem** – formados pela secagem ao ar livre de argilas ou peças cruas, pela ação do ar “limpo”^{2.2} natural.
- b) **Véus de secador** – formados pela ação do ar “industrial”^{2.3}, geralmente contaminado (principalmente com gases sulfurosos), em argilas conformadas mecanicamente.

^{2.2} Entende-se por “limpo” o ar livre, sem contaminação da atmosfera industrial.

^{2.3} Entende-se por “industrial” o ar empregado na secagem dos materiais cerâmicos, geralmente contaminado pela queima dos combustíveis empregados no forno das olarias.

- c) **Véus de forno** – formados pela consolidação dos véus de secador, durante o cozimento no forno, pela ação de diversas reações. Salienta-se que um mesmo véu de secador pode originar distintos véus de forno, conforme as características da atmosfera e os ciclos térmicos utilizados na queima.

Ainda de acordo com estes autores, as florescências podem ser divididas em dois grupos principais: subflorescências, também conhecidas como criptoflorescências e eflorescências:

- a) **Subflorescências ou criptoflorescências** – são florescências não visíveis, ocasionadas quando os depósitos cristalinos são formados sob a superfície da peça, nos poros e na rede capilar, podendo ocasionar consideráveis danos à durabilidade do sistema pelas forças de expansão criadas. A Figura 2.13 ilustra este contexto no revestimento cerâmico de uma edificação residencial em Goiânia - GO.
- b) **Eflorescências** – são as florescências visíveis, ocasionadas quando há a cristalização na superfície dos elementos. Esta formação salina acarreta a degradação estética do produto e da salubridade do edifício, mas não produz esforços mecânicos relevantes, causando degradação microestrutural apenas nas zonas próximas à superfície. A Figura 2.14 apresenta o fenômeno ocorrendo no revestimento de granito da escada de um edifício público em Palmas - TO.



Figura 2.13 – Florescência em junta de assentamento de revestimento cerâmico com fissuração provocada por expansão na argamassa - criptoflorescência



Figura 2.14 – Eflorescência em revestimento de granito na escada de edifício público

As normas também se referem às florescências seguindo esta classificação, apesar de restringir a abordagem do fenômeno a materiais cerâmicos (normalmente blocos e ladrilhos^{2,4}) e painéis de alvenaria. A ASTM INTERNATIONAL C270 (2003) e a ASTM INTERNATIONAL C1232 (2002) definem eflorescência como um depósito cristalino, usualmente branco, de sais solúveis em água na superfície da alvenaria. A criptoflorescência, por sua vez, é especificada como um depósito cristalino de compostos solúveis em água nos poros da alvenaria (ASTM INTERNATIONAL C1232, 2002).

Uemoto (1988) não apresenta distinção clara entre subflorescências e eflorescências, referindo-se aos depósitos salinos apenas como eflorescências, e dividindo-os em três tipos:

- a) **TIPO 1** – tipo de manifestação mais comum, caracterizando-se pela presença de um depósito de sal branco, pulverulento e muito solúvel em água. Geralmente denigre apenas a estética do sistema, não afetando a durabilidade, salvo quando seu acúmulo se dá na interface alvenaria/pintura, quando a película de pintura poderá apresentar destacamento. Os sais mais frequentes são os sulfatos de sódio e de potássio e, com menor incidência, os sulfatos de cálcio e magnésio e carbonatos de sódio e de potássio (Figura 2.14).

^{2,4} Pequena placa cerâmica, em geral quadrada ou retangular, empregada no revestimento de paredes e pavimentos.

- b) **TIPO 2** – menos freqüente que o tipo 1, apresenta-se como um depósito branco com aspecto de escorrimento, muito aderente e pouco solúvel em água, mostrando efervescência na presença de ácido clorídrico. Assim como os sais do tipo 1, geralmente causam apenas prejuízos estéticos, sem qualquer influência à durabilidade dos sistemas envolvidos, salvo quando decorre da lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto e sua posterior carbonatação, reduzindo o pH do mesmo e deixando-o suscetível à corrosão de suas armaduras. O sal envolvido é basicamente o carbonato de cálcio, formado pela carbonatação do hidróxido de cálcio. A Figura 2.15 ilustra este tipo de eflorescência.
- c) **TIPO 3** – depósito salino branco, solúvel em água e com efeito de expansão. Pouco freqüente, pode provocar fissuração no sistema devido às forças envolvidas, sobretudo nas juntas de assentamento de painéis de alvenaria. O efeito de expansão se dá, em zonas abrigadas da chuva, pela hidratação do sulfato de cálcio eventualmente presente, transformando-o em gesso, conforme a Equação 2.10. Em zonas úmidas da alvenaria ocorre a formação de um composto expansivo conhecido como sal de Candlot, resultado da reação entre o sulfato de cálcio e um aluminato de cálcio hidratado do cimento, processo ilustrado na Equação 2.11. As eflorescências do Tipo 3 correspondem às subflorescências especificadas por Verduch e Solana (2000) e Menezes et al. (2006).

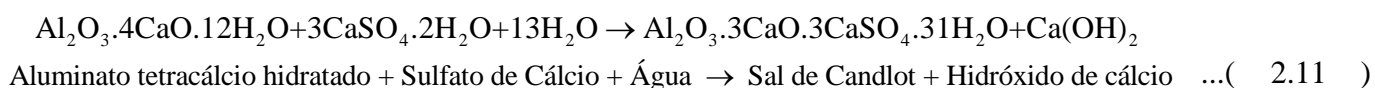


Figura 2.15 – Eflorescências provocadas pela lixiviação do hidróxido de cálcio em laje de edifício comercial em Brasília – DF

2.3.2 – Subflorescências ou criptoflorescências

De forma geral todos os blocos cerâmicos, argamassas e concretos, quando secos contêm, em seu interior, sais cristalizados, ainda que em baixas concentrações. A existência destes sais poderia levar à conclusão errônea de que estes materiais possuem criptoflorescências. O termo criptoflorescência, entretanto, deve ser reservado para caracterizar um contexto patológico dos sistemas envolvidos, quando se verifica a abundância de sais, geralmente carregados de fontes externas, com o agravante destes sais serem capazes de apresentar mudanças de volume, exercer esforços direcionais durante sua cristalização ou concentrar-se em locais determinados dos materiais envolvidos. (VERDUCH e SOLANA, 1999).

Caso os cristais tivessem espaços suficientes para crescer, nenhum dano à estrutura ocorreria. Todavia, quando os cristais crescem em espaços pequenos, como os poros, onde ficam confinados, pressões de grandezas elevadas são desenvolvidas nas paredes deste espaço físico, já que as forças moleculares que acompanham o crescimento cristalino são consideráveis (ANDEREGG, 1952). Os sais geralmente associados ao fenômeno são os sulfatos de cálcio, de magnésio e de sódio, os quais são capazes de exercer, segundo Muzzin (1982), as pressões de 110 MPa, 25 MPa e 25 MPa respectivamente, quando em condições semelhantes. Estas pressões são suficientes para fissurar os materiais envolvidos.

A ocorrência das subflorescências pode ser potencializada quando o sistema construtivo está em contato com solos ricos em sulfatos, e seja permitida a percolação de água do solo em direção ao sistema, enriquecendo-o continuamente destes compostos e possibilitando sua acumulação em determinados locais. Observa-se ainda, a formação de Sal de Candlot, expansivo na argamassa de cimento Portland, conforme previamente ilustrado pela Equação 2.11. Influenciam também, sobremaneira, condições ideais de umidade e evaporação, em particular, quando a água se desloca com dificuldade pela rede capilar, aliada a uma rápida evaporação da superfície do material (VERDUCH e SOLANA, 1999).

Segundo Richards et al. (1954), solos salinizados são os que apresentam maior concentração de sais solúveis, sódio trocável ou ambos. Os sais solúveis do solo contêm principalmente os cátions sódio, cálcio e magnésio e os ânions cloretos e sulfatos. Em menor quantidade, ocorrem potássio, bicarbonatos e carbonatos. Em torno de 98% dos sais solúveis dos solos são formados por esses íons.

Diversos pesquisadores apontam que a salinização dos solos está relacionada às condições climáticas desfavoráveis, como elevada evaporação, baixa infiltração, ventos contínuos e baixa precipitação, acarretando na existência de maior concentração de sais nas regiões áridas e semi-áridas (KOVDA, 1977).

A Figura 2.16 e a Figura 2.17, de Uemoto (1988), apresentam a ruptura de juntas de blocos cerâmicos pelo efeito da cristalização de sais na argamassa de assentamento (subflorescência).



Figura 2.16 – Eflorescência em juntas de alvenaria aparente com fissuração horizontal por efeito de expansão da argamassa de assentamento (subflorescência) (UEMOTO,1988)



Figura 2.17 – Eflorescência em juntas de alvenaria aparente com fissuração por efeito de expansão da argamassa de assentamento (subflorescência) (UEMOTO,1988)

A desintegração estrutural provocada pelo confinamento dos depósitos salinos nos poros de alvenarias e concretos ocorre apenas quando um estado de equilíbrio é estabelecido entre a velocidade de difusão de vapor de água, através da espessura da camada seca sob a qual ocorre a cristalização, e a velocidade de reabastecimento da solução aquosa para aquele local. Lewin (1982) descreveu matematicamente esta relação na Equação 2.12.

$$J = \frac{D * (P_s - P_a) * \left(\frac{M}{R * T} \right)}{\delta} \quad \dots (2.12)$$

Onde:

J é a velocidade de difusão do vapor de água;

D é o coeficiente de difusão;

P_s é a pressão do vapor de água na superfície da solução;

P_a é a pressão do vapor de água no ar ambiente;

M é a massa molecular da água;

R é a constante universal dos gases perfeitos (8,314472 ± 0,000015 J*K⁻¹*mol⁻¹);

T é a temperatura ambiente;

δ é a espessura da camada de difusão.

A Figura 2.18 ilustra os parâmetros envolvidos no modelo proposto por Lewin (1982) para desintegração de alvenarias pela formação de depósitos salinos. Nesta, “M” representa a alvenaria em contato com o reservatório de solução aquosa “S”. O sal é depositado a uma distância “δ” no interior da alvenaria e a uma altura “h” acima do reservatório. O raio de abertura do poro no setor de deposição é “r” e o raio médio do canal pelo qual a solução migra é “R”. O comprimento de migração é “L”.

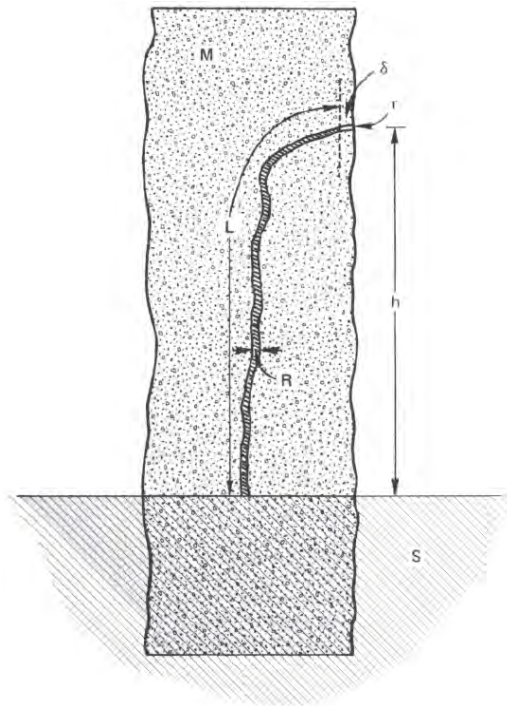


Figura 2.18 – Parâmetros envolvidos no mecanismo proposto por Lewin (1981) para a desintegração de alvenarias devido à formação de depósitos salinos (LEWIN, 1981)

Binda e Baronio (1987) afirmaram que a porosidade do material, a umidade relativa e o tempo de secagem contribuem para a determinação da espessura da zona seca (δ) representada na Figura 2.18. Finas camadas são obtidas em umidades elevadas e pequenos tempos de secagem, enquanto camadas mais espessas são formadas em umidades baixas e elevados tempos de secagem.

A desintegração do material ocorre através do mecanismo de laminação da superfície externa, que pode se manifestar através de escamações, fissuras ou lascas, dependendo da espessura da zona seca formada. Independentemente da forma de manifestação, a desintegração é provocada pela fadiga que a cristalização cíclica do sal, em uma mesma região, causa no material (BINDA e BARONIO, 1987; JACKSON, 1925).

Segundo Sarkar; Chandra e Rodhe (1992), os cristais prismáticos de pontas afiadas causam danos maiores às estruturas do que os cristais cúbicos, uma vez que as formas aciculares desenvolvem pressões mais elevadas. O crescimento orientado dos cristais é favorecido pela lenta velocidade de evaporação (ANDEREGG, 1952). Binda e Baronio (1984) observaram que tempos de secagem mais longos contribuem para uma maior velocidade de desgaste do material.

Os cristais de sulfatos crescem preferencialmente mais em uma direção do que em outra, ocasionando a formação do hábito acicular com cristais apresentando formas alongadas. A Figura 2.19 e a Figura 2.20 ilustram cristais de sulfato de cálcio e de sulfato de cobre. Quando a temperatura decresce lentamente, um número menor de cristais é formado, os quais apresentam, entretanto, grandes dimensões promovendo elevadas pressões. A diminuição da temperatura ocasiona a redução da solubilidade na maioria dos sais contidos na alvenaria. Dessa forma, um aumento na concentração da solução gera um aumento na pressão osmótica, provavelmente mais rapidamente do que qualquer tendência de decréscimo de temperatura. Nestas circunstâncias a etapa de crescimento dos cristais é mais favorecida do que a etapa de nucleação, acarretando que um número menor de núcleos seja formado, enquanto o crescimento cristalino é desenvolvido (ANDEREGG, 1952).

Ainda segundo Anderegg (1952), a diminuição da temperatura e o aumento na concentração da solução reduzem a pressão de vapor, elevando a condensação de vapor de água nos poros, próximo à superfície da alvenaria. Com a continuação da evaporação, os depósitos de sais originam-se em forma de anel ao redor dos poros, continuando a crescer exteriormente, na forma de um tubo.



Figura 2.19 – Cristais de sulfato de cálcio (GMREIS, 2009)



Figura 2.20 – Cristal de Sulfato de cobre penta-hidratado (PEREIRA, 2009)

Anderegg (1952) observou que materiais de baixa porosidade, ou que apresentam poros descontínuos, resistem melhor ao mecanismo de desintegração por formação de depósitos de sais, uma vez que estes dificultam a movimentação da água através da estrutura.

Verdusch e Solana (1999) apontam os seguintes fatores como favoráveis ao desenvolvimento da criptoflorescência em blocos cerâmicos:

- possibilidade de que o bloco possa obter sulfatos de cálcio, magnésio ou sódio em abundância, a partir de uma fonte externa.
- O bloco apresenta-se muito compacto, possuindo uma rede capilar muito fina.
- O elemento possui laminações produzidas durante o processo de extrusão.
- O bloco normalmente encontra-se úmido, mas não saturado.
- A face do bloco encontra-se submetida, normalmente a uma intensa evaporação.

Além dos fatores apontados, o confinamento de depósitos salinos em alvenarias também pode ocorrer por:

- aplicação de camadas repelentes como tintas, revestimentos cerâmicos vítreos ou rejuntamento epóxi, que impedem a “respiração” das alvenarias (CHIN e PETRY, 1993; ANDEREGG, 1952). A Figura 2.21 ilustra este fenômeno.
- Inserção de revestimentos como tapetes, tacos e vinis, os quais são capazes de induzir a produção de depósitos salinos sob estes revestimentos, danificando o concreto (quando este é o substrato), além de produzir deformações, odores desagradáveis e mofos no revestimento (DAY, 1992).



Figura 2.21 – Desprendimento de revestimentos cerâmicos vítreos devido à ação de subflorescências (CHIN e PETRY, 1993)

Segundo Anderegg (1952), quando os depósitos salinos são confinados por vidrados cerâmicos, desintegrações fortes podem ocorrer. Esta deterioração pode também existir quando cristais de sais, expostos nas faces de alvenarias (eflorescências), estão abrigados da água da chuva de modo que não sejam lixiviados facilmente, acarretando também no efeito de confinamento.

A distribuição inicial dos sais solúveis e a maneira pela qual a alvenaria sofre o processo de molhagem-secagem influencia significativamente na formação dos depósitos de sais solúveis: quando a água adentra na estrutura pela superfície, onde posteriormente ocorrerá a evaporação, depósitos de sais são menos prováveis de serem formados, uma vez que os sais solúveis são conduzidos para regiões distantes da superfície, pelas primeiras porções de água que penetram na estrutura.

A presença de discontinuidades na construção, como fendas e fissuras, também é capaz de abrigar sais cristalizados, os quais aumentam estes espaços devido às pressões de cristalização, induzindo o mesmo efeito de desintegração (DAY, 1992).

2.3.3 – Eflorescências

Eflorescências são as florescências visíveis que se formam na superfície de materiais porosos ou em regiões próximas a esta, devido à evaporação da solução aquosa de sais transportados, quando há um gradiente de umidade entre a atmosfera ambiente e o material. Em locais de elevada umidade como porões, ou em presença de sais deliqüescentes^{2.5}, os sais não chegarão a se cristalizar, depositando-se como um “gel”, cuja viscosidade depende da composição e concentração da solução, conforme ilustra a Figura 2.22 (BARZAGHI, 1983).



Figura 2.22 – Eflorescência em alvenaria de deck de piscina de edifício residencial em Goiânia – GO

^{2.5} Sais capazes de absorver a água presente na atmosfera, apresentando difícil secagem.

Verduch e Solana (1999) orientam que a análise da distribuição das eflorescências em edifícios deve ser realizada em duas etapas: observação global do edifício e visualização próxima das zonas afetadas.

A observação global do edifício tem a finalidade de determinar a situação e características de cada uma das eflorescências presentes em um determinado edifício.

Partindo do pressuposto de que não houve mudança dos materiais empregados durante a execução da obra, as eflorescências que surgem em lugares diferentes não seriam decorrentes da natureza dos materiais, mas sim de fatores climáticos, tais como: distribuição da incidência de chuvas e variação da umidade ambiental, regime dos ventos, insolação, ciclos térmicos em períodos curtos e prolongados, etc. Também são observados nesta etapa os fatores decorrentes da construção, tais como: orientação das fachadas, proteção do sol e da chuva por beirais, toldos e outros elementos do edifício, calefação das distintas zonas do edifício, acessos indevidos da água durante a construção ou após o término da obra, infiltração de água do solo por capilaridade, etc.

A Tabela 2.5 apresenta uma síntese das informações fornecidas por Verduch e Solana (1999), referentes ao diagnóstico das eflorescências a partir da observação geral do edifício, sendo apresentadas as configurações mais frequentes e suas causas prováveis. A

Tabela 2.6 elaborada por Uemoto (1988) mostra, para cada tipo de eflorescência, segundo a classificação da autora, já apresentada, os possíveis locais de formação, prováveis origens e reparos indicados.

Em painéis que apresentem um valor artístico significativo, como os que possuem afrescos, Henriques (2007) recomenda inicialmente a interrupção do fluxo de umidade e, posteriormente, a remoção dos sais higroscópicos através de duas técnicas principais:

- utilização de compressas de algodão ou de papel absorvente, embebidas em água destilada e colocadas sobre as zonas afetadas, diminuindo a concentração dos sais nas zonas superficiais através da migração dos mesmos para as compressas;
- emprego de revestimentos de argamassa provisórios, executados com baixo teor de aglomerantes aéreos, destinados a recolher os sais na sua migração para a superfície, sendo este revestimento substituído tantas vezes quantas as necessárias. Esta técnica deve ter uma criteriosa análise de viabilidade, somente podendo ser empregada caso os painéis encontrem-se úmidos.

Tabela 2.5 – Locais de formação e prováveis origens para as eflorescências, a partir da observação global da edificação (VERDUCH e SOLANA, 1999)

Nr.	Configuração observada	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade
1	Manchas de intensidade variável, dispersas em áreas extensas, formando agrupamentos de elevada irregularidade e com presença de elementos cerâmicos individualmente mais manchados que outros.	Umidade de obra, própria da argamassa e dos blocos, que foi alocada durante a construção.
2	Manchas, em geral alongadas, situadas na parte inferior da edificação, iniciando-se próximo ao solo e ascendendo até alturas relativamente constantes, sendo circundadas por eflorescências, as quais são mais intensas em sua parte inferior.	Umidade de absorção e capilaridade, com sucção da água do solo, rica em sais solúveis, pela obra.
3	Manchas intensas, com formas e localizações variáveis, coincidentes com o posicionamento e modo de armazenamento de substâncias que provocam eflorescências.	Substâncias estocadas que possuem componentes solúveis ou que podem produzi-los e que, devido às condições inadequadas de armazenamento, encontram-se expostas à ação da água, a qual atua como agente mobilizador. Um exemplo é a estocagem de carvão piritoso, exposto à intempérie, em obra de alvenaria.
4	Manchas alongadas, em posição horizontal.	Água empoçada em terraços, varandas, etc. e/ou chuvas intensas precipitadas durante a construção, acarretando na saturação dos elementos da obra em determinados níveis.
5	Manchas alongadas, em posição vertical.	Umidade de infiltração no interior da edificação, a qual pode afetar vários pisos em seu movimento descensional.
6	Manchas intensas, com localizações distintas e formas arredondadas ou alongadas, freqüentemente se destacando sobre um fundo de parede “limpa”.	Acesso natural ou acidental da água à face externa do painel de alvenaria. Esse ingresso é de baixa a moderada intensidade, mas de forma contínua e freqüente.
7	Manchas de aspecto geométrico, situadas em zonas do painel de alvenaria que estão protegidas por pórticos, marquises de terraços, alpendres, etc.	São manchas residuais da umidade inicial (de obra) da edificação, a qual é eliminada ao longo do tempo por ação de sucessivos ciclos ambientais de umidade e secagem. As superfícies abrigadas conservam sua umidade inicial por mais tempo, contrariamente ao que ocorre com o restante da edificação, o qual é exposto à ação das intempéries.

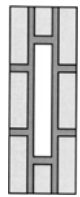







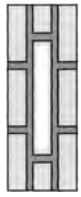

Tabela 2.6 – Locais de formação, prováveis origens e reparos indicados para as eflorescências, segundo Uemoto (1988)

Tipo da eflorescência	Locais de formação	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Reparos
Tipo 1	Em superfície de alvenaria aparente. Em superfície de alvenaria revestida de argamassa. Em regiões próximas a caixilhos mal vedados. Em superfícies de ladrilhos cerâmicos não esmaltados. Em juntas de pisos cerâmicos esmaltados e azulejos.	Sais solúveis presentes nos componentes da argamassa: água de amassamento, agregados ou aglomerantes. Sais solúveis presentes nos materiais cerâmicos (blocos cerâmicos, ladrilhos, etc.). Sais solúveis contidos no solo. Poluição atmosférica. Reação bloco cerâmico-cimento.	Eliminação da fonte de umidade. Aguardar a eliminação dos sais pela ação da chuva em casos de eflorescência em superfície externa. Lavagem com água. Escovamento da superfície por processo mecânico. Após saturar a alvenaria com água, lavar com solução clorídrica a 10%, e em seguida com água abundante.
Tipo 2	Em superfície de componentes próximos a elementos em alvenaria e concreto. Em superfície de argamassa ou concreto.	Carbonatação da cal liberada na hidratação do cimento. Carbonatação da cal não carbonatada proveniente de argamassas mistas.	Eliminação da percolação de água. Lavagem com solução clorídrica conforme indicado anteriormente. Em caso de depósito abundante, escovamento da superfície por processo mecânico e lavagem com ácido conforme indicado anteriormente.
Tipo 3	Entre fissuras de juntas de alvenaria. Entre juntas de argamassas e blocos cerâmicos. Locais de alvenaria muito exposta à ação da chuva.	Expansão devido à hidratação do sulfato de cálcio existente no bloco cerâmico ou da reação bloco cerâmico-cimento. Formação de sal expansivo por ação de sulfato do meio.	Não realizar reparos, esperar a estabilização do fenômeno. Reparo usando cimento isento de sulfatos.

A observação da forma como se distribuem as eflorescências na superfície dos painéis de alvenaria pode orientar sobre o comportamento e interação dos compostos químicos presentes nos componentes (blocos e argamassas) na formação dos sais que constituem as eflorescências.

Schmidt (1963) apresenta cinco possibilidades básicas de distribuição das eflorescências em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos, possibilitando discriminá-las, bem como elencar as interações entre os elementos envolvidos. As possibilidades propostas encontram-se relacionadas na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Apresentação das possibilidades de distribuição das eflorescências em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos (SCHMIDT, 1963)

Nr.	Representação esquemática	Descrição	Foto	Características	Análise da interação
1		O bloco apresenta sua face completamente recoberta.		A face do bloco, observada a certa distância, pode parecer completamente coberta de eflorescências, mas, vista de perto, frequentemente é heterogênea. Em casos de eflorescências muito abundantes, o recobrimento da face pode ser relativamente homogêneo. A junta de argamassa encontra-se inteiramente limpa.	A causa da eflorescência reside essencialmente no bloco. Constitui caso limite, raramente ocorrendo. Normalmente se apresentam diversos casos intermediários, nos quais, as eflorescências na face do bloco ou na junta da argamassa não os cubram por completo, nem sejam homogêneas. O que se mantém é que o bloco está essencialmente manchado e a junta essencialmente limpa.
2		A argamassa de assentamento encontra-se inteiramente recoberta.		Oferece uma configuração contraposta à da distribuição 1, ou seja, juntas de argamassa completamente tomadas de eflorescência e faces dos blocos inteiramente limpas.	A causa da eflorescência reside essencialmente na argamassa. Constitui caso limite, raramente ocorrendo. Normalmente se apresentam diversos casos intermediários, nos quais, as eflorescências na face do bloco ou na junta da argamassa não os cubram por completo, nem sejam homogêneas. O que se mantém é que o bloco está essencialmente limpo e a junta essencialmente manchada.
3		A argamassa de assentamento e a borda dos blocos encontram-se recobertos.		A eflorescência é sutil e está limitada exclusivamente a uma faixa estreita no contato entre o bloco e a argamassa. Tanto a face do bloco quanto a junta de argamassa encontram-se praticamente limpos.	Existem ligeiras interações entre a argamassa e o bloco.
4		O bloco apresenta eflorescências circulares.		De rara ocorrência, supõe a formação de manchas circulares de eflorescência nas faces dos blocos. Os anéis formados nem sempre estão fechados, mas o núcleo central, demarcado pelo anel, encontra-se isento de eflorescências.	As eflorescências se formam como resultado de fortes interações entre a argamassa e o bloco, sendo produzidas na região do bloco onde alcança a influência negativa da argamassa.
5		A face do bloco apresenta eflorescência em seu retângulo central.		Caracteriza-se como uma mancha aproximadamente retangular, situada no centro da face do bloco. As bordas do bloco e as juntas de argamassa encontram-se essencialmente limpas.	Há fortes interações entre a argamassa e o bloco, inibindo a formação das eflorescências até onde alcança a influência benéfica da argamassa. Ocorre em caso de eflorescências de vanádio.

2.3.4 – Interações entre revestimentos de argamassa e florescências

Segundo Gonçalves e Rodrigues (2010), a ocorrência de eflorescências ou subflorescências em revestimentos de argamassa não é, a princípio, negativa, uma vez que a função dos revestimentos de proteger a alvenaria e os elementos adjacentes se sobrepõe à sua própria preservação, sendo mais relevante, portanto, não o impedimento da formação das florescências, mas sim sua previsão e localização.

As seguintes ocorrências, entretanto, podem ser associadas a falhas do sistema de revestimento pela formação de florescências:

- o revestimento de argamassa “empurra” as soluções salinas para elementos adjacentes;
- o revestimento de argamassa proporciona a condução de sais deletérios, introduzindo-os na edificação;
- o revestimento de argamassa possui durabilidade incompatível com as possibilidades de manutenção;
- o revestimento de argamassa não cumpre o princípio de funcionamento para o qual foi concebido.

A maneira como o revestimento de argamassa interage na presença de soluções salinas relaciona-se com a profundidade em que os sais cristalizam dentro de mesmo, afetando a estética e a salubridade, quando a cristalização ocorre na superfície do revestimento, ou a proteção da alvenaria, quando a cristalização ocorre na interface revestimento/alvenaria ou próximo desta.

Conforme orientam Gonçalves (2007), Van Hees; Naldini e Rodrigues (2009) e Wijffels; Groot e Van Hees (1997) há quatro formas básicas de interação entre os revestimentos de argamassa e as florescências, as quais encontram-se relacionadas na Tabela 2.8 e ilustradas na Figura 2.23 e na Figura 2.24. Salienta-se a possibilidade de haver configurações intermediárias ou mistas das apresentadas.

Tabela 2.8 – Formas básicas de interação entre revestimentos de argamassa e florescências (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)

Identificação	Características
Revestimentos de argamassa de “transporte de sal”	Favorecem a migração das soluções salinas até a superfície e, conseqüentemente a formação de eflorescências. Característicos dos revestimentos de cal aérea.
Revestimentos de argamassa de “acumulação de sal”	Permitem o transporte líquido das soluções provenientes da alvenaria. A cristalização tende a ocorrer no interior do revestimento.
Revestimentos de argamassa de “bloqueio de sal”	Permitem o transporte de vapor, mas não de líquido. A cristalização tende a ocorrer junto à interface revestimento/alvenaria. Característico das argamassas tradicionais ou industriais totalmente hidrófugas.
Revestimentos de argamassa “selantes”	Como não permitem a migração de vapor ou de líquido, teoricamente, não ocorrerá a cristalização, uma vez que não há evaporação. Contudo observa-se, nos exemplos de aplicação, a tendência para acontecerem dois tipos de situações: As soluções são desviadas para elementos adjacentes que permitam evaporação e que podem, assim, “sofrer as conseqüências” da cristalização. Se ocorrerem pontos de escape, o que é freqüente, por exemplo, devido à fissuração do revestimento, ocorrerá cristalização localizada de sal em uma zona que se alarga progressivamente.

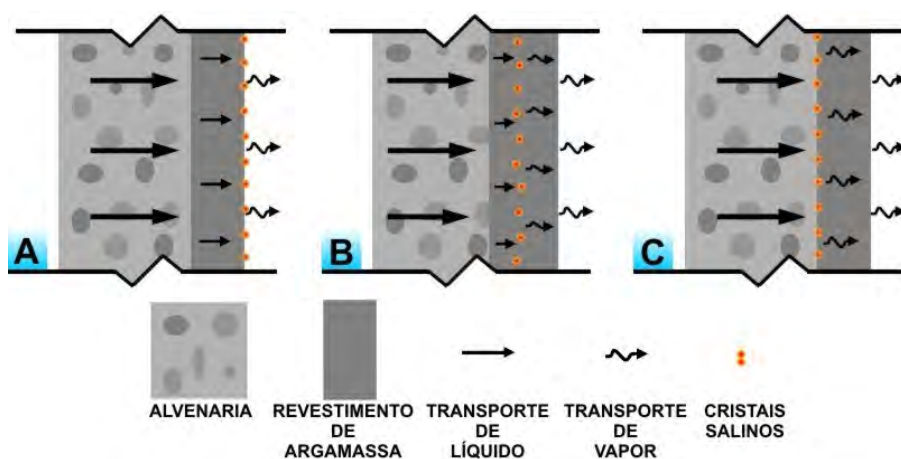


Figura 2.23 – Formas básicas de interação entre revestimentos de argamassa e florescências (A – “transporte de sal”; B – “acumulação de sal”; c – “bloqueio de sal”) (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)

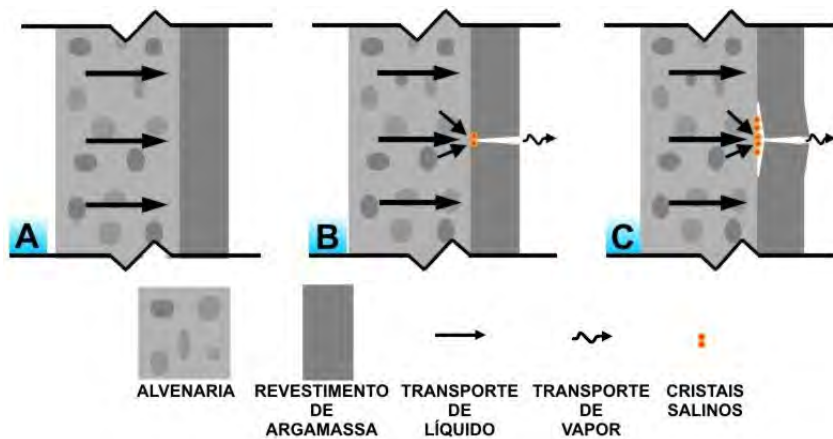


Figura 2.24 – Formas básicas de interação entre revestimentos de argamassa “selantes” e florescências (A – revestimento impedindo o fluxo de vapor ou líquido; B – revestimento fissurado acarretando em cristalização localizada; c – alargamento da fissura pelo aumento da cristalização) (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)

Segundo Scherer (1990), a secagem dos materiais de construção porosos apresenta duas fases distintas, ilustradas na Figura 2.25:

- na primeira fase, o elevado teor de água do material acarreta na continuidade da fase líquida, sendo a frente de evaporação localizada na superfície do material.
- Na segunda fase, a frente úmida recua para o interior do material, devido à progressiva redução do teor de umidade, com o fluxo líquido incapaz de compensar a procura evaporativa.

A cristalização salina ocorre na frente de evaporação, região onde o soluto se evapora e a concentração da solução aumenta progressivamente. Quando a frente se encontra na superfície (1ª fase), formam-se eflorescências. Quando a frente se encontra no interior do material (2ª fase), formam-se as subflorescências (GONÇALVES e RODRIGUES, 2010).

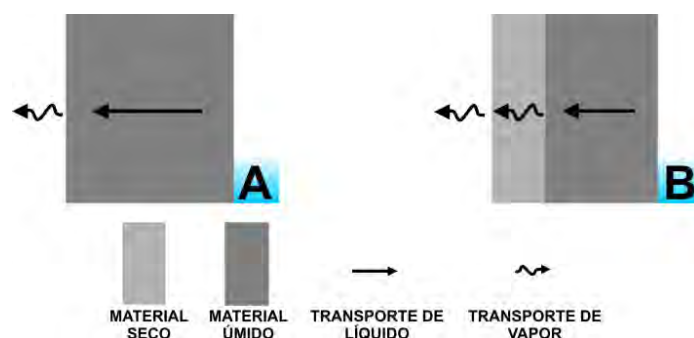


Figura 2.25 – Secagem de materiais de construção porosos (A – 1ª fase; B – 2ª fase) (adaptado de GONÇALVES e RODRIGUES, 2010)

2.3.5 – Natureza química das fluorescências

Conforme orientam Verduch e Solana (1999), nas efluorescências mais frequentes são encontrados os cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} e K^{+1} , bem como os ânions SO_4^{-2} , CO_3^{-2} , Cl^{-1} e NO_3^{-1} . Com maior raridade são observados hidróxidos, silicatos e diversos compostos de alumínio, ferro, vanádio, molibdênio, cromo, níquel, manganês e cobre. Os sais formadores do fenômeno podem proceder exclusivamente dos materiais, pela composição química ou contaminação de seus constituintes, sendo identificados então como de origem interna. Podem, ainda, derivar de compostos transportados do exterior, sendo então reconhecidos como de origem externa. A Tabela 2.9 apresenta uma lista (não limitante a sais) de compostos identificados durante a análise de efluorescências.

Tabela 2.9 – Compostos identificados em efluorescências (VERDUCH e SOLANA, 1999)

Composição	Identificação
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Gipsita
K_2SO_4	Arcanita
Na_2SO_4	Thenardita
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Mirabilita
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Epsomita
$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$	Glasserita
$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Syngenita
$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Picromerita
$\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	Langbelinita
$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Kalinita
$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	Glauberita
CaCO_3	Calcita
Mn_3O_4	Hausmanita
Fe_2O_3	Hematita
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Portlandita
NaCl	Halita
KCl	Silvita
K_2CO_3	Carbonato de potássio
Na_2CO_3	Carbonato de sódio
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	Hidróxido férrico
$\text{H}_2\text{V}_4\text{O}_{11}$	Ácido tetravanádico
NaVO_3	Metavanadato sódico
VOSO_4	Sulvato de vanádio
VOCl_2	Cloreto de vanádio

Uemoto (1988) também aponta os sais dos cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} e K^{+1} como os principais constituintes das eflorescências, indicando na Tabela 2.10 os compostos mais comuns, sua solubilidade em água (qualitativamente), bem como a fonte provável para seu aparecimento.

Tabela 2.10 – Natureza química das eflorescências (UEMOTO, 1988)

Composição química	Fórmula química	Solubilidade em água	Fonte provável
Carbonato de cálcio	CaCO_3	Pouco solúvel	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada.
Carbonato de magnésio	MgCO_3		Carbonatação da cal lixiviada de argamassa de cal não carbonatada.
Carbonato de potássio	K_2CO_3	Muito solúvel	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Carbonato de sódio	Na_2CO_3		
Hidróxido de cálcio	Ca(OH)_2	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento.
Sulfato de cálcio di-hidratado	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do bloco cerâmico.
Sulfato de magnésio	MgSO_4	Solúvel	Bloco cerâmico, água de amassamento.
Sulfato de cálcio	CaSO_4	Parcialmente solúvel	
Sulfato de potássio	K_2SO_4	Muito solúvel	Reação bloco cerâmico-cimento, agregados, água de amassamento.
Sulfato de sódio	Na_2SO_4		
Cloreto de cálcio	CaCl_2		Água de amassamento.
Cloreto de magnésio	MgCl_2		
Nitrato de potássio	KNO_3		Solo adubado ou contaminado.
Nitrato de sódio	NaNO_3		
Nitrato de amônio	NH_4NO_3		

Sais diferentes cristalizam-se em umidades e temperaturas distintas. O valor da umidade e da temperatura, bem como a velocidade de variação destes fatores, influencia significativamente na formação do hábito cristalino e no tamanho que ele pode alcançar. Dadas as características de condutividade térmica dos painéis de alvenaria normalmente empregados no Brasil, qualquer mudança na temperatura do ar atmosférico rapidamente influenciará no desenvolvimento dos cristais (NASCIMENTO, 1998).

Brownell (1955) realizou um experimento, no qual foram adicionados diversos sais em um grupo de argilas que não apresentava tendência à eflorescência. A Tabela 2.11 apresenta os

resultados obtidos, juntamente com as respectivas solubilidades dos sais em água fria e temperaturas de fusão ou decomposição.

Tabela 2.11 – Ação de diversos sais adicionados a argilas que não possuíam tendência à eflorescência (BROWNELL, 1955)

Sal	Solubilidade g/100 ml de água fria	Temperatura de fusão ^(f) ou de decomposição ^(d) (°C)	Formação de eflorescências
MgCO ₃	0,0106	350 ^(d)	Não
CaCO ₃	0,0014	825 ^(d)	Não
BaCO ₃	0,0022	1450 ^(d)	Não
Na ₂ CO ₃	7,1	851 ^(f)	Não
MgCl ₂	35,3	147 ^(f)	Não
CaCl ₂	59,5	772 ^(f)	Não
SrCl ₂	43,5	873 ^(f)	Não
BaCl ₂	31	962 ^(f)	Abundante
ZnCl ₂	432	262 ^(f)	Não
MgSO ₄ .7H ₂ O	71	1185 ^(f)	Abundante
CaSO ₄ .2H ₂ O	0,241	1450 ^(f)	Rápida
SrSO ₄	0,0113	1580 ^(d)	Não
BaSO ₄	0,00023	1580 ^(f)	Não
ZnSO ₄	86,5	740 ^(d)	Sim
CdSO ₄	75,5	1000 ^(f)	Sim
Na ₂ SO ₄	4,76	884 ^(f)	Não
Cd(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	109,7	100 ^(f)	Não

2.3.5.1 – Compostos salinos de origem interna

Os sais de origem interna são aqueles estritamente presentes nos blocos, não necessitando de reações adicionais com compostos provindos da argamassa, do solo ou do ar. Verduch e Solana (1999) apontam as principais origens para os compostos salinos de origem interna em blocos cerâmicos:

- estavam presentes nas argilas;
- foram formados durante a secagem e cozimento, por reação química com os gases que entraram em contato com os blocos;
- foram originados durante o cozimento por reação química entre os vários componentes das argilas;

Ribeiro (1996) buscou relacionar o grau de eflorescência de blocos cerâmicos de cerâmica vermelha, do estado da Paraíba, com o teor de sais de sua matéria-prima, o qual foi medido

através da condutibilidade elétrica de seus extratos, conforme a metodologia empregada pela EMBRAPA (1997). O potencial eflorescente foi determinado conforme a ASTM INTERNATIONAL C67 (2003). Dentre outras conclusões, pode-se salientar que a maioria das amostras ensaiadas apresentou eflorescências, e estas não se relacionaram à quantidade de sais presentes na matéria-prima (argila), e sim somente aos sais extraídos dos blocos cerâmicos já manufaturados. Foi também observado que teores de sais abaixo de 0,014% não apresentaram eflorescências em blocos cerâmicos.

Vale (1999) avaliou o potencial eflorescente de brita, areia e massame, comercializados na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba. A quantificação iônica dos extratos de saturação das amostras foi realizada através da determinação dos resíduos sólidos e condutibilidade elétrica, conforme metodologia apresentada pela EMBRAPA (1997), sendo também determinada a quantidade de sulfatos presentes conforme APHA (1989). Foi possível determinar uma equação que correlacionasse a condutibilidade elétrica e a porcentagem de sais solúveis totais. Observou-se também que as eflorescências constatadas nas obras civis da região não têm sua origem na brita, areia ou massame, devendo sua presença encontrar-se relacionada a outros materiais de construção, como os blocos cerâmicos.

2.3.5.2 – Compostos salinos de origem externa

São geralmente resultantes das interações entre os sais presentes nos blocos e os compostos solúveis (geralmente salinos) provindos do exterior (da argamassa, do solo, da maresia ou de outras fontes). Salienta-se que os sais constituintes das eflorescências podem também ser originados por interações entre estes compostos e outros próprios dos componentes (blocos cerâmicos, argamassas, etc.), possuindo ainda capacidade suficiente para migrar para a superfície.

2.3.5.3 – Dinâmica dos sulfatos na formação de eflorescências

A maioria das eflorescências em blocos cerâmicos é composta por sulfatos, sobretudo de metais alcalinos. Segundo Verduch e Solana (1999), a origem destes compostos é variada, podendo os mesmos estar contidos na própria argila, ser formados durante a secagem dos blocos, acompanharem as argilas como impurezas, ser criados a partir de gases sulfurosos

produzidos nas reações a altas temperaturas entre os sulfatos e os compostos silicatos, bem como prover de compostos de enxofre formados durante a queima do combustível (carvão ou óleo). A Figura 2.26 ilustra as principais causas de formação de sulfatos em blocos cerâmicos.

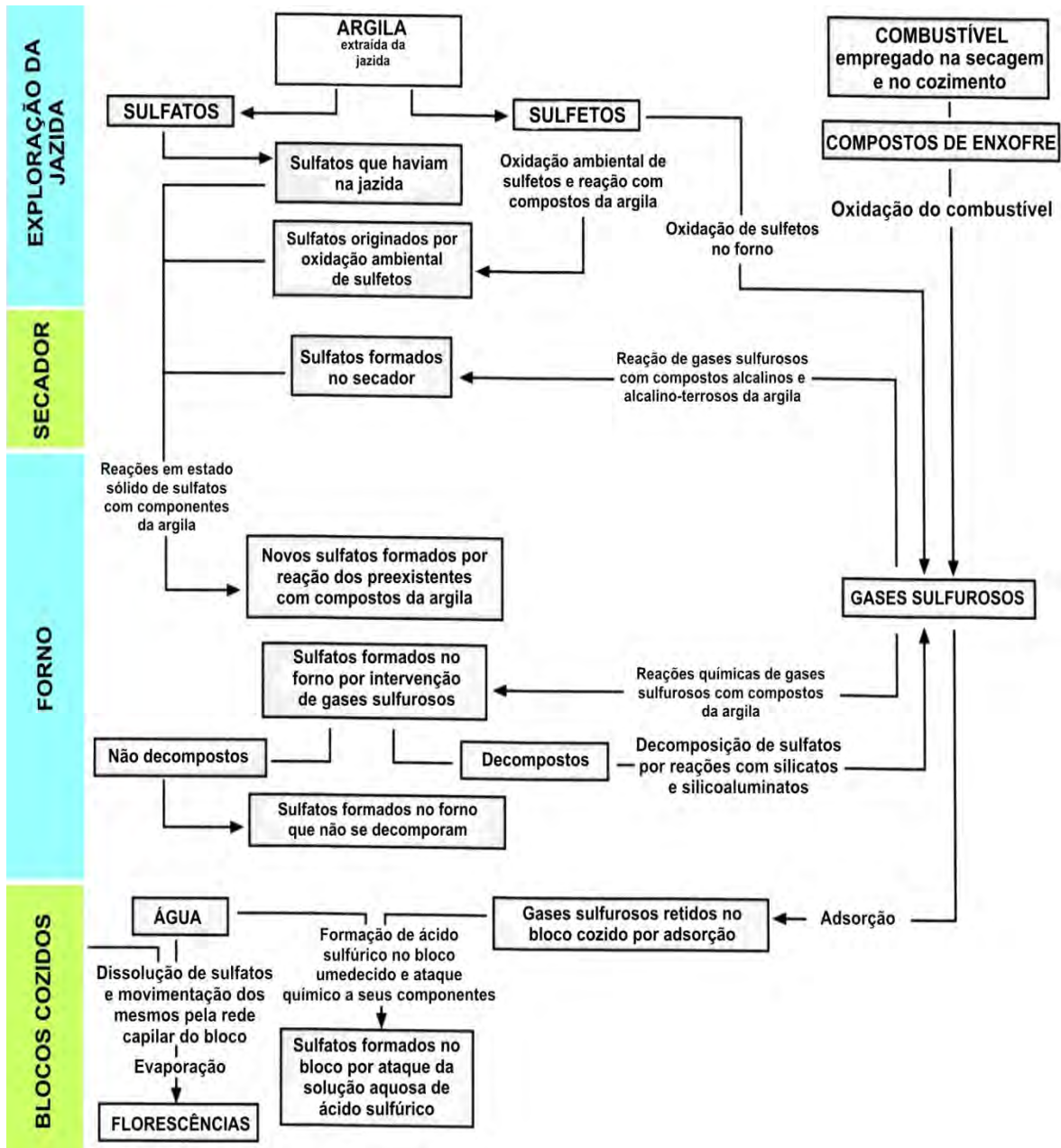


Figura 2.26 – Formação de sulfatos em blocos cerâmicos (adaptado de VERDUCH e SOLANA, 1999)

Brownell (1955) estudou a ordem de preferência na formação de sulfatos em compostos argilosos, através da difração de raios X de produtos formados a partir de composições binárias simples, sob temperatura moderada. Concluiu que os sulfatos de potássio e de sódio são formados preferencialmente aos sulfatos de bário, cálcio e magnésio. A Tabela 2.12 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2.12 – Produtos de formação a partir de reagentes binários em compostos argilosos (BROWNELL, 1955)

Reagentes	Produtos da reação	Temperatura de cozimento
$K_2CO_3 + BaSO_4$	$BaCO_3 + K_2SO_4$	600 °C
$K_2CO_3 + CaSO_4$	$CaCO_3 + K_2SO_4 + CaSO_4$	600 °C
$K_2CO_3 + MgSO_4$	$MgO + K_2SO_4$	600 °C
$Na_2CO_3 + BaSO_4$	$BaCO_3 + Na_2SO_4 + BaSO_4$	600 °C
$Na_2CO_3 + CaSO_4$	$CaCO_3 + Na_2SO_4 + CaSO_4$	600 °C
$Na_2CO_3 + MgSO_4$	$MgO + Na_2SO_4$	600 °C
$BaCO_3 + CaSO_4$	$CaO + BaSO_4 + Ca(OH)_2$	1000 °C
$CaCO_3 + MgSO_4$	$MgO + CaSO_4$	1000 °C

Schmidt (1963) analisou os cátions presentes em sais solúveis de extratos de blocos cerâmicos, de argamassas e de composições formadas por 80% de blocos cerâmicos e 20% de argamassas, por entender que esta seria aproximadamente a proporção de ambos em obras de alvenaria. O traço da argamassa empregada não foi especificado pelo autor.

Os blocos ensaiados possuíam uma quantidade intermediária de sulfato de cálcio e, quando testados isoladamente, não apresentavam eflorescências, ou as apresentavam debilmente. Quando utilizados em obras, entretanto, apresentavam eflorescências de sulfato de potássio e de sódio de forma ostensiva. A Figura 2.27, a

Figura 2.28 e a Figura 2.29 ilustram os resultados encontrados.

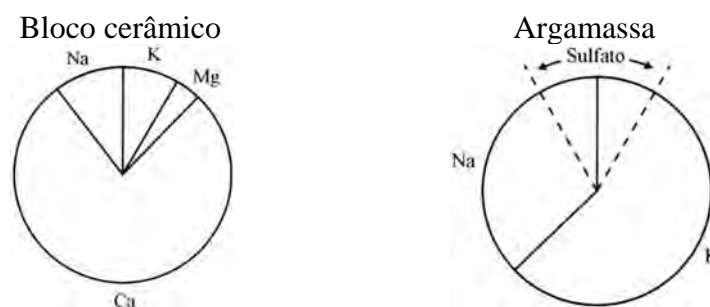
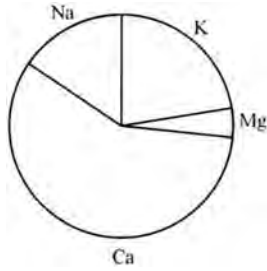


Figura 2.27 – Cátions presentes em sais solúveis de extratos de blocos cerâmicos e argamassas (SCHMIDT, 1963)

Valores médios calculados



Valores determinados experimentalmente

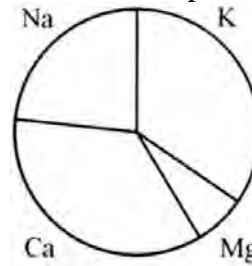


Figura 2.28 – Cátions presentes em sais solúveis de extratos de composições formadas por 80% de blocos cerâmicos e 20% de argamassas – Valores teóricos e experimentais (SCHMIDT, 1963)

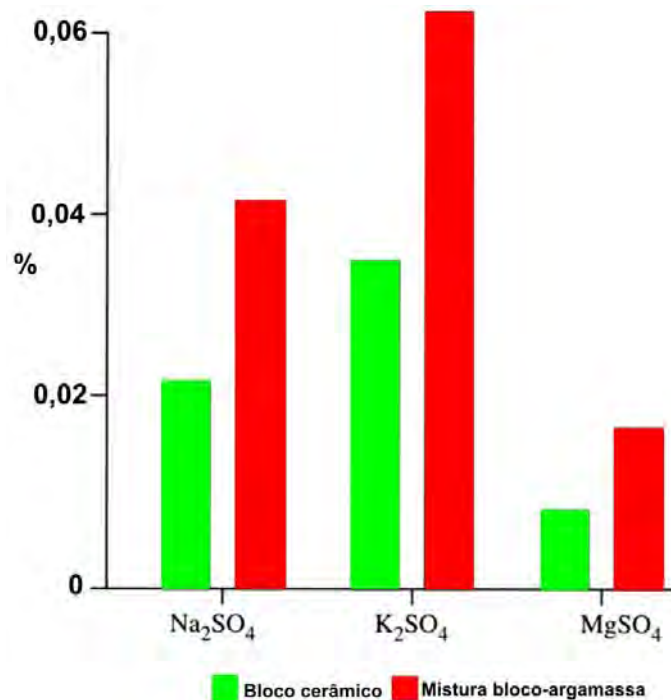


Figura 2.29 – Composição dos sais solúveis nos extratos de blocos cerâmicos e de composições formadas por 80% de blocos cerâmicos e 20% de argamassas em relação à massa do material (adaptado de SCHMIDT, 1963)

Nos blocos testados por Schmidt (1963), os sais solúveis eram constituídos quase exclusivamente por sulfatos, sendo que o sulfato de cálcio constituía 75% dos sais extraídos, e o restante era formado por quantidades decrescentes de sulfatos de potássio, sódio e magnésio. A argamassa, por sua vez, possuía apenas uma pequena quantidade de sulfatos, retratada pela linha pontilhada na Figura 2.27. O sódio e potássio restantes encontravam-se na forma de hidróxidos. Não foi apresentada, na representação da argamassa, a proporção de hidróxido de cálcio. Salientam-se, dentre outras, as seguintes conclusões do estudo:

- a argamassa possuía uma maior proporção de compostos solúveis de sódio e potássio que o bloco cerâmico (Figura 2.27).
- Os compostos solúveis de sódio e potássio da argamassa, constituídos por hidróxidos em uma proporção muito superior a sulfatos, se transformaram inteiramente em sulfatos ao penetrarem nos blocos.
- A quantidade de sulfatos solúveis de metais alcalinos que resultaram da mistura bloco/argamassa foi superior à soma das quantidades existentes separadamente no bloco e na argamassa, o que pode ser constatado pela análise da Figura 2.27 em conjunto com a Figura 2.29.
- Na mistura bloco/argamassa foi produzida uma quantidade de sulfato de cálcio inferior à esperada, considerando separadamente o bloco e a argamassa (Figura 2.28)

Pode-se explicar a dinâmica observada na formação dos sulfatos, com base nos seguintes pontos:

- a quantidade de CaSO_4 possível de se lixiviar depende de sua solubilidade, e esta, por sua vez, é influenciada pela natureza das concentrações dos outros compostos solúveis presentes. Os sais que possuem íons coincidentes com os do sal em questão fazem diminuir sua solubilidade, enquanto que os sais que não tem íons em comum, a fazem aumentar. Farão diminuir a solubilidade do CaSO_4 , portanto, outros sais de cálcio e outros sulfatos, e farão aumentar sua solubilidade sais que não contenham estes íons. Este comportamento, que é pouco acusado no caso dos sulfatos muito solúveis, pode se tornar muito relevante quando se trata de sulfato pouco solúvel, como o do cálcio.
- A presença de grandes quantidades de Ca(OH)_2 na argamassa diminui a solubilidade do sulfato de cálcio contido no bloco, aumentando sua disposição a entrar em reação com os hidróxidos alcalinos da argamassa e com o gás carbônico atmosférico. A intervenção deste último torna possível transformar o CaSO_4 do bloco em sulfatos muito mais solúveis, como os alcalinos. A reação encontra-se ilustrada na Equação 2.13.



Buscando analisar o relato de que blocos cerâmicos empregados em painéis de alvenaria possuem uma incidência maior de eflorescência que blocos semelhantes antes da utilização, Schmidt (1963) apresentou, através do gráfico contido na Figura 2.30, as quantidades de Na_2SO_4 e K_2SO_4 , em função do teor total de sais, em diferentes classes de blocos cerâmicos, antes e depois de serem colocados na obra. Todos os blocos foram expostos à intempérie durante igual período de tempo. Pôde-se observar que a maioria dos blocos que estiveram em contato com a argamassa possuía quantidades de sulfatos de sódio e de potássio superiores a 0,05%, enquanto que os blocos ainda sem emprego possuíam quantidades inferiores a este valor.

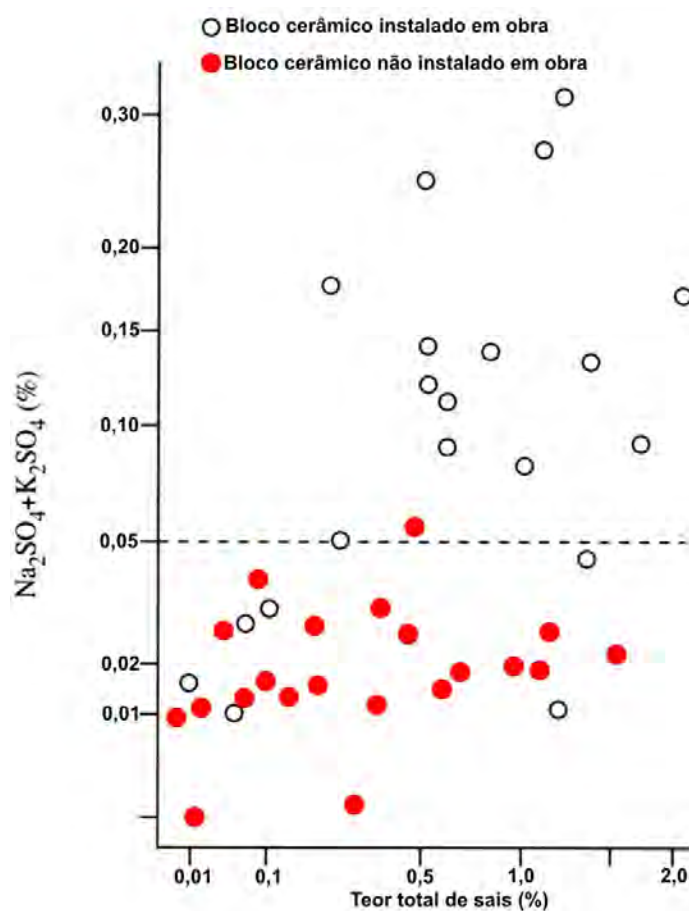


Figura 2.30 – Quantidade de Na_2SO_4 e K_2SO_4 em blocos de mesma classificação, colocados em obra e armazenados sob a intempérie (adaptado de SCHMIDT, 1963)

O valor de 0,05% é conhecido como limite de eflorescência de Lipinski. Segundo Lipinski (1955), os ladrilhos cerâmicos cuja quantidade de sulfatos mais solúveis é inferior a 0,05% não têm tendência a formar eflorescências. A ASTM INTERNATIONAL C270 (2003), por sua vez, orienta que concentrações salinas inferiores a 0,1% podem causar

eflorescências em blocos cerâmicos, enquanto Ribeiro (1996) observou que teores de sais abaixo de 0,014% não apresentaram eflorescências em blocos cerâmicos.

Cabe salientar, como exposto por Menezes et al. (2006), que a formação de eflorescências está relacionada a fatores de relativa complexidade, não sendo possível estabelecer um percentual de sais solúveis como limite único para todas as peças cerâmicas e para todas as circunstâncias. O limite de Lipinski, entretanto, dados os resultados obtidos por Schmidt (1963), deve ser considerado um relevante índice orientador.

Schmidt (1963) abordou, ainda, a interação entre o ácido clorídrico, produto normalmente utilizado na limpeza de eflorescências em fachadas de edificações, e o sulfato de cálcio. Segundo este, freqüentemente se verifica a aplicação da solução ácida sem a precaução de saturar previamente a fachada com água, acarretando em elevadas concentrações de cloretos no interior dos blocos. Estes cloretos podem incrementar a formação de eflorescências, originando-as isoladamente e pela capacidade dos cloretos alcalinos aumentarem a solubilização do sulfato de cálcio, com isso aumentando a quantidade de sais solúveis capazes de provocar eflorescências. A Figura 2.31 representa a variação da solubilidade do sulfato de cálcio por ação de hidróxido de cálcio e do cloreto de sódio. No primeiro caso, o íon comum do Ca(OH)_2 faz diminuir a solubilidade, e no segundo, a ausência de íons comuns a faz aumentar.

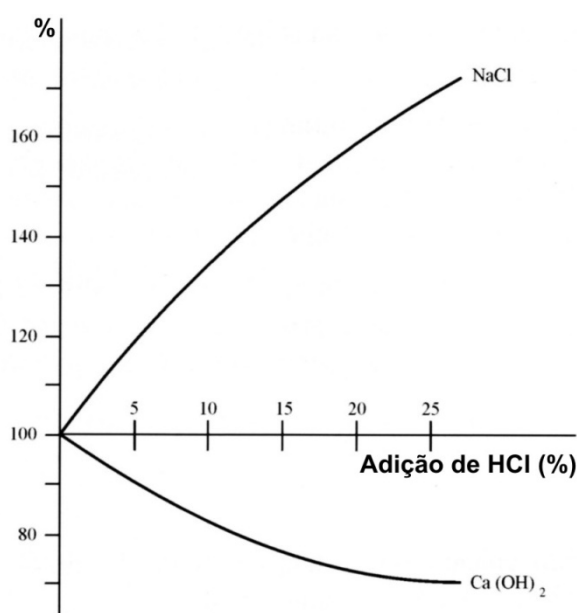


Figura 2.31 – Efeito da adição de Ca(OH)_2 e NaCl na solubilidade de CaSO_4 (adaptado de SCHMIDT, 1963)

2.3.5.4 – Processo de cristalização do sulfato de sódio

Chatterji e Jensen (1989) consideram o sulfato de sódio como um dos sais capazes de provocar maiores danos aos materiais de construção porosos, fenômeno normalmente associado à ocorrência de elevadas pressões de cristalização e hidratação (WINKLER e SINGER, 1972), motivo pelo qual é normalmente escolhido em ensaios de degradação acelerada, para estimar a durabilidade de materiais de construção (ASTM C88, 1999).

Conforme orientam Knacke e Von Erdberg (1975), o sistema $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ inclui duas fases estáveis: thenardita e mirabilita. A thenardita (Na_2SO_4) é a fase anidra, a qual precipita diretamente da solução em temperaturas superiores a $32,4^\circ\text{C}$. Abaixo desta temperatura, a fase estável é a mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a qual rapidamente desidrata em umidades relativas (h) abaixo de 71% (a 20°C) para formar thenardita. A thenardita irá reidratar para mirabilita se a umidade relativa aumentar para valores superiores a 71%. O sulfato de sódio hepta-hidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) também tem sido relacionado como produto de precipitação em temperatura abaixo do ponto de transição mirabilita/thenardita. Esta fase, entretanto, é instável e não foi claramente identificada na natureza (Braitsch, 1971). A Figura 2.32 ilustra os cristais de thenardita formados após a desidratação de cristais de mirabilita pré-existente.

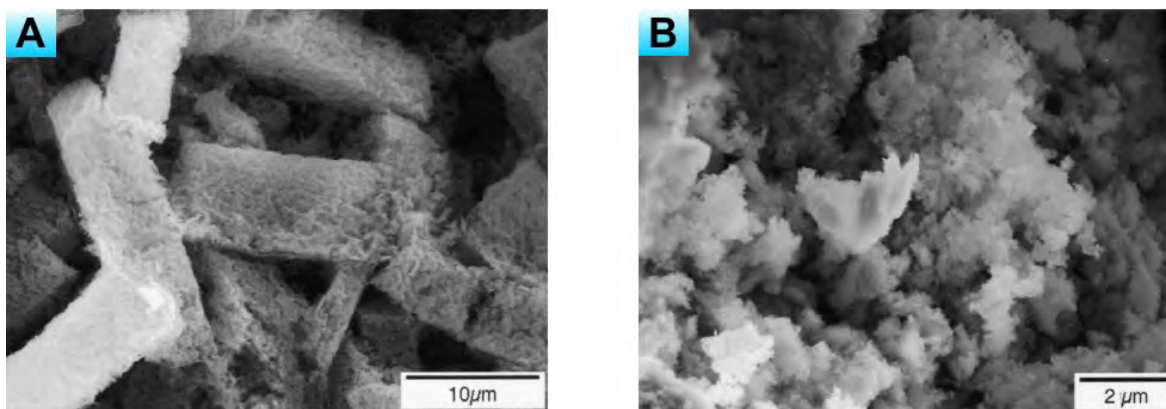


Figura 2.32 – Cristais de thenardita formados após a desidratação de cristais de mirabilita pré-existent (A – “agregados” formados; B – detalhe dos cristais) (adaptado de RODRIGUEZ-NAVARRO; DOEHNE e SEBASTIAN, 2000)

De acordo com Eysel (1973), o sulfato de sódio apresenta diversas transições polimórficas com a temperatura, sendo identificadas cinco formas (I, II, III, IV e V). À temperatura de 20°C , a fase V é reportada como estável, enquanto a fase III é instável nesta condição. As

fases I e II são formas encontradas em temperaturas elevadas (>270°C e 225°C, respectivamente), sendo que a fase II reportada como possuidora de uma reduzida zona de estabilidade. A fase IV é considerada instável, não possuindo, ainda, relação de fase e estrutura perfeitamente definidas. A Figura 2.33 ilustra as fases V (em forma de grandes cristais) e a fase III (em forma de agulhas).

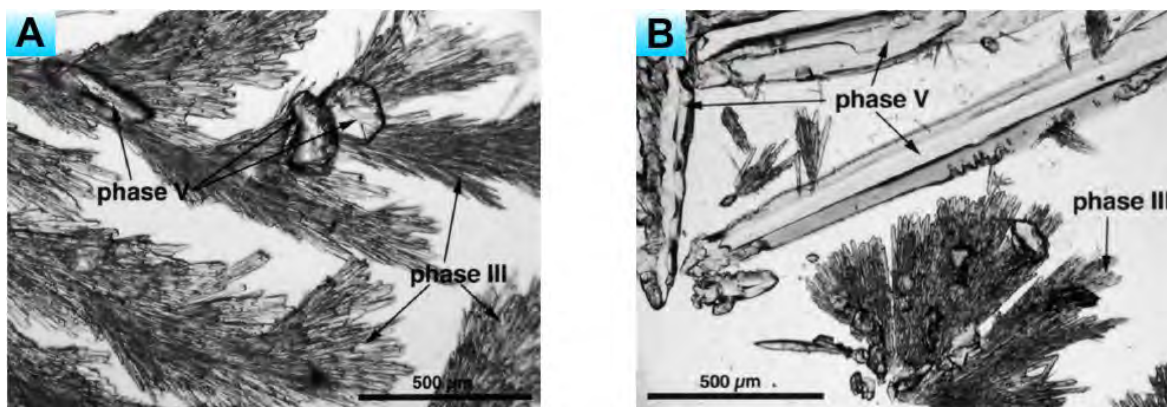


Figura 2.33 – Micrografia de cristais de thenardita precipitados a 20°C (A – h>40%; b – h = 13%) (adaptado de RODRIGUEZ-NAVARRO; DOEHNE e SEBASTIAN, 2000)

Rodriguez-Navarro; Doehne e Sebastian (2000) analisaram o processo de cristalização do sulfato de sódio, e sua interação com os mecanismos de degradação de materiais de construção. Em suas análises os mesmos apontam que as pesquisas existentes são contraditórias sobre a forma como o sulfato de sódio causa dano aos materiais porosos: diversos pesquisadores associam o dano à variação do volume do sal e à pressão de hidratação gerada quando a thenardita se transforma em mirabilita. Outros pesquisadores, entretanto, demonstram que o dano devido à pressão de cristalização é mais relevante que o dano devido à pressão de hidratação. Entretanto, a temperaturas inferiores a 32,4°C, o dano devido à pressão de cristalização tem sempre sido atribuído à precipitação da mirabilita. Salientam-se, dentre outras, as seguintes conclusões do estudo:

- sob condições reais, a thenardita (Na_2SO_4) e a mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) precipitam diretamente de uma solução saturada de sulfato de sódio, a temperatura ambiente (20°C). Com a diminuição da umidade relativa e aumento da taxa de evaporação, a proporção relativa de thenardita aumenta, sendo esta (thenardita) a fase mais abundante quando a precipitação ocorre em materiais porosos sobre reduzidos valores de umidade relativa.

- Apesar de não serem esperados cristais de thenardita quando as soluções se encontravam a temperaturas inferiores a 32,4°C, foi observada a presença de cristalização não-equilibrada, devido à nucleação heterogênea sobre suportes ricos em defeitos, característicos de materiais porosos.
- Foi observado que a precipitação de sulfato de sódio anidro ocorreu nos poros de menor diâmetro (microporos), devido à rápida evaporação (provocada pelas baixas condições de umidade relativa) e ao elevado grau de supersaturação da solução que alcançava os microporos antes da precipitação da thenardita. Este contexto resultou em elevada pressão de cristalização e danos maiores aos materiais porosos, que os normalmente provocados pela mirabilita, a qual cristaliza em taxas de supersaturação menores e geralmente como eflorescência.
- Dados do monitoramento com microscopia eletrônica não mostraram o fenômeno de hidratação da thenardita, sendo observada a dissolução desta, seguido pelo aumento da formação de cristais de thenardita juntamente com mirabilita durante a secagem.

2.3.6 – Métodos de ensaio e orientações normativas

As normas brasileiras, editadas pela ABNT, ainda não abordam as eflorescências na área da construção civil, sendo as referências normativas existentes, internacionais.

A eflorescência é, por natureza, um fenômeno complexo e sujeito a diversos fatores condicionantes, inclusive acidentais, como variações meteorológicas e o comportamento da edificação ante a presença de quantidades variáveis de água de origens diversas. Estes fatores normalmente não são previstos durante a realização de testes, motivo pelo qual ainda não foram estabelecidos métodos de ensaio que proporcionem resultados quantitativos capazes de prever, com fidelidade, a incidência de eflorescências nas obras. As referências normativas limitam-se ao aspecto qualitativo, buscando determinar a possibilidade de ocorrência ou não de eflorescências em blocos cerâmicos, normalmente empregando três métodos distintos para provocar a incidência de eflorescências:

- ensaios de “bandeja aberta” → neste método de ensaio uma das faces do bloco encontra-se em contato com água destilada armazenada em uma bandeja, a qual é aspirada por capilaridade e se evapora livremente pelas superfícies descobertas

restantes, provocando a carreação dos sais. Enquadra-se neste a ASTM INTERNATIONAL C67 (2003).

- Ensaio de “secagem orientada” → técnica de ensaio semelhante à de “bandeja aberta”, diferindo desta última pela obstrução da evaporação nas faces do bloco, com exceção da face oposta à sucção. Faz com que a água tenha que percorrer a rede capilar do bloco, conduzindo as eflorescências até uma área determinada. Enquadra-se neste a UNE 67029 (1995).
- Ensaio de “alimentação com frasco” → técnica que permite avaliar, além do potencial de eflorescência, a permeabilidade do bloco, adaptando-se um frasco contendo um volume determinado de água destilada à face superior do corpo-de-prova, fazendo com que a evaporação se realize pelas faces expostas na mesma velocidade em que a água é retirada do recipiente. Pode-se proceder ou não a obstrução da evaporação nas faces laterais e inferior do bloco. A Figura 2.34 ilustra a preparação do ensaio.

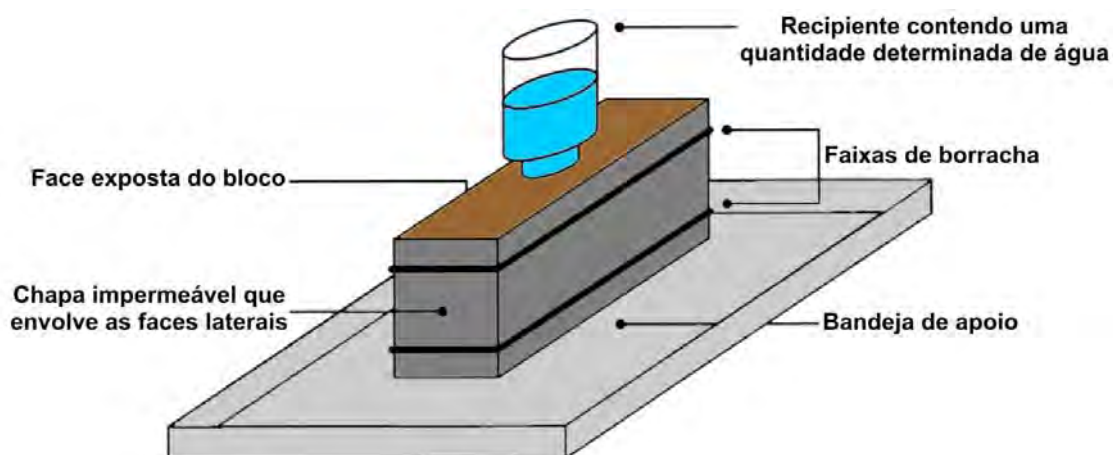


Figura 2.34 – Ensaio de determinação de potencial de eflorescência através da técnica de alimentação com frasco (adaptado de VERDUCH e SOLANA, 1999)

A norma ASTM C1400 (2001) apresenta recomendações para reduzir a eflorescência potencial em paredes de alvenaria a serem edificadas, através de detalhes construtivos como peitoris, acabamentos de chaminés e balanços, apesar de nem sempre prevenir completamente a eflorescência (como a própria norma expõe). Esta referência normativa recomenda também a execução de análise química de cimentos (sobretudo para determinar o teor de álcalis), de potencial de eflorescência em blocos e, ainda, a construção de modelos reduzidos (pequenas paredes) para avaliar a possibilidade de eflorescência.

Vale (1999) aplicou o método conhecido como “*efflorwick test*” (teste do pavio de eflorescência) para classificar o grau de eflorescência dos materiais por ele ensaiados, sendo a escala de classificação utilizada, uma adaptação da apresentada por Ribeiro (1996): 0 – superfície livre de eflorescência; 1 – muito pouco; 2 – pouco; 3 – moderado e 4 – altíssimo.

O *efflorwick test* foi desenvolvido pelo Departamento de Pesquisa do Estado de Nova York, Universidade Alfred, com a finalidade inicial de determinar as fontes de eflorescências de blocos cerâmicos. O ensaio consta de um “pavio” de material cerâmico (*wick*), que atua como indicador do potencial de eflorescência quando colocado em contato com uma solução, em água destilada, do material em ensaio, a qual é posteriormente evaporada sob temperatura controlada.

Diversos estudos fazem uso desta técnica para verificar a tendência de diferentes materiais de apresentarem eflorescências, tais como: blocos cerâmicos, argamassas, cimentos, agregados e outros materiais estruturais (Amberg e Washburn (1946); Brownell (1958a); Brownell (1958b); Ritchie (1955); Rogers (1959) e Young (1957). Inicialmente várias formas foram propostas para o *wick*, sendo a mais freqüente a de um cilindro de material cerâmico, com 50,8mm de diâmetro e 101,6mm de comprimento. As altas temperaturas de queima dos *efflorwicks*, ao passo que ocasionavam a inatividade dos sais solúveis, também proporcionavam baixos valores de absorção de água.

Amberg e Washburn (1946) sugerem os seguintes métodos para verificar a tendência eflorescente de solos, cimentos e argamassas:

- solos: o método de ensaio consiste em colocar o *wick* em um recipiente de vidro, juntamente com 50ml de água destilada, a qual é posta a evaporar em temperatura controlada. Adiciona-se, em seguida, 5g do material a ser ensaiado juntamente com 50ml de água destilada, repetindo-se o procedimento até a quantidade de 25g de material de ensaio.
- Argamassas e cimentos: a metodologia difere somente no preparo dos 25g de material a ser ensaiado. Esta quantidade de material deve ser misturada previamente e colocada ao redor da base do cilindro (*wick*), deixado endurecer durante 7 a 28 dias. Após este prazo devem ser adicionados 300ml de água, 50ml por vez, dentro de um processo de evaporação da água de saturação do *wick*.

Vickers e Moukwa (1996) analisaram diferentes métodos empregados para induzir a formação de eflorescências na superfície de blocos em laboratório. Foi observado que um procedimento utilizando-se *efflorwicks*, executado em temperaturas elevadas e baixa umidade relativa rapidamente produziu eflorescência na superfície das amostras. A taxa de formação de eflorescência foi acelerada em temperaturas elevadas com baixa umidade relativa e lenta em temperaturas baixas com elevada umidade relativa. Os *efflorwicks* são recomendados pelos autores para rápidas determinações da eficiência de mudanças no proporcionamento dos materiais, películas de barreira e aditivos anti-eflorescência.

2.3.7 – Técnicas de quantificação do teor de sais solúveis

Quatro diferentes técnicas são usualmente empregadas para quantificar os sulfatos presentes em materiais de construção civil: condutividade elétrica, teor de umidade higroscópica, eletrodo de íons seletivos e espectrofotometria.

Ribeiro (1996), Nascimento (1998) e Vale (1999) correlacionaram, com sucesso, a condutividade elétrica de extratos de diferentes materiais, como blocos cerâmicos, areia, brita e massame, com o teor presente de sais solúveis, segundo as Metodologias 2.34 a 2.40 da EMBRAPA (1997). A técnica empregada, entretanto, necessita da formulação de novas correlações a cada tipo de material a ser analisado, emprega considerável quantidade de trabalho em sua execução e impossibilita isolar a quantificação do sal de interesse.

Gonçalves e Rodrigues (2010) determinaram o teor de sais em revestimentos de argamassa através do método do teor de umidade higroscópica, (HMC), o qual corresponde à quantidade de umidade que a amostra adquire, em condições de equilíbrio, por adsorção ou dessorção da umidade do ar. O HMC varia com a temperatura e a umidade relativa do ar, sendo diretamente proporcional ao teor de sal. Tal procedimento, apesar de eficiente, demanda grande quantidade de tempo e um elevado controle da atmosfera de ensaio.

A Companhia de Saneamento do Tocantins (SANEATINS) fez uso, em suas instalações laboratoriais, de eletrodos de íons seletivos na determinação do teor de sulfatos em águas e efluentes. Durante o período de testes foi verificado pela equipe técnica um elevado coeficiente de variação dos resultados encontrados, associado à freqüente descalibragem do equipamento durante o manuseio. Frente às dificuldades encontradas, a empresa passou a empregar a espectrofotometria na quantificação do teor de sulfatos, obtendo-se, então, reduzida variação e elevada produtividade.

3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental proposto foi estruturado buscando-se abordar os principais fatores intervenientes no mecanismo de formação de florescências de sulfato de sódio em revestimentos de argamassa aplicados a substratos cerâmicos. Foram para tanto definidas as condições fixas, representadas na Figura 3.1, as variáveis independentes e seus campos de variação, conforme ilustra a Figura 3.3 e a Figura 3.4, e, em seguida, as variáveis dependentes necessárias ao estudo (Figura 3.6).

3.1 – DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO TRABALHO

Encontram-se, a seguir relacionadas, as condições fixas, as variáveis independentes, bem como as variáveis dependentes ou aleatórias propostas no programa experimental.

3.1.1 – Condições fixas

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos, foram determinadas as seguintes condições fixas: natureza do substrato, espessura da camada de revestimento e tipo da película de barreira. Estas variáveis encontram-se melhor discriminadas a seguir, bem como representadas na Figura 3.1.

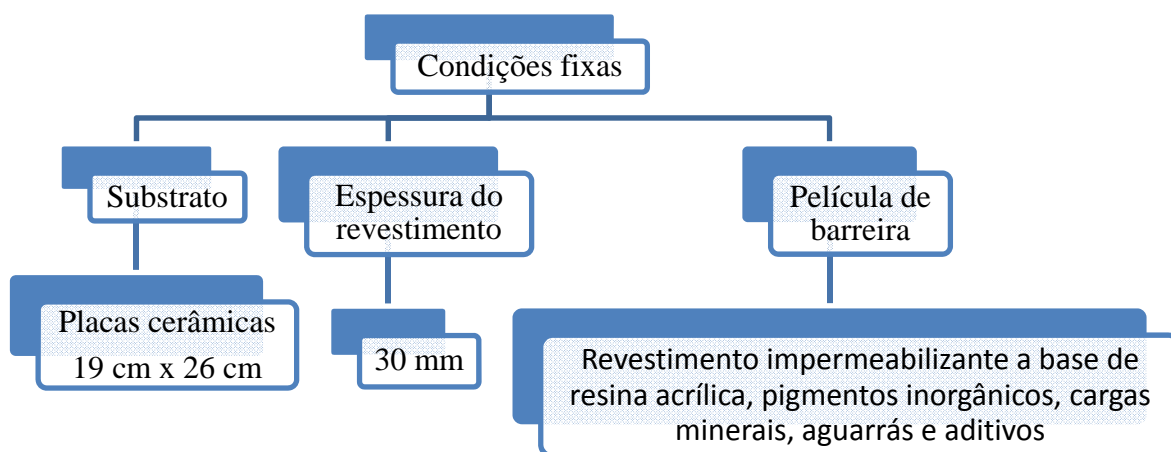


Figura 3.1 – Condições fixas do programa experimental

3.1.1.1 – Natureza do substrato

Placas cerâmicas inicialmente com dimensões de 19 cm x 29 cm, obtidas a partir do seccionamento de canaletas cerâmicas para alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, conforme ilustra a Figura 3.2. Antes da moldagem estas placas tiveram seu comprimento reduzido em 3 cm para retirada de amostras para avaliação de porosimetria e teor inicial de sulfatos, resultando em placas de 19 cm x 26 cm.

O substrato foi escolhido devido à crescente utilização em Palmas, região da coleta dos materiais empregados neste procedimento experimental, do sistema construtivo de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, sobretudo em edifícios de cunho social, até quatro pavimentos. Aliado a esse fator, observa-se que eflorescências cujos sais são compostos por sulfatos (de magnésio, cálcio, potássio e sódio), têm sua origem geralmente associada a materiais cerâmicos cujos fornos não foram capazes de fornecer uma temperatura adequada de cozimento ou são originados por reações entre o substrato cerâmico e os constituintes da argamassa.



Figura 3.2 – Substrato cerâmico empregado

3.1.1.2 – Espessura da camada de revestimento

Foi empregada a espessura de revestimento de 3 cm, já utilizada anteriormente por Paes (2004), e especificada como limite pela NBR 13749 (1996), para paredes externas. Durante a execução uniformizou-se a altura e energia de aplicação das argamassas em 50 cm.

Segundo Paes (2004), a altura de queda de 50 cm foi a que obteve resultados de densidade da argamassa mais condizentes com os valores de referência, tomados através de um revestimento executado por profissional da área.

3.1.1.3 – Tipo de película de barreira

Revestimento impermeabilizante, a base de resina acrílica, pigmentos inorgânicos, cargas minerais, aguarrás e aditivos, comercialmente conhecido como Aquabloc[®], produzido pela Empresa Tintas Renner. A preparação do substrato seguiu as recomendações contidas no boletim técnico fornecido pelo fabricante para o produto (TINTAS RENNER, 2006). A caracterização do revestimento impermeabilizante foi realizada com infravermelho.

Buscou-se, na escolha da película de impermeabilização, um produto que conciliasse a fácil aquisição, previsão de elevado desempenho e largo emprego no mercado.

3.1.2 – Variáveis independentes

As variáveis independentes, relacionadas à composição das argamassas e ao meio no qual as séries foram testadas, encontram-se relacionadas a seguir, bem como ilustradas na Figura 3.3 e na Figura 3.4.

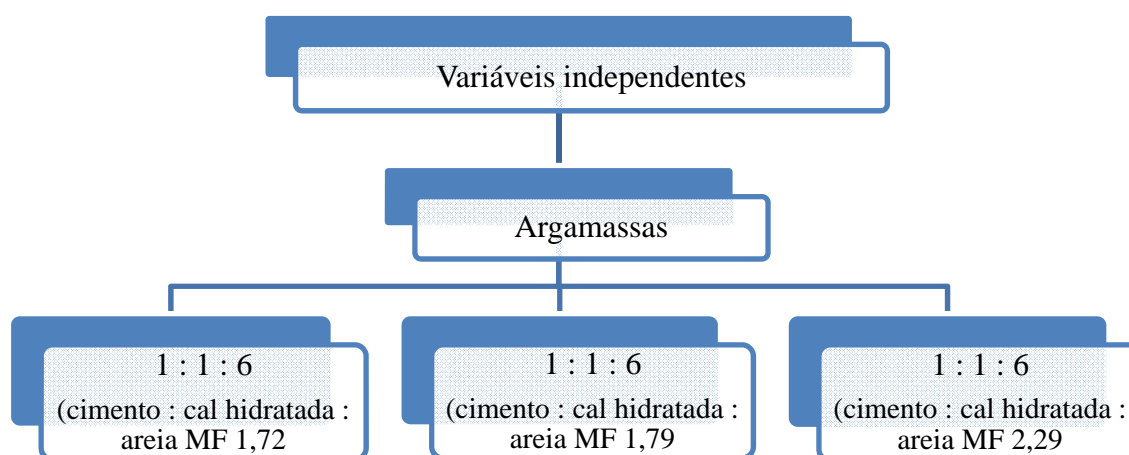


Figura 3.3 – Variáveis independentes do programa experimental – argamassa

Argamassas mistas de cimento Portland CP IV-32^{3.1} e cal hidratada CH-I^{3.2}, empregando três diferentes granulometrias de areia de rio lavada, sempre no traço em volume 1:1:6

^{3.1} Aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e materiais pozolânicos, moídos em conjunto ou em separado, podendo-se adicionar uma ou mais formas de sulfato de cálcio e materiais carbonáticos. O teor de materiais pozolânicos secos encontra-se compreendido entre 15% e 50% da massa total de aglomerante (NBR 5736, 1991).

^{3.2} Cal hidratada constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, com teor de óxidos totais acima de 90%; máximo de 5% de CO₂ e teor de óxidos

(cimento : cal hidratada : areia). O teor de ar incorporado foi mensurado através do método pressiométrico, buscando-se que o mesmo não ultrapassasse o limite de 16%, recomendado por Boynton e Gutschick (1964).

Foram selecionadas areias com módulos de finura (MF) iguais a 1,72; 1,79 e 2,29, com a finalidade de avaliar o efeito da distribuição dos poros no mecanismo de formação de fluorescência de sulfato de sódio.

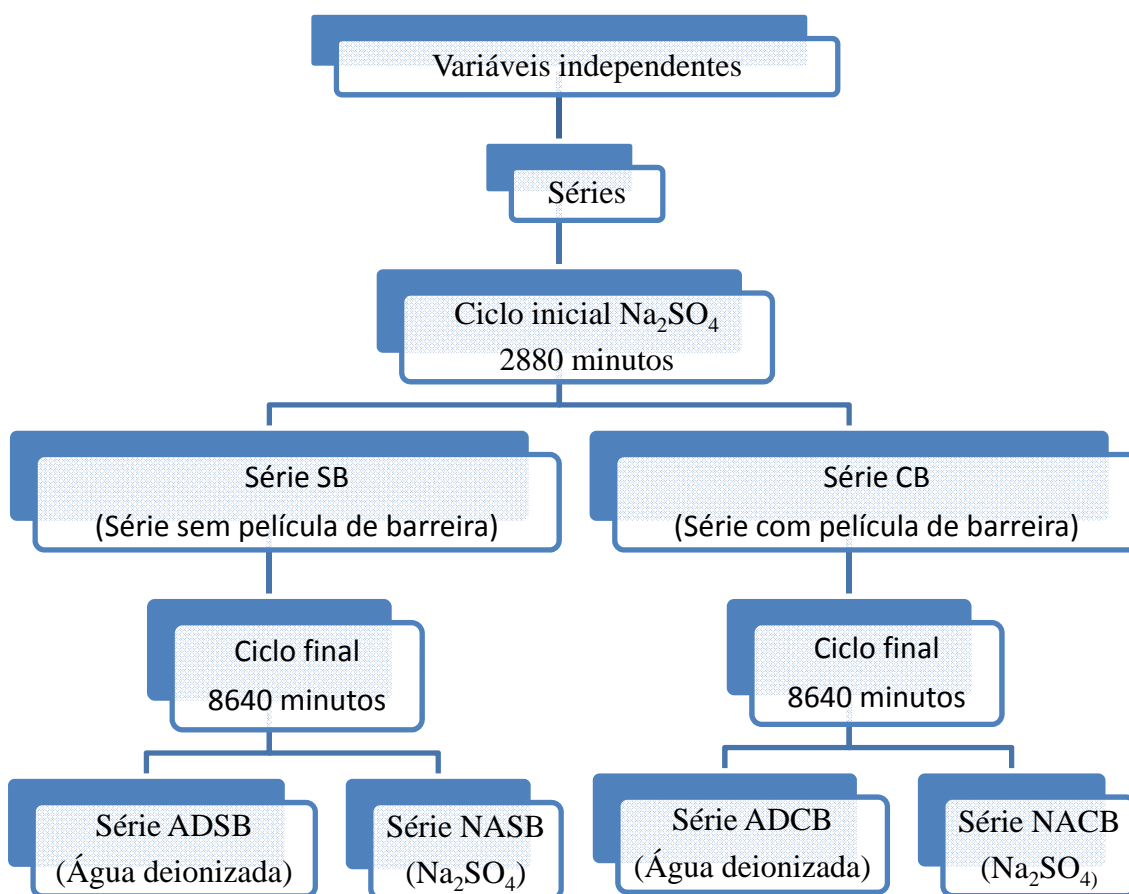


Figura 3.4 – Variáveis independentes do programa experimental – meio de exposição

A maioria das fluorescências em blocos cerâmicos é composta por sulfatos, sobretudo de metais alcalinos. A escolha do sal a ser empregado buscou conciliar elevada frequência em blocos cerâmicos, altas solubilidade e pressão de cristalização quando da formação de subflorescências, intensa formação de eflorescências e menor intervenção dos demais compostos eventualmente presentes no substrato e nas argamassas, segundo

de cálcio e magnésio não hidratado calculado inferior a 10% (NBR 7175, 2003) (CINCOTTO; QUARCIONI e JOHN, 2007).

Muzzin (1982), Rodriguez-Navarro; Doehne e Sebastian (2000), Schmidt (1963), Uemoto (1988) e Verduch e Solana (2000). Salienta-se, ainda, que o sal escolhido, juntamente com o cloreto de sódio são os sais mais frequentemente empregados em ensaios laboratoriais de cristalização (GONÇALVES e RODRIGUES, 2010).

As séries, juntamente com os corpos-de-prova de caracterização das argamassas, após a moldagem, foram submetidas à cura úmida durante 15 dias, como ilustra a Figura 3.5. Após este período, as mesmas ficaram expostas à atmosfera do laboratório até completarem 28 dias. À medida que atingiam esta idade, os mesmos tinham a hidratação do cimento interrompida através de secagem em estufa.



Figura 3.5 – Cura úmida dos corpos-de-prova

Após este processo, as séries foram inicialmente submetidas a uma solução saturada de sulfato de sódio durante 48 horas (2880 minutos). Decorrido este prazo, foi registrada a configuração superficial (imagens das fissuras e eflorescências formadas), mensurada a massa de sal eflorescida e os mesmos foram novamente secos em estufa. Após a secagem as séries ADCB e NACB foram submetidas à aplicação da película de barreira. Ao fim do período de formação da película, as séries foram expostas à água deionizada ou à solução saturada de sulfato de sódio, sendo então analisadas durante 144 horas (8640 minutos).

3.1.3 – Variáveis dependentes

As variáveis dependentes são relacionadas com a distribuição dos poros, a absorção de água e o teor de sulfatos das argamassas anteriormente à exposição ao ciclo inicial, bem como à superfície eflorescida ao longo do tempo, à massa de sal eflorescido e com o teor

de sulfatos após o contato com a solução saturada de sulfato de sódio. Estas variáveis encontram-se melhor discriminadas a seguir, bem como representadas na Figura 3.6.

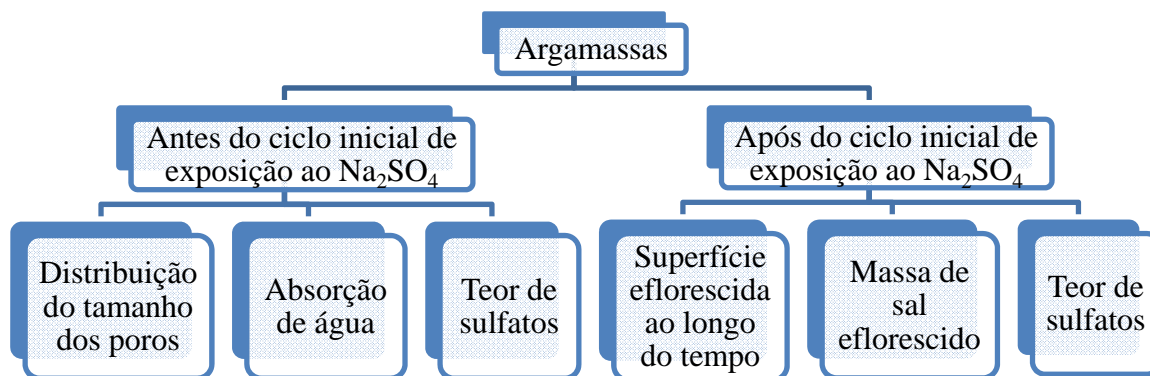


Figura 3.6 – Variáveis dependentes do programa experimental – argamassa

No estado endurecido, antes do contato com a solução salina, características quanto à distribuição do tamanho dos poros através da técnica de porosimetria por intrusão de mercúrio; absorção de água livre (absorção de água por imersão, segundo a NBR 9778 (2005) e a absorptividade^{3.3}), bem como determinação do teor de sulfatos através de espectrofotometria.

Ainda no estado endurecido, após o contato com a solução salina, determinação da superfície eflorescida ao longo do tempo de exposição através da avaliação digital das imagens; da massa de sal eflorescido através de remoção mecânica e posterior filtração e do teor de sulfatos através de espectrofotometria.

3.2 – DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

Encontram-se, a seguir, os estudos-piloto conduzidos previamente à execução dos ensaios principais, os quais forneceram informações para a definição da metodologia e dos materiais a serem empregados, bem como a caracterização dos materiais e a descrição dos procedimentos metodológicos empregados na avaliação das florescências.

^{3.3} A absorptividade corresponde ao coeficiente angular da reta $i \times t^{1/2}$, onde i é a razão entre a massa acumulada de água adsorvida e a área da face de entrada do fluxo. A absorptividade também pode ser vista como uma grandeza que avalia indiretamente a velocidade do fluxo de água para o interior da microestrutura nos instantes iniciais, enquanto a reta apresenta linearidade.

3.2.1 – Estudos-piloto

Os estudos-piloto tiveram por objetivo a determinação da técnica a ser empregada na quantificação dos sulfatos para futura elaboração dos perfis de distribuição, a seleção dos substratos cerâmicos a serem empregados na confecção das séries, conforme suas características de absorção de água, bem como a determinação do tempo necessário aos ciclos de exposição das séries.

3.2.1.1 – Adaptação da técnica de quantificação do teor de sulfatos e preparo de amostras

Face às observações coletadas na bibliografia e junto ao laboratório de análise de águas e efluentes da SANEATINS, optou-se pelo uso da espectrofotometria na quantificação do teor de sulfatos nas amostras, sendo, para tanto, empregado um espectrofotômetro da Hach Company, modelo DR 4000, com comprimento de onda de 450nm e faixa de detecção de 0 a 70mg/l de sulfato. Foram empregados reagentes específicos para determinação de sulfatos, a base de cloreto de bário e ácido cítrico, para amostras de 25ml, com método de determinação adaptado do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, editado por Clesceri; Greenberg e Eaton (1999). A Figura 3.7 ilustra o equipamento utilizado, o qual foi também empregado na determinação da turbidez das amostras.



Figura 3.7 – Espectrofotômetro Hach Company, modelo DR 4000

Uma vez que parte dos substratos selecionados para a pesquisa apresentava manchas indicativas de falha do processo de queima, foram selecionadas duas placas, uma com manchas indicativas e outra sem, a fim de determinar a efetividade do processo de preparação das amostras para determinação do teor de sulfatos, bem como possíveis variações do teor apresentado. A Figura 3.8 ilustra as placas selecionadas.

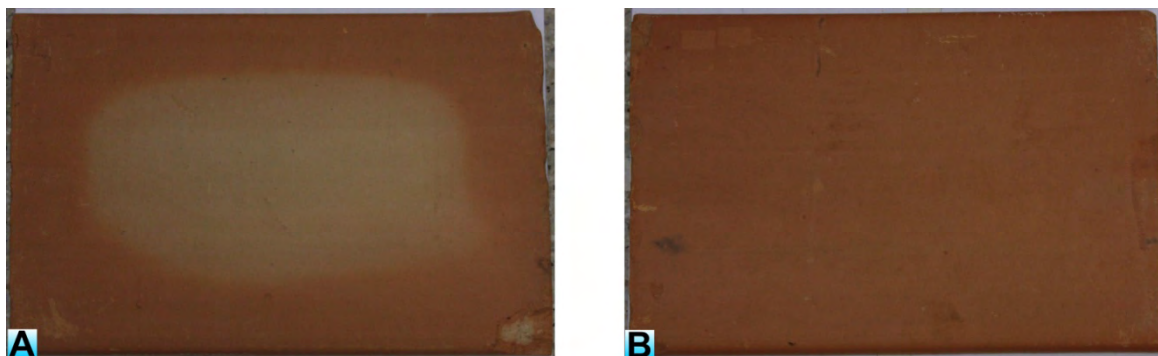


Figura 3.8 – Substratos empregados na determinação da técnica de quantificação do teor de sulfatos e preparo de amostras (A – com manchas de falha de queima e B – sem manchas de falha de queima)

Empregou-se, na trituração inicial dos substratos, um triturador de amostras capaz de obter partículas com diâmetro inferior a 0,150 mm, representado pela Figura 3.9. Após a trituração, foram adicionadas 50g de cada amostra a 500 ml de água destilada, com teor de sulfatos previamente aferido, obtida de um destilador QUIMIS modelo Q34125, ilustrado na Figura 3.10. As soluções assim obtidas foram agitadas, postas a descansar por 2 horas e então filtradas em papel filtro de 45 nm até obter turbidez inferior a 45 FAU^{3.4}. A Figura 3.11 apresenta as soluções obtidas e a técnica de filtragem empregada.

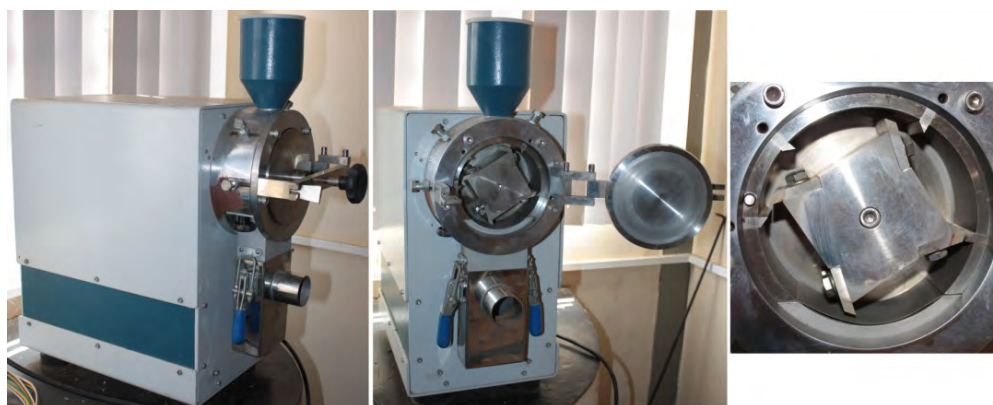


Figura 3.9 – Triturador de amostras

^{3.4} O método FAU é sugerido pela Hach Company. A leitura é realizada através de espectrofotômetro Hach e sua unidade é expressa em unidades de atenuação da formazina (FAU). A Turbidez máxima medida por esse método é de 450 FAU.



Figura 3.10 – Destilador QUIMIS modelo Q34125

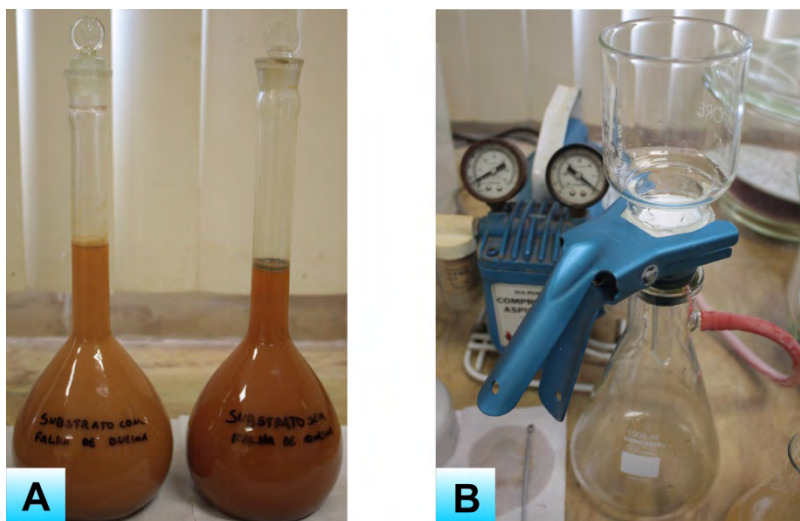


Figura 3.11 – Extração dos sais solúveis (A – soluções obtidas e B – técnica de filtração empregada)

Após as filtrações, obteve-se o teor de 0,0212 % de SO_4^{-2} para o substrato sem manchas indicativas de falha de queima, e 0,0120 % de SO_4^{-2} , para o substrato com manchas indicativas de falha de queima, ambos em relação à massa da amostra. Todos os resultados ficaram abaixo do limite de eflorescência de Lipinski (0,05 %).

Como a argila das placas provém da mesma jazida, e as mesmas foram confeccionadas pela mesma indústria, associa-se a elevada variação dos resultados (76,7 %) à maior oxidação dos sulfetos a sulfatos ocorrida no forno, quando da queima das placas. Este resultado indica, também, a impossibilidade de se adotar um valor médio representativo do teor de sulfato de todos os substratos, sendo necessária sua determinação individual.

Observou-se que a técnica de trituração empregada, apesar de eficaz, acarretou em grande perda de material, pela elevada quantidade de partículas em suspensão no ar e aderidas ao mecanismo do equipamento. Como a continuidade da análise dos substratos e argamassas previa a disponibilidade de amostras de volume reduzido, decidiu-se pela trituração das amostras futuras em almofariz, conforme a Figura 3.12.



Figura 3.12 – Almofariz empregado na trituração das amostras de argamassa e substrato

Observou-se que a água apenas destilada, empregada na análise inicial, apresentava elevada condutibilidade elétrica ($22,7 \mu\text{S}/\text{cm}$), não atendendo às prescrições da ASTM INTERNATIONAL D516 (2002), a qual especifica que a pureza da água empregada na análise de íons sulfato deve ser equivalente às águas do “Tipo I” ou do “Tipo II”, referenciadas na ASTM D1193 (1999), a qual discrimina a condutibilidade máxima de $0,056 \mu\text{S}/\text{cm}$ para água grau reagente “Tipo I” e $1,0 \mu\text{S}/\text{cm}$ para água grau reagente “Tipo II”. Para atender às prescrições de norma foi montado um sistema de filtração / deionização da água em série com o destilador, a qual resultou em uma condutividade elétrica máxima de $0,5 \mu\text{S}/\text{cm}$, medida em um condutivímetro digital Lutron, modelo CD-4303. A Figura 3.13 ilustra a análise de condutividade e a Figura 3.14 o sistema de filtração / deionização.



Figura 3.13 – Condutividade elétrica da água empregada na análise do teor de sulfatos (A – água destilada e B – água filtrada, destilada e deionizada)



Figura 3.14 – Sistema de deionização / filtração

A técnica empregada na extração do sulfato, embora eficaz, demandava um intervalo de tempo relativamente longo, o que inviabilizaria a análise dos corpos-de-prova, dado o elevado volume de amostras. Buscando-se reduzir o período de espera, mantendo a eficiência da extração, foram realizados testes em que as amostras foram aquecidas a uma temperatura média de 67 °C e mantidas em agitador magnético por períodos de tempo de 5 a 60 minutos, sendo então filtradas até obter turbidez inferior a 45 FAU e atingindo a temperatura ambiente antes da exposição ao espectrofotômetro. Observou-se que um período de 15 minutos para a argamassa e de 20 minutos para o substrato era suficiente para a determinação. A Figura 3.15 ilustra este procedimento.



Figura 3.15 – Procedimento empregado na extração do sulfato das amostras

3.2.1.2 – Caracterização da absorção dos substratos – taxa inicial de absorção de água livre (AAI), absorção capilar de água livre (ao longo do tempo), absorvidade e índice de absorção de água

A caracterização da capacidade de absorção de água dos substratos encontra-se no APÊNDICE B da presente tese. A mesma foi conduzida de forma individual, buscando-se determinar o comportamento de cada substrato disponível para, então, selecionar as placas de comportamento semelhante para emprego no programa experimental. Foram empregadas, neste pré-ensaio, as recomendações de procedimento de Paes (2004).

Os ensaios realizados na caracterização dos componentes foram o AAI (absorção de água inicial), especificado pela norma NBR 15270-3 (2005) e também conhecido como IRA (*Initial Rate Absorption*); a absorção de água livre ao longo do tempo e o índice de absorção de água, também conforme especificado pela norma NBR 15270-3 (2005).

Os ensaios de AAI e absorção de água ao longo do tempo foram realizados em um tanque com área em planta superior a 2500 cm², dentro do qual foram inseridos suportes que possibilitassem manter sempre constante a pequena lâmina de água (3 ± 0,2 mm) na qual a face da placa ensaiada permanecia em contato. No caso específico, a face da placa ensaiada foi a mesma que seria revestida.

O ensaio foi conduzido segundo as especificações da norma NBR 15270-3 (2005), sendo o AAI calculado conforme a Equação 3.1.

$$AAI \left(\frac{\text{g}}{193,55 \text{ cm}^2 / \text{min}} \right) = 193,55 * \frac{\Delta p}{\text{Área}} \quad \dots(3.1)$$

Onde:

AAI (ou IRA) é o índice/taxa de absorção inicial de água livre;

Δp é a variação de massa, em gramas;

Área é a área líquida ensaiada, em centímetros quadrados.

Imediatamente após os procedimentos para a determinação do AAI, deu-se seguimento ao ensaio, de forma a se obter a absorção capilar de água livre das placas (ao longo do tempo) e sua absorvidade (S).

Os tempos adotados no ensaio de absorção de água livre ao longo do tempo foram baseados nos estudos de Paes (2004), que utiliza intervalos menores de determinação nos

instantes iniciais, devido à maior absorção de água dos substratos nos primeiros 30 minutos. Foram empregados os seguintes intervalos de tempo, em minutos: 1 (AAI), 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 50, 65, 80, 95, 110, 135, 210, 300, 1440 (24 horas), 2880 (saturado). Após a saturação, os substratos foram novamente secos em estufa.

Com os resultados obtidos, foi calculada a absorvidade dos substratos, através da Equação 3.2. O APÊNDICE B apresenta as propriedades determinadas para os substratos ensaiados. Posteriormente foi traçado o perfil da evolução da absorção de água em função da raiz quadrada do tempo o qual se encontra ilustrado na Figura 3.16.

$$i = S * \sqrt{t} \quad \dots (3.2)$$

Onde:

i é o volume de água absorvida por unidade de área (mm^3/mm^2);

S é o coeficiente de absorção de água, “absorvidade” ($\text{mm}/\sqrt{\text{min}}$);

t é o tempo (min).

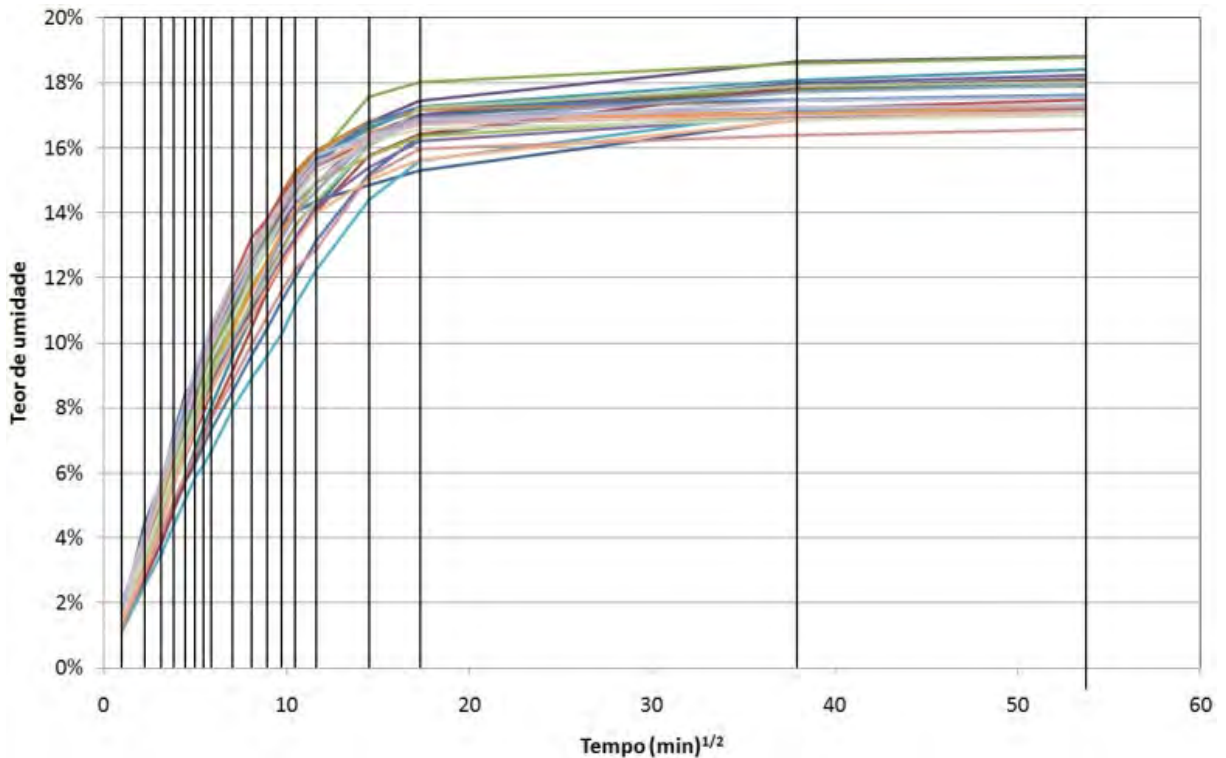


Figura 3.16 – Absorção de água ao longo do tempo dos substratos cerâmicos

A partir dos resultados obtidos, foi elaborada uma curva média de absorção de água para o substrato analisado. A partir dessa curva média, os substratos escolhidos não poderiam exceder a um desvio superior ou inferior a 1 % da curva média. Por meio deste critério, foi separado o lote de placas cerâmicas (12 unidades) a ser empregado no Programa

Experimental, com suas respectivas faixas de absorção de água, conforme mostrado na Figura 3.17 e na Figura 3.18.

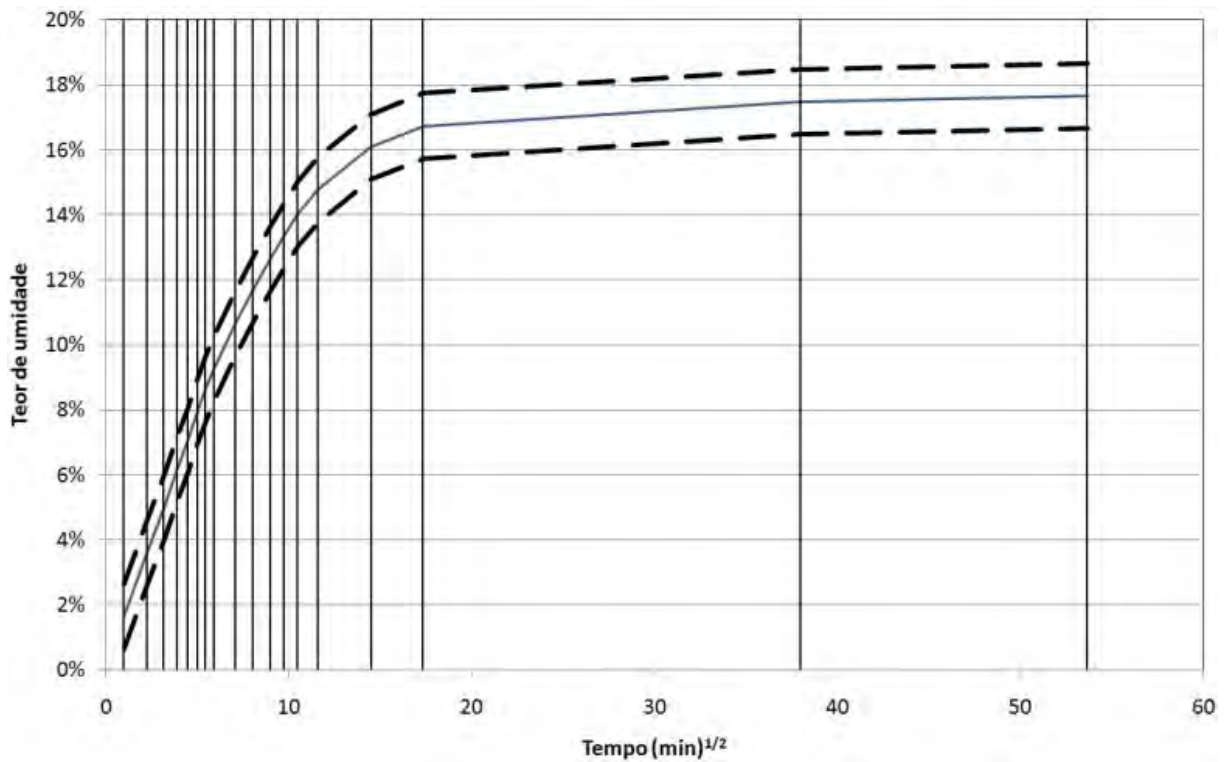


Figura 3.17 – Absorção de água ao longo do tempo dos substratos cerâmicos – curva média e intervalo de resultados a ser empregado

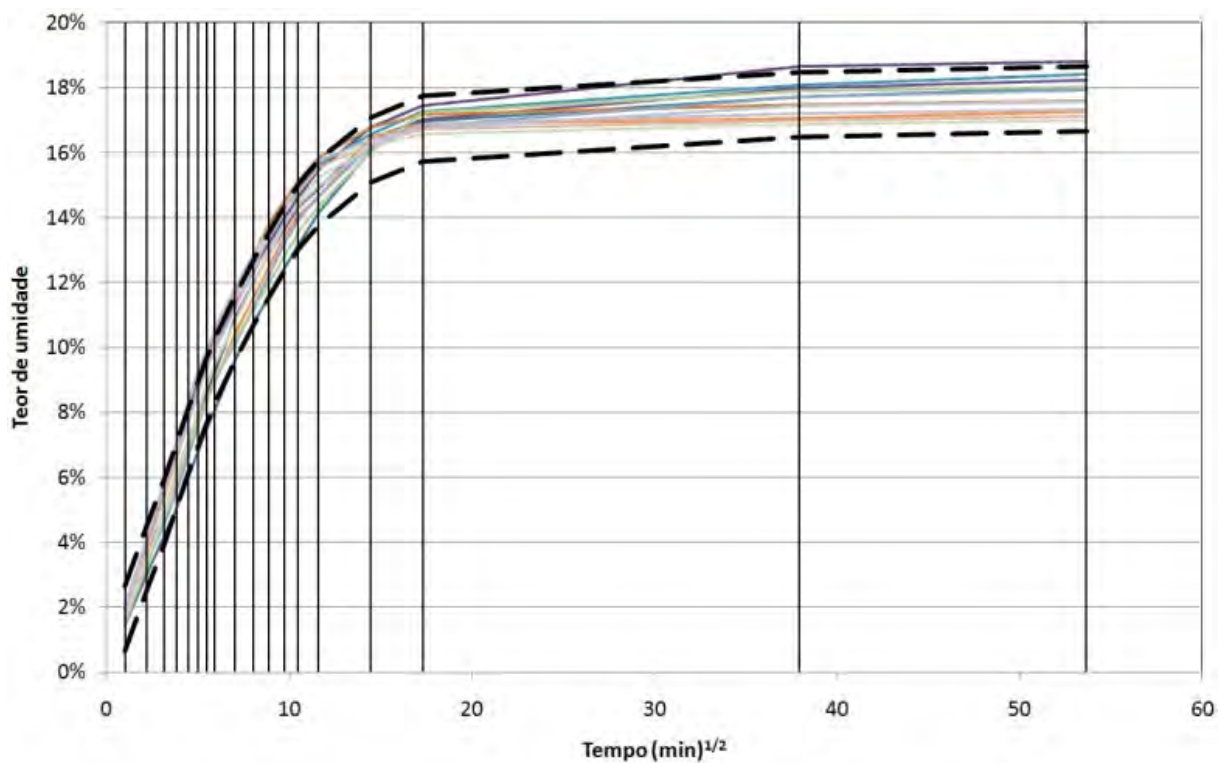


Figura 3.18 – Absorção de água ao longo do tempo dos substratos cerâmicos – curva dos substratos selecionados e intervalo de valores válidos

3.2.1.3 – Determinação do tempo necessário de exposição inicial dos corpos-de-prova

Buscando-se determinar o tempo mínimo necessário de exposição inicial dos corpos-de-prova à solução saturada de Na_2SO_4 , foi caracterizada a capacidade de absorção de água dos mesmos, de forma individual, ao longo do tempo, a qual encontra-se no item 4.1 – Perfil de absorção de água das séries e no APÊNDICE C da presente tese. As séries foram posicionadas sobre suportes em vidro com 3 mm de altura e a temperatura ambiente foi mantida constante em 23 °C.

No acompanhamento da ascensão da franja de umidade foi empregada uma fonte com tensão de 5 V e corrente contínua de 3 A, ligada em série com um amperímetro, responsável pelo registro da corrente que passava pelos sensores, ilustrados na Figura 3.37. O monitoramento da corrente foi realizado, até o tempo de 300 minutos, paralelamente à determinação da massa, seguindo os intervalos de tempo já apresentados no item 3.2.1.2 – Caracterização da absorção dos substratos – taxa inicial de absorção de água livre (AAI), absorção capilar de água livre (ao longo do tempo), absorvidade e índice de absorção de água. Após 300 minutos de exposição, o intervalo entre as leituras passou a ser de 30 minutos, até a indicação de corrente pelos sensores. A Figura 3.19 ilustra o procedimento empregado e, a Figura 3.20, o acompanhamento da franja de umidade ao longo do tempo, para a média das séries confeccionadas.

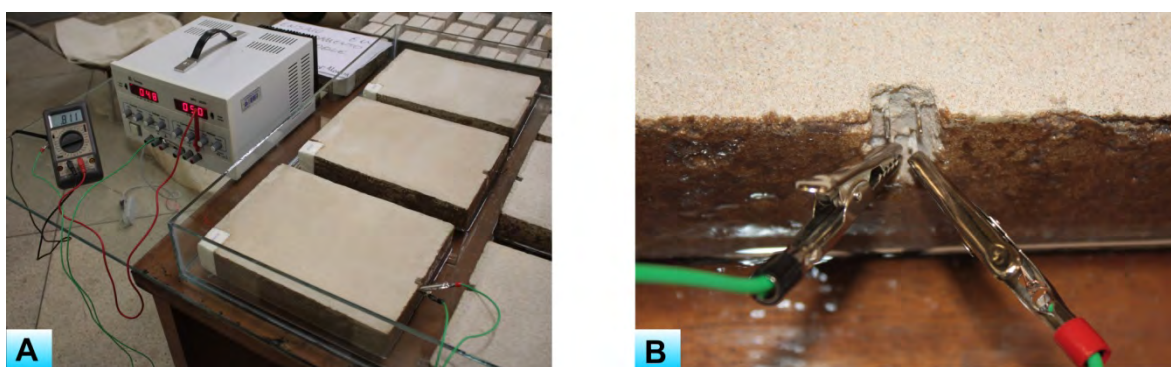


Figura 3.19 – Monitoramento da corrente elétrica para acompanhamento das franjas de umidade (A – estrutura do ensaio e B – detalhe da ligação dos eletrodos)

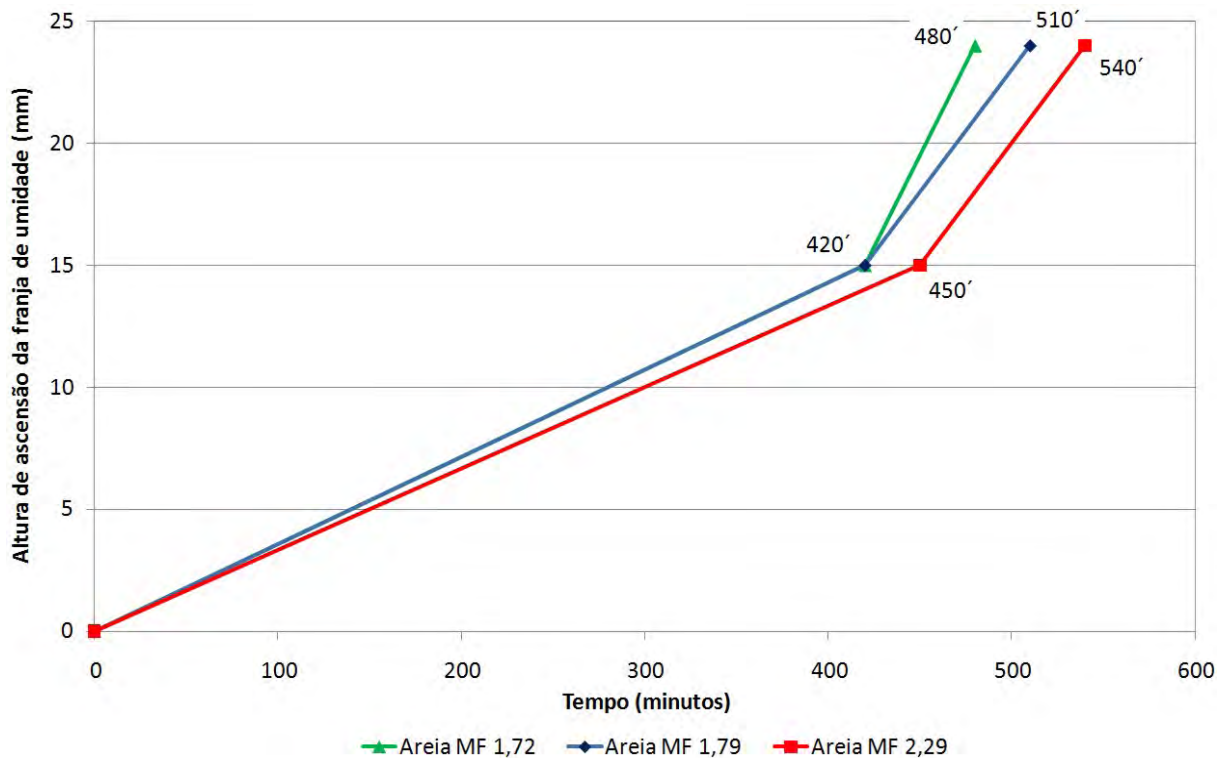


Figura 3.20 – Ascensão da franja de umidade ao longo do tempo – média das séries

Os sensores, instalados a alturas (a partir do substrato cerâmico) de 15 mm e 24 mm, indicaram a presença de umidade, como esperado, após 300 minutos (420 minutos para as argamassas confeccionadas com areias de MF 1,72 e 1,79, e 450 minutos para argamassas confeccionadas com areia de MF 2,29). Após a indicação inicial de leitura, as mesmas progrediram rapidamente ao próximo sensor (localizado a 24 mm), com indicações a 480 minutos (MF 1,72), 510 minutos (MF 1,79) e 540 minutos (MF 2,29). Manchas indicativas de umidade foram observadas a partir de 600 minutos na superfície de todos os corpos-de-prova.

Os resultados obtidos permitiram concluir que o fluxo de água percorreu o trajeto previamente definido, atingindo a argamassa (mesmo a que ofereceu maior resistência ao transporte da umidade) em tempo hábil (inferior a 450 minutos). Observa-se ainda a possibilidade de inclusão de operações de secagem em estufa, a intervalos de 600 minutos, para acelerar o processo de formação de depósitos salinos na superfície dos corpos-de-prova, caso necessário durante os procedimentos.

3.2.2 – Caracterização dos materiais empregados

Foram empregados, como substratos, placas cerâmicas de 19 cm x 26 cm, obtidas a partir do seccionamento de canaletas para alvenaria estrutural, segundo os critérios apresentados no item 3.1.1.1 – Natureza do substrato. Foram empregados, ainda, os seguintes materiais: cimento Portland CPIV-32 RS, cal hidratada CH-I (sem aditivo) e três areias naturais com módulos de finura 1,72, 1,79 e 2,29. Todos os agregados foram procedentes de depósitos aluviais do Rio Tocantins, em Palmas - TO. Estes materiais foram escolhidos por serem comumente utilizados na execução de revestimentos em argamassa e facilmente adquiridos na região onde foi realizada a pesquisa. Cabe ressaltar que algumas das normas utilizadas nas caracterizações dos materiais podem ter sofrido reformulações.

3.2.2.1 – Cimento Portland

O cimento empregado na confecção das argamassas foi da marca Tocantins, produzido pela fábrica de cimento Votorantim (Grupo Votorantim), localizada em Xambioá - TO, tendo sido adquirido no comércio local da cidade de Araguaína - TO, em sacos de 50 kg de um mesmo lote (L001 221004). A utilização desse cimento se justifica por apresentar características, que atendem às exigências necessárias ao uso. A Tabela 3.13 apresenta a caracterização física e a Tabela 3.14 a análise química do cimento empregado. As referências encontram-se de acordo com as prescrições da NBR 5736 (1991).

Tabela 3.13 – Caracterização física do cimento Portland CP IV

Característica determinada		Método de ensaio	Referência de norma	Resultado obtido
Massa específica real		NBR NM 23 (2001)	-	3,03 g/cm ³
Finura	Resíduo na peneira 200	NBR 11579 (1991)	< 8,0 %	0,79 %
	Resíduo na peneira 325	NBR 12826 (1993)	-	4,81 %
	Área específica	NBR NM 76 (1998)	-	5425 cm ² /g
Tempos de pega	Início de pega	NBR NM 65 (2003)	> 60 min	190 min
	Fim de pega		< 720 min	252,5 min
Expansibilidade a quente		NBR 11582 (1991)	< 5 mm	0 mm
Resistência à compressão	3 dias	NBR 7215 (1996)	> 10 MPa	21,10 MPa
	7 dias		> 20 MPa	30,59 MPa
	28 dias		> 32 MPa	48,13 MPa

Tabela 3.14 – Análise química do cimento Portland CP IV

Característica determinada	Método de ensaio	Referência de norma	Resultado obtido
Perda ao fogo	NBR NM 18 (2004)	< 4,5 %	4,03 %
Resíduo insolúvel	NBR NM 15 (2004)	-	26,97 %
Trióxido de enxofre (SO ₃)	NBR NM 16 (2004)	< 4,0 %	2,54 %
Óxido de magnésio (MgO)	NBR NM 11-2 (2009)	< 6,5 %	3,18 %

3.2.2.2 – Cal hidratada

A cal utilizada na composição das argamassas mistas foi do tipo CH-I, da marca Fortex, produzida pela Fillercal Rio Formoso Ltda., localizada em Formoso do Araguaia - TO. Esse material foi adquirido no comércio local da cidade de Palmas - TO, em sacos de 20 kg, de um mesmo lote. A Tabela 3.15 apresenta a caracterização física e a Tabela 3.16 a análise química da cal hidratada empregada. As referências encontram-se de acordo com as prescrições da NBR 7175 (2003).

Tabela 3.15 – Caracterização física da cal hidratada CH-I

Característica determinada	Método de ensaio	Referência de norma	Resultado obtido
Massa específica real	NBR NM 23 (2001)	-	2,22 g/cm ³
Finura – resíduo na peneira 200	NBR 9289 (2000)	≤ 10 %	6,78 %

Tabela 3.16 – Análise química da cal hidratada CH-I

Característica determinada	Método de ensaio	Referência de norma	Resultado obtido
Umidade	NBR 6473 (2003)	-	0,28 %
Perda ao fogo	NBR 6473 (2003)	-	28,4 %
Sílica + resíduo insolúvel (SiO ₂ + RI)	NBR 6473 (2003)	-	3,67 %
Óxidos de ferro e alumínio (Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	NBR 6473 (2003)	-	1,00 %
Óxido de cálcio (CaO)	NBR 6473 (2003)	-	40,8 %
Óxido de magnésio (MgO)	NBR 6473 (2003)	-	26,3 %
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	NBR 6473 (2003)	-	0 %
Anidrido carbônico (CO ₂)	NBR 6473 (2003)	≤ 5 % na fábrica ≤ 7 % no depósito	3,82 %
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratados (CaO + MgO)	NBR 6473 (2003)	≤ 10 %	3,39 %
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO + MgO)	NBR 6473 (2003)	≥ 90 %	93,7 %

3.2.2.3 – Agregados

Como agregados, foram empregados na composição das argamassas duas areias naturais, provenientes do Rio Tocantins, sendo adquiridas no comércio local da cidade de Palmas - TO.

Os agregados utilizados inicialmente passaram por processo de secagem e determinação granulométrica, cujos relatórios específicos encontram-se no APÊNDICE A da presente tese, possuindo módulos de finura (MF) iguais a 1,80 e 2,44. Posteriormente foi realizado um peneiramento, onde foram desprezados os grãos com diâmetro superior a 2,4mm, com a finalidade de obter agregados mais condizentes com os normalmente empregados em argamassas. Estes agregados foram então combinados na proporção de 1:1 em massa, resultando em três diferentes amostras, com módulos de finura iguais a 1,72, 1,79 e 2,29. A Tabela 3.17 apresenta a composição granulométrica dos agregados empregados, a qual encontra-se ilustrada na Figura 3.21. A Tabela 3.18 apresenta os demais ensaios de caracterização dos agregados empregados. As referências encontram-se de acordo com as prescrições da NBR 7211 (2005).

Tabela 3.17 – Composição granulométrica dos agregados empregados

Peneira	Porcentagem retida acumulada média		
	Areia MF = 1,72	Areia MF = 1,79	Areia MF = 2,29
2,4 mm	0,0 %	0,1 %	0,0 %
1,2 mm	0,6 %	3,1 %	11,3 %
0,6 mm	7,1 %	12,6 %	34,8 %
0,3 mm	68,8 %	68,6 %	84,5 %
0,15 mm	95,5 %	94,8 %	98,1 %
< 0,15 mm	100,1 %	100,1 %	100,1 %

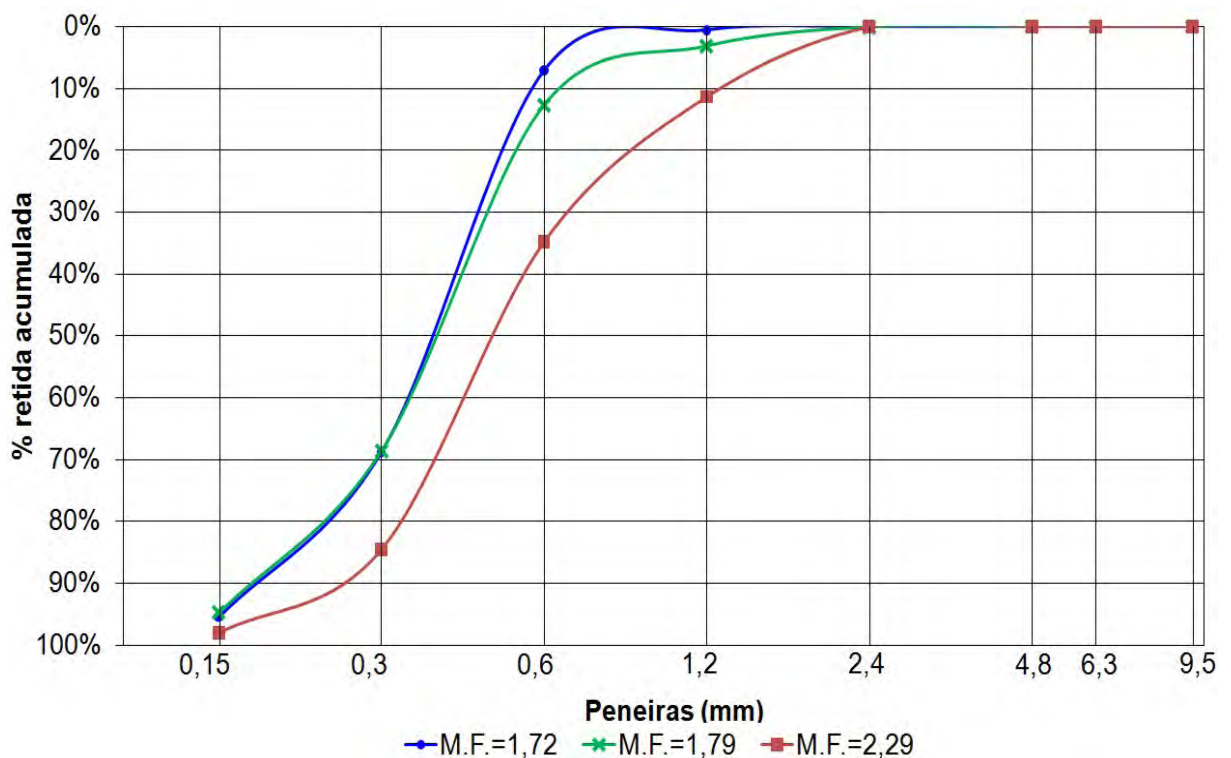


Figura 3.21 – Granulometria dos agregados empregados na confecção das argamassas

Tabela 3.18 – Caracterização dos agregados empregados

Característica determinada	Método de ensaio	Referência de norma	Resultado obtido		
			Areia 1	Areia 2	Areia 3
Módulo de finura	NBR NM 248 (2003)	-	1,72	1,79	2,29
Massa unitária	NBR NM 45 (2006)	-	1,45 kg/m ³	1,47 kg/m ³	1,51 kg/m ³
Massa específica	NBR NM 52 (2002)	-	2,62 kg/m ³	2,62 kg/m ³	2,61 kg/m ³
Torrões de argila e materiais friáveis	NBR 7218 (2010)	< 3 %	0,3 %	0,3 %	0,4 %
Teor de material pulverulento	NBR NM 46 (2003)	< 3 % ¹ < 5 % ²	0,86 %	0,94 %	0,80 %
Teor de impurezas orgânicas	NBR NM 49 (2001)	Mais clara que a solução-padrão	Mais clara que a solução-padrão	Mais clara que a solução-padrão	Mais clara que a solução-padrão

¹ concreto submetido a desgaste superficial

² concreto protegido do desgaste superficial

3.2.2.4 – Água de amassamento

A água empregada na confecção das argamassas originou-se de poço artesiano. Os teores de ferro e sulfato foram determinados por espectrofotometria, empregando-se um espectrofotômetro Hach Company, modelo DR 4000. A condutividade elétrica foi acompanhada por um condutivímetro digital Lutron, modelo CD-4303. A Tabela 3.19 apresenta as análises conduzidas.

Tabela 3.19 – Caracterização da água de amassamento

Característica	Resultado
Teor de íons ferro	0,363 mg/l
Teor de sulfato	2,9 mg/l
Condutividade	134,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$

3.2.2.5 – Argamassas

Na Tabela 3.20 encontram-se relacionados os resultados dos ensaios de caracterização, no estado fresco, das diferentes argamassas empregadas, as quais foram identificadas pelo módulo de finura dos agregados. Os procedimentos utilizados na determinação do teor de ar incorporado estão ilustrados na Figura 3.22. A Figura 3.23 ilustra a determinação da consistência através do cone de penetração e Figura 3.24, a determinação da retenção de água. Salienta-se, uma vez mais, que o traço em volume empregado em todas as argamassas foi de 1:1:6 (cimento : cal hidratada : areia).

Tabela 3.20 – Caracterização das argamassas empregadas – estado fresco

Propriedade	Método de ensaio	Argamassa		
		Argamassa 1 (Areia MF 1,72)	Argamassa 2 (Areia MF 1,79)	Argamassa 3 (Areia MF 2,29)
Teor de ar incorporado	NBR 13278 (2005)	3,2 %	3,0 %	4,4 %
Penetração de cone	ASTM INTERNATIONAL C780 (2009)	51 mm	54 mm	52 mm
Retenção de água	NBR 13277 (1995)	94 %	95 %	94 %



Figura 3.22 – Determinação do teor de ar incorporado (A – equipamento e B – leitura no manômetro)

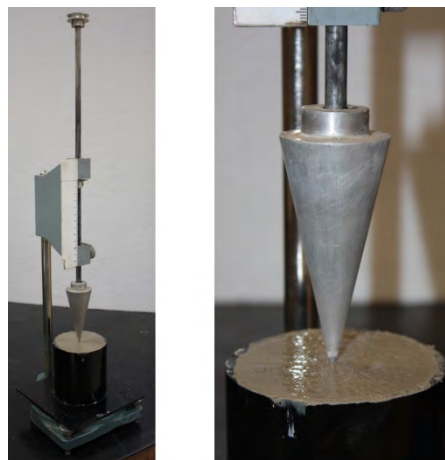


Figura 3.23 – Determinação da penetração de cone

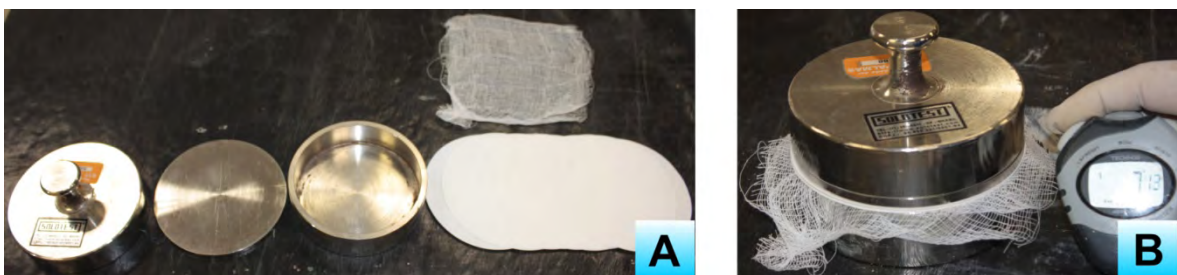


Figura 3.24 – Determinação da retenção de água (A – equipamento e B – procedimento de ensaio)

Na Tabela 3.21 estão relacionados os resultados da caracterização, no estado endurecido, das diferentes argamassas empregadas, as quais, uma vez mais, foram identificadas pelo módulo de finura dos agregados. A Figura 3.25 ilustra o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão, a Figura 3.26 a determinação da resistência à tração por compressão diametral e, a Figura 3.27, a resistência à compressão. Os relatórios

específicos encontram-se no APÊNDICE D, no APÊNDICE E e no APÊNDICE F, respectivamente.

Tabela 3.21 – Caracterização das argamassas empregadas – estado endurecido

Propriedade	Método de ensaio	Argamassa		
		Argamassa 1 (Areia MF 1,72)	Argamassa 2 (Areia MF 1,79)	Argamassa 3 (Areia MF 2,29)
Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (2005)	1,80 MPa	1,82 MPa	1,99 MPa
Resistência à tração por compressão diametral	NBR 7222 (1994)	0,45 MPa	0,50 MPa	0,67 MPa
Resistência à compressão	NBR 13279 (2005)	4,25 MPa	3,77 MPa	3,88 MPa

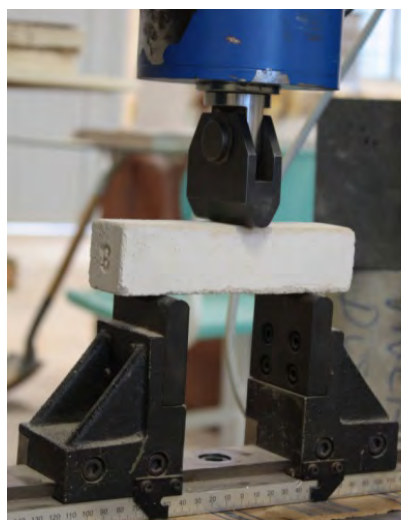


Figura 3.25 – Determinação da resistência à tração na flexão

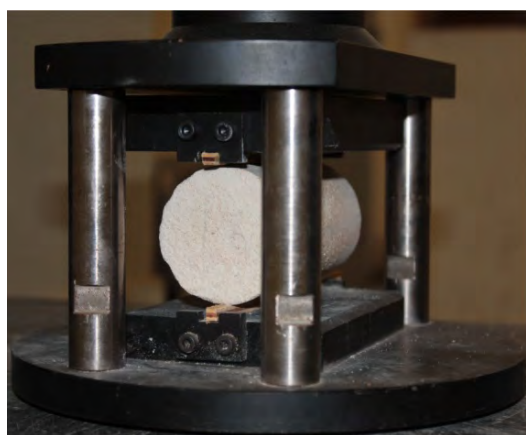


Figura 3.26 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral



Figura 3.27 – Determinação da resistência à compressão

As características de absorção de água das argamassas encontram-se no item 4.1 – Perfil de absorção de água das séries, da presente tese.

3.2.2.6 – Substratos

Na Tabela 3.22 encontram-se os valores da absorvidade, do índice de absorção inicial de água livre e do índice de absorção de água dos substratos. A face dos corpos-de-prova ensaiados foi a mesma que seria revestida e a identificação das placas seguiu a programação proposta para os ensaios, conforme o item 3.2.3.1 – Programação dos corpos-de-prova para análise do mecanismo de formação de florescências e da influência do efeito de barreira.

Tabela 3.22 – Índice de absorção inicial de água livre, absorvibilidade e índice de absorção de água dos substratos selecionados

Identificação	AAI (NBR 15270-3, 2005)	Absortividade - S	Índice de absorção de água (NBR 15270-3, 2005)
ADG1SB	$(^{9,12\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,457 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,34%
ADG2SB	$(^{9,09\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,430 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	16,41%
ADG3SB	$(^{11,58\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,503 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,10%
ADG1CB	$(^{9,49\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,489 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,76%
ADG2CB	$(^{8,53\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,394 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	16,77%
ADG3CB	$(^{9,07\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,450 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	16,68%
NAG1SB	$(^{10,07\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,472 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,21%
NAG2SB	$(^{9,74\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,481 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,41%
NAG3SB	$(^{9,74\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,463 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,98%
NAG1CB	$(^{9,18\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,439 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	16,32%
NAG2CB	$(^{10,95\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,511 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,95%
NAG3CB	$(^{10,17\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,512 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	18,00%
Média	$(^{9,73\text{g}}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	0,467 $\text{mm}/\text{min}^{1/2}$	17,25%
Coeficiente de variação	8,91%	7,59%	3,51%

Buscando-se determinar a estrutura de poros inicialmente presente foram realizados, no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, os ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio.

O presente procedimento permite observar o espectro de dimensões dos poros das amostras ensaiadas, aplicando-se para poros com dimensões na faixa de 0,003 μm a 400 μm , sendo mais apropriada para a faixa de 0,1 μm a 100 μm , segundo a BS EN 7591-1 (1992).

Foi empregado um porosímetro da marca Quantachrome, modelo PoreMaster 33, capaz de medir poros com diâmetros de 0,007 μm a 200 μm , aplicando pressões de 0 a 0,34MPa para o sistema de baixa pressão (onde são medidos os macroporos) e 0,34MPa a 227,37MPa para o sistema de alta pressão (onde são medidos os mesoporos e microporos). A Figura 3.28 ilustra o equipamento empregado.



Figura 3.28 – Porosímetro Quantachrome, modelo PoreMaster 33 empregado (A – vista geral do equipamento e B – porta-amostra em detalhe) (fonte: Laboratório de Materiais de Construção da UNISINOS)

Os resultados dos ensaios de intrusão de mercúrio possuem duas formas de apresentação:

- volume de intrusão de mercúrio *versus* diâmetro dos poros: indica, por meio do volume de mercúrio intrudido, a quantidade de poros de um determinado diâmetro;
- volume de mercúrio acumulado *versus* diâmetro dos poros: representa a quantidade total de mercúrio intrudido, por unidade de massa da amostra, a um determinado nível de pressão atingida durante o ensaio, representando a porosidade do material até o diâmetro de poro correspondente.

Outros seis parâmetros são obtidos durante o ensaio: o diâmetro crítico, o diâmetro característico, o diâmetro equivalente, o diâmetro médio, a área total de poros e o volume de mercúrio intrudido. Sato (1998) salienta a relevância do diâmetro crítico, o qual 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. O diâmetro característico é definido como o tamanho de poros onde se tem o valor máximo de volume intrudido, sendo este valor retirado dos resultados (Figuras) de volume incremental; a área superficial específica é determinada a partir dos dados experimentais de volume de intrusão em função da pressão, assumindo-se que os poros são cilíndricos; o diâmetro equivalente é determinado a partir dos valores do volume total de intrusão e da área superficial específica total; o diâmetro médio corresponde ao diâmetro para o qual o volume de intrusão é metade do volume total de intrusão, por unidade de massa da amostra, sendo obtido por interpolação na curva experimental de porosimetria (MATA, 1998).

A Figura 3.29, a Figura 3.30 e a Tabela 3.23 ilustram a distribuição do tamanho dos poros do substrato, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de sulfato de sódio.

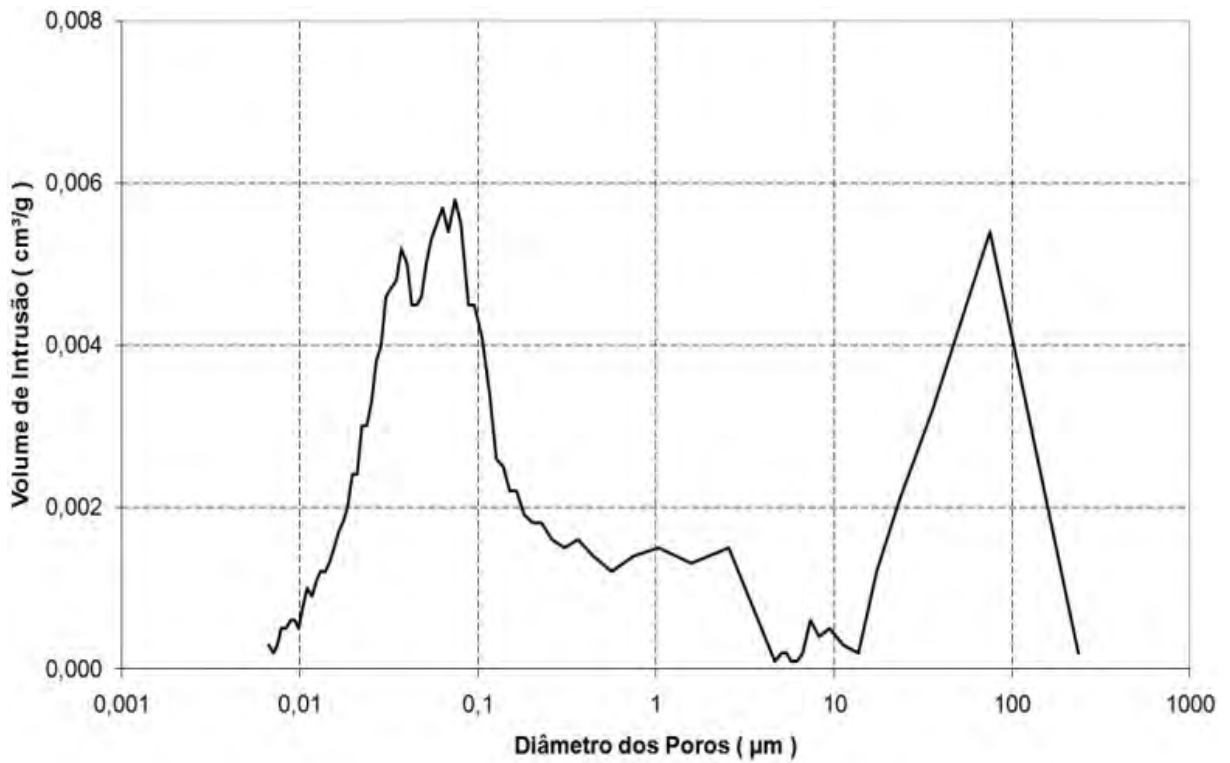


Figura 3.29 – Distribuição do tamanho dos poros do substrato antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

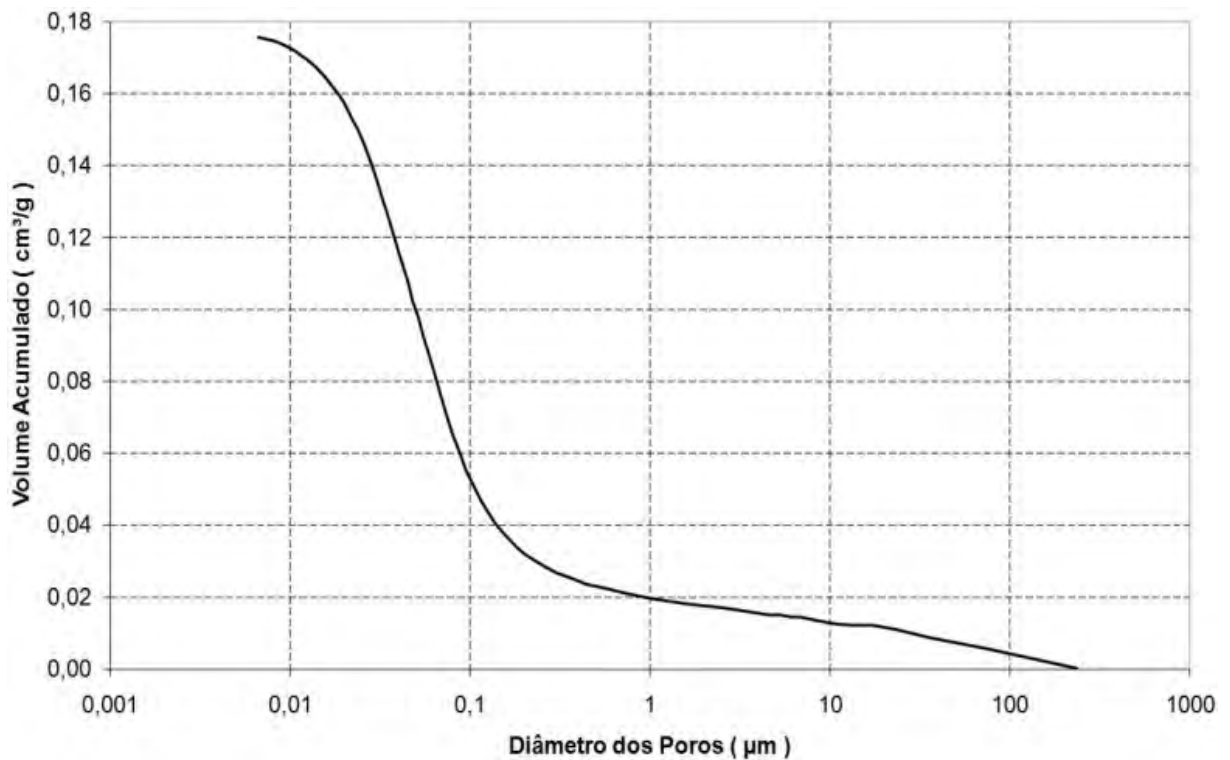


Figura 3.30 – Distribuição do tamanho dos poros do substrato antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

Tabela 3.23 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio do substrato, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4

Característica	Resultado
Diâmetro crítico	0,15 μm
Diâmetro característico	0,07 μm
Diâmetro equivalente	0,04 μm
Diâmetro médio	0,06 μm
Área total de poros	16,90 m^2/g
Volume intrudido	0,176 cm^3/g

Observou-se que os substratos empregados, quando comparados aos blocos cerâmicos utilizados por Paes (2004), apresentaram uma porosidade total semelhante (indicada pelo volume total intrudido), com poros, entretanto, de diâmetro consideravelmente menor (indicados pelos diâmetros aferidos e pela área total de poros).

3.2.2.7 – Película de barreira

A caracterização da película de barreira foi realizada no Instituto de Química da Universidade de Brasília, empregando-se a técnica de espectrometria na região do infravermelho médio, através de um espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), marca Michelson Bomem Hartmann & Braun, série B, com resolução de 4 cm^{-1} , o qual encontra-se ilustrado na Figura 3.31.



Figura 3.31 – Espectrofotômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) empregado

Inicialmente procedeu-se à impregnação do amostrador com o produto em análise, sem diluições, sendo este posteriormente seco para formação do polímero objeto do estudo. Procedeu-se então a montagem da estrutura do amostrador e a execução do ensaio. A Figura 3.32 ilustra este procedimento. O espectro gerado pelo equipamento encontra-se representado na Figura 3.33.

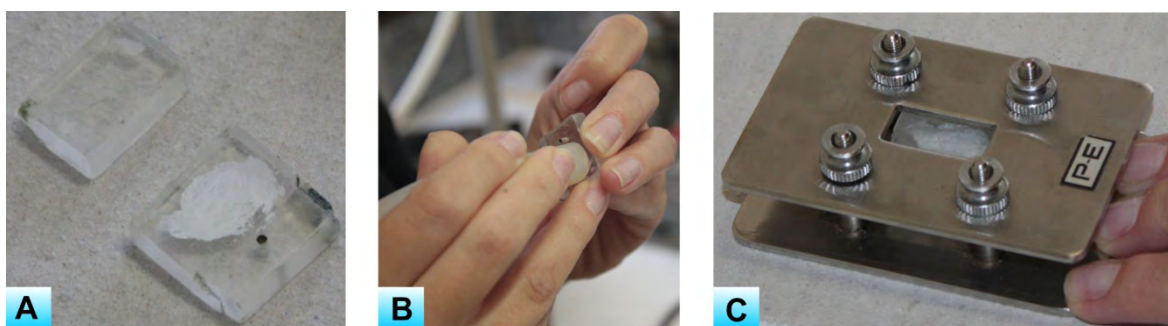


Figura 3.32 – Preparação do amostrador para caracterização da película de barreira por FTIR (A – impregnação do amostrador; B – secagem do polímero e C – montagem da estrutura)

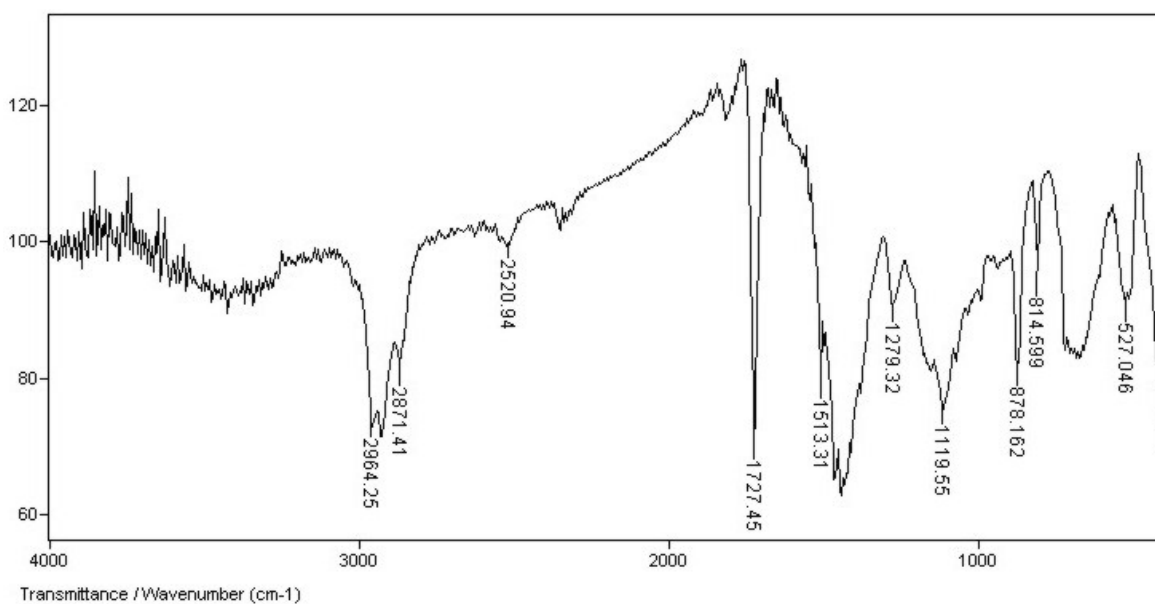


Figura 3.33 – Espectrometria ao infravermelho médio da película de barreira

A espectrofotometria ao infravermelho médio de polímeros fornece a caracterização do tipo de ligação química empregada em sua composição, servindo como ferramenta de identificação do polímero empregado como película de barreira.

3.2.3 – Procedimento metodológico da avaliação da fluorescência

3.2.3.1 – Programação dos corpos-de-prova para análise do mecanismo de formação de fluorescências e da influência do efeito de barreira

A programação dos ensaios das séries buscou relacionar as condições fixas apresentadas na Figura 3.1 com as variáveis independentes apresentadas na Figura 3.3 e na Figura 3.4, bem como com as variáveis dependentes apresentadas na Figura 3.6. A Figura 3.34, a Figura 3.35 e a Figura 3.36 representam, esquematicamente, a programação proposta.

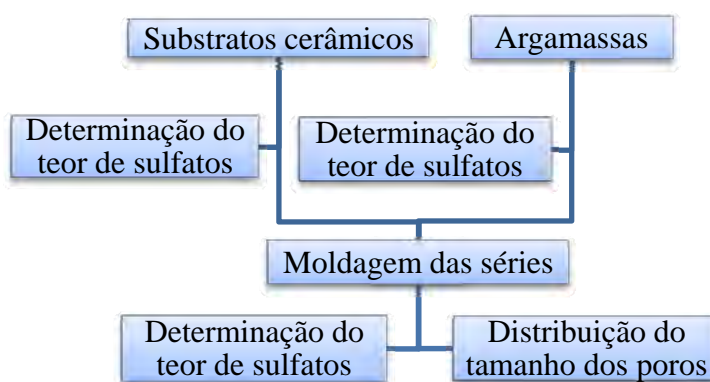


Figura 3.34 – Programação dos ensaios – análises iniciais e moldagem das séries

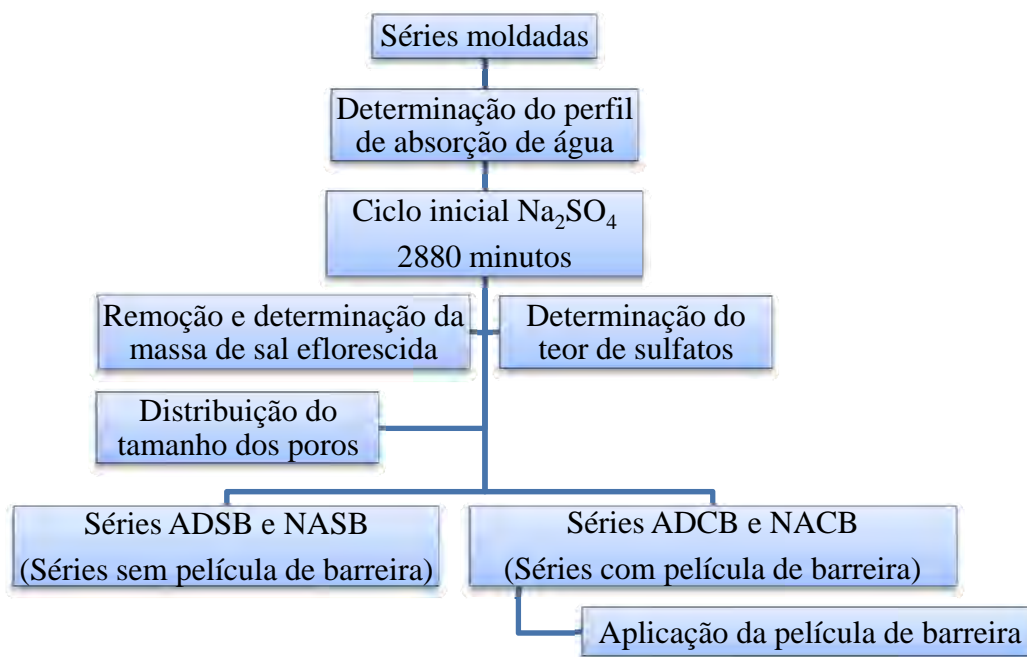


Figura 3.35 – Programação dos ensaios – ciclo de exposição inicial e aplicação da película de barreira

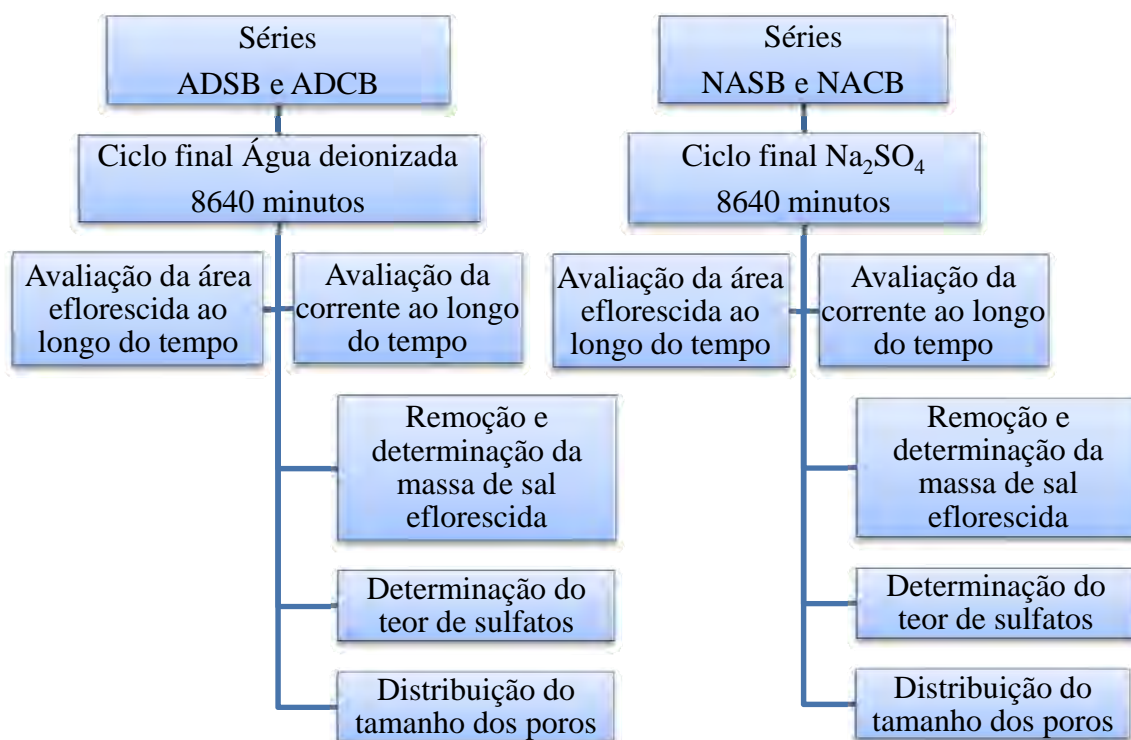


Figura 3.36 – Programação dos ensaios – Ciclo de exposição final

A Tabela 3.24 apresenta a identificação dos corpos-de-prova confeccionados, de acordo com as condições fixas, variáveis independentes e dependentes fixadas na análise do mecanismo.

Tabela 3.24 – Relação dos corpos-de-prova confeccionados no procedimento experimental

Nr.	Identificação	Argamassa	Presença de película de barreira	Meio de exposição no ciclo final
1	ADG1SB	Com areia MF 1,72	NÃO	Água deionizada
2	ADG2SB	Com areia MF 1,79	NÃO	Água deionizada
3	ADG3SB	Com areia MF 2,29	NÃO	Água deionizada
4	ADG1CB	Com areia MF 1,72	SIM	Água deionizada
5	ADG2CB	Com areia MF 1,79	SIM	Água deionizada
6	ADG3CB	Com areia MF 2,29	SIM	Água deionizada
7	NAG1SB	Com areia MF 1,72	NÃO	Solução saturada de Na ₂ SO ₄
8	NAG2SB	Com areia MF 1,79	NÃO	Solução saturada de Na ₂ SO ₄
9	NAG3SB	Com areia MF 2,29	NÃO	Solução saturada de Na ₂ SO ₄
10	NAG1CB	Com areia MF 1,72	SIM	Solução saturada de Na ₂ SO ₄
11	NAG2CB	Com areia MF 1,79	SIM	Solução saturada de Na ₂ SO ₄
12	NAG3CB	Com areia MF 2,29	SIM	Solução saturada de Na ₂ SO ₄

3.2.3.2 – Dosagem das argamassas e estrutura dos corpos-de-prova

Buscando-se avaliar a variação do mecanismo de formação de depósitos salinos em revestimentos de argamassa, sob diferentes condições de porosidade, foram confeccionados três traços, com a mesma relação em volume (1 : 1 : 6) (cimento : cal : areia), variando a granulometria do agregado miúdo, o qual apresentava módulos de finura (MF) iguais a 1,72, 1,79 e 2,29, como já caracterizado. A determinação da quantidade de água seguiu as recomendações de Sousa (2005), o qual aponta que argamassas consideradas plásticas, capazes de oferecer uma condição de trabalhabilidade adequada, apresentam um intervalo de penetração de cone entre 45 mm e 56 mm, com média em torno de 51 mm, medido de acordo com a norma ASTM INTERNATIONAL C780 (2009). A água empregada foi potável, originada de poço artesiano.

A mistura dos materiais seguiu as recomendações da NBR 13276 (2005), para argamassas dosadas em obra, à base de cimento e cal hidratada: inicialmente foi preparada uma argamassa intermediária de areia e cal, a qual dispunha da quantidade total de água já prevista. Esta argamassa foi misturada, em argamassadeira, durante 4 minutos em velocidade baixa, tendo sua massa posteriormente aferida e submetida a um período de maturação de 24 horas. Após este prazo a massa foi novamente determinada, sendo a água perdida por evaporação repostada, adicionado o cimento e misturada por 4 minutos também em velocidade baixa. Na Tabela 3.25 encontram-se os traços empregados, em massa.

Tabela 3.25 – Traço em massa das argamassas empregadas

Argamassa	Traço
Argamassa 1	210,3 g de cimento 116,2 g de cal 1740 g de areia MF 1,72 415 g de água
Argamassa 2	210,3 g de cimento 116,2 g de cal 1764 g de areia MF 1,79 400 g de água
Argamassa 3	210,3 g de cimento 116,2 g de cal 1812 g de areia MF 2,29 385 g de água

Os substratos foram revestidos com as argamassas apenas em uma das faces e dotados de eletrodos de aço inox, fixados com adesivo epóxi em uma estrutura de acrílico, para acompanhamento das franjas de umidade, os quais se encontram ilustrados em detalhe na Figura 3.37. A distância horizontal entre eletrodos foi de 5 mm e os mesmos encontravam-se instalados (a partir do substrato cerâmico) a alturas de 15 mm e 24 mm. Apenas um dos lados de cada corpo-de-prova foi instrumentado.

Após a fixação sensores nos substratos, os mesmos tiveram sua extremidade protegida por EPS⁵ antes da moldagem. A Figura 3.38 mostra o substrato já com o sensor posicionado.

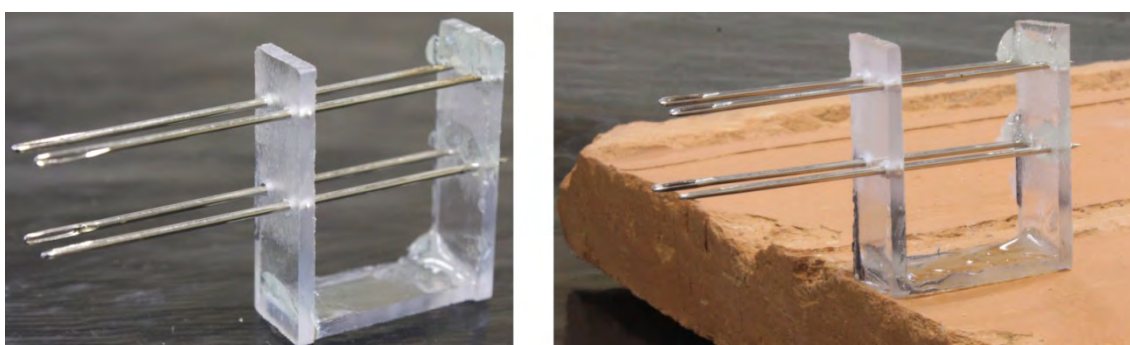


Figura 3.37 – Sensor de umidade empregado



Figura 3.38 – Substrato com sensor de umidade instalado

Posteriormente à fixação dos sensores, os substratos foram umedecidos e os corpos-de-prova revestidos, uniformizando-se a altura e energia de aplicação das argamassas em 50 cm. Após 15 dias de cura úmida, os mesmos ficaram expostos à atmosfera do laboratório até completarem 28 dias. A Figura 3.39 ilustra o corpo-de-prova empregado.

^{3.5} Poliestireno expandido - homopolímero resultante da polimerização do monômero de estireno; espuma semi-rígida com marca comercial Isopor®.

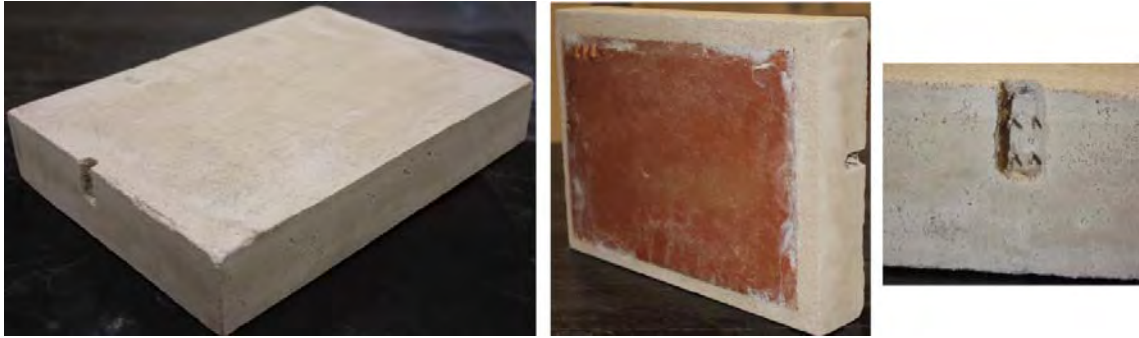


Figura 3.39 – Corpo-de-prova moldado anteriormente à aplicação da resina epóxi

Decorrido este período, foram retiradas amostras para determinação da porosimetria por intrusão de mercúrio e do teor de sulfatos, sendo a seção restaurada com o auxílio de EPS fixado com adesivo epóxi, para evitar o efeito de forma^{3.6} durante a exposição aos meios em estudo. A Figura 3.40 ilustra este procedimento.



Figura 3.40 – Extração de amostra para porosimetria e restauração da seção com EPS

Após a reconstituição da seção, os corpos-de-prova tiveram as faces laterais e a argamassa da face inferior impermeabilizadas com resina tipo epóxi de baixa viscosidade, como ilustrado na Figura 3.41, buscando-se orientar o fluxo das soluções em estudo.



Figura 3.41 – Aplicação de adesivo epóxi no corpo-de-prova para orientar o fluxo da solução em estudo

^{3.6} Possíveis alterações no comportamento do fluxo das soluções, bem como concentrações de depósitos salinos pela alteração da seção original dos corpos-de-prova.

3.2.3.3 – Exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4

Os corpos-de-prova assim confeccionados tiveram sua massa inicial determinada, sendo em seguida submetidos à água deionizada para determinação do tempo mínimo necessário para que as soluções em estudo atingissem sua extremidade superior, conforme apresentado no item 3.2.1.3 – Determinação do tempo necessário de exposição inicial dos corpos-de-prova. Após a verificação que a duração mínima de cada ciclo de exposição deveria ser de 600 minutos, as amostras foram novamente secas em estufa, a uma temperatura de 70 °C até constância de massa. Após a secagem os mesmos permaneceram no laboratório até atingirem a temperatura ambiente, mantida durante a exposição em 23 °C.

Os corpos-de-prova foram então posicionados, em grupos de 6, sobre suportes em vidro de 10 mm x 20 mm x 3 mm de altura, os quais possibilitavam o total acesso da solução saturada de sulfato de sódio ao substrato cerâmico, conforme ilustra a Figura 3.42. A solução nas bandejas foi reabastecida ao longo do procedimento de forma a ser mantida, durante a exposição, uma lâmina de 3 mm nos corpos-de-prova.

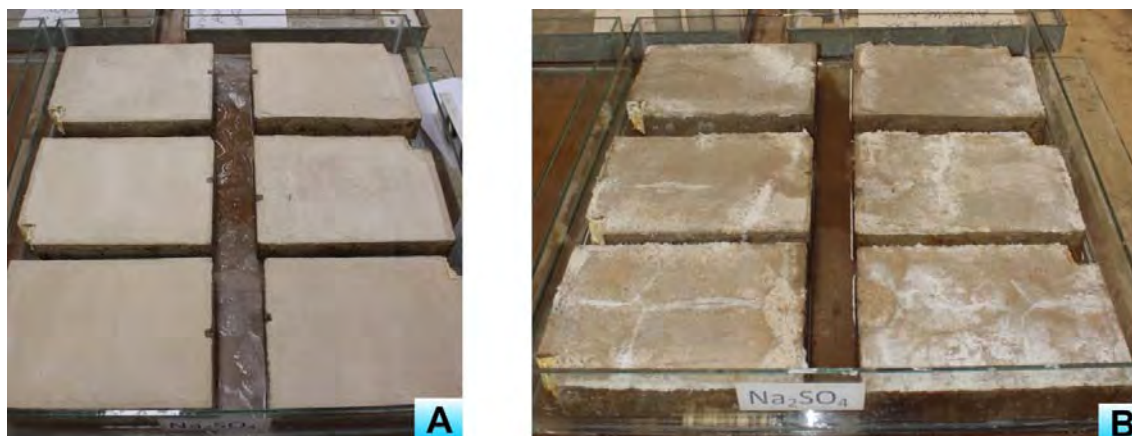


Figura 3.42 – Ciclo de exposição inicial dos corpos-de-prova (A – antes da exposição e B – após a exposição)

Devido à elevada intensidade das eflorescências em formação, bem como aos danos provocados pelas mesmas durante a exposição à solução, como pode ser observado na Figura 3.43, optou-se pelo período de exposição de 48 horas contínuas, sem a intercalação de ciclos de secagem.



Figura 3.43 – Danos provocados pelas florescências aos corpos-de-prova durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4

Após a exposição os corpos-de-prova foram retirados das bandejas e secos em estufa a $70\text{ }^\circ\text{C}$ até constância de massa, atingindo, em seguida, a temperatura ambiente.

O sal eflorescido foi então retirado com o auxílio de uma escova de cerdas macias e teve a massa determinada, sendo em seguida solubilizado em água deionizada e submetido a filtração em papel filtro de $45\text{ }\mu\text{m}$ para retirada da argamassa presente, a qual foi seca em estufa e teve a massa posteriormente mensurada. Através da diferença entre as massas inicial e da argamassa, foi determinada a massa de sal eflorescido.

Após a remoção do sal eflorescido, foram retiradas amostras para determinação da porosimetria por intrusão de mercúrio e do teor de sulfatos, procedendo-se a impermeabilização com película epóxi nos pontos de extração, bem como sua reestruturação onde foi percebida a degradação pelo processo de cristalização. A seção foi restaurada com o auxílio de EPS fixado com fitas.

A Figura 3.44 e a Figura 3.45 ilustram, em detalhes as eflorescências formadas na superfície do corpo-de-prova ADG1SB e ADG2CB após o ciclo de exposição inicial.



Figura 3.44 – Eflorescências formadas durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 – ADG1SB em detalhe



Figura 3.45 – Eflorescências formadas durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 – ADG2CB em detalhe

3.2.3.4 – Aplicação da película de barreira

A resina acrílica Aquabloc[®], empregada como película de barreira, foi adquirida no mercado local de Palmas-TO, e aplicada seguindo as recomendações do fabricante, contidas no APÊNDICE K da presente tese, em quatro demãos, sendo a primeira como “selador” da superfície (diluído em 30 % de solvente) e as três seguintes, como “acabamento” (diluído em 10 % de solvente).

A superfície dos corpos-de-prova foi inicialmente saturada de água e, em seguida, lavada com uma solução de ácido muriático^{3.7} a 10 % em água. Esta solução permaneceu em contato por 40 minutos, sendo a superfície novamente lavada e posteriormente seca em estufa a 70 °C até constância de massa. As partículas soltas foram então removidas mecanicamente com o auxílio de uma escova com cerdas de náilon. A Figura 3.46 ilustra este procedimento.

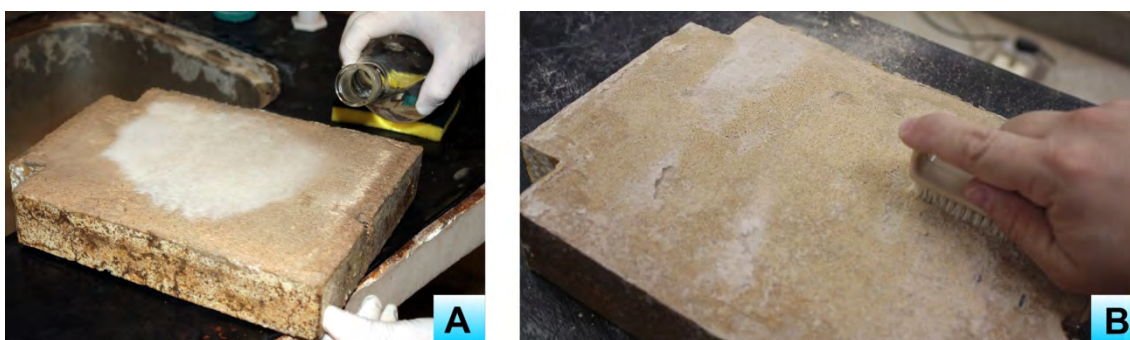


Figura 3.46 – Limpeza da superfície para aplicação da película de barreira (A – aplicação da solução de ácido muriático e B – remoção de partículas soltas por meio mecânico)

^{3.7} Forma de baixa pureza do ácido clorídrico (HCl), com concentração de 25 %. Produto normalmente comercializado para a remoção de manchas resultantes da umidade em pisos, painéis de pedras, azulejos, tijolos e outros.

Após a limpeza da superfície o produto foi aplicado, após homogeneizado, com o auxílio de um pincel, diluído em 30 % de aguarrás^{3.8} (concentração indicada pelo fabricante como “selador” da superfície), adotando-se a precaução de que o mesmo penetrasse em todos os poros e reentrâncias. As três demãos seguintes foram aplicadas de forma cruzada, também com pincel, com o produto diluído em 10 % de aguarrás (concentração indicada pelo fabricante como “acabamento”). O intervalo entre cada demão foi de 4 horas e a temperatura do laboratório foi mantida constante em 23 °C durante o procedimento. A Figura 3.47 ilustra a técnica apresentada.

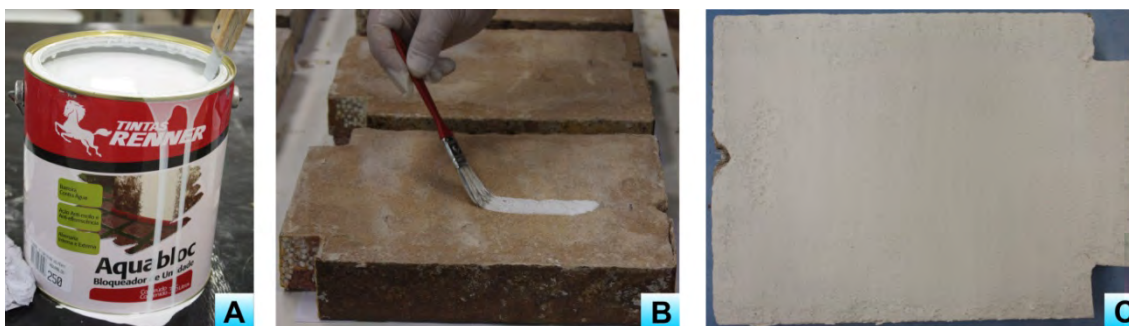


Figura 3.47 – Aplicação da película de barreira (A – Aquabloc[®]; B – aplicação do produto e C – superfície acabada)

3.2.3.5 – Ciclo final de exposição

Decorridas 12 horas da aplicação da película de barreira, os corpos de prova foram divididos em grupos de seis e posicionados sobre suportes em vidro de 10 mm x 20 mm x 3 mm de altura, em duas bandejas. Os suportes empregados possibilitavam o total acesso dos meios em estudo ao substrato cerâmico.

Após o correto posicionamento, a série AD foi exposta à água deionizada e a série NA, à solução saturada de sulfato de sódio, tendo, a partir de então, a corrente elétrica monitorada pelos eletrodos posicionados no interior dos mesmos, segundo metodologia já apresentada nos estudos preliminares, e a área efluorescida registrada por meio fotográfico. Durante o período de exposição a água deionizada e a solução de Na₂SO₄ foram periodicamente reabastecidas, de forma a ser mantida uma lâmina de 3mm nos corpos-de-prova.

^{3.8} Essência da terebintina, uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos voláteis, com faixa de destilação compreendida entre 151 e 240 °C. É utilizado principalmente como solvente e também na fabricação de ceras, graxas e tintas.

As imagens registradas foram analisadas com o emprego do software AutoCAD[®], versão 2010. Neste, eram determinadas as regiões eflorescidas de cada corpo-de-prova, e quantificadas suas áreas em relação à área total dos corpos-de-prova.

3.2.3.6 – Acompanhamento do perfil de distribuição de sulfatos

O teor de sulfatos apresentado pela argamassa e pelo substrato dos corpos-de-prova foi determinado, nas diversas etapas do programa experimental, por espectrofotometria, como especificado nos estudos preliminares, buscando-se avaliar suas tendências de variação e perfis de distribuição.

Para elaboração dos perfis de distribuição foram reservadas amostras do substrato e de três diferentes profundidades da argamassa dos corpos-de-prova (0,5cm (T1), 1,5cm (T2) e 2,5cm (T3) a partir do substrato), quando do secionamento dos CPs para retirada de amostras para determinação da porosimetria, conforme ilustra a Figura 3.48.

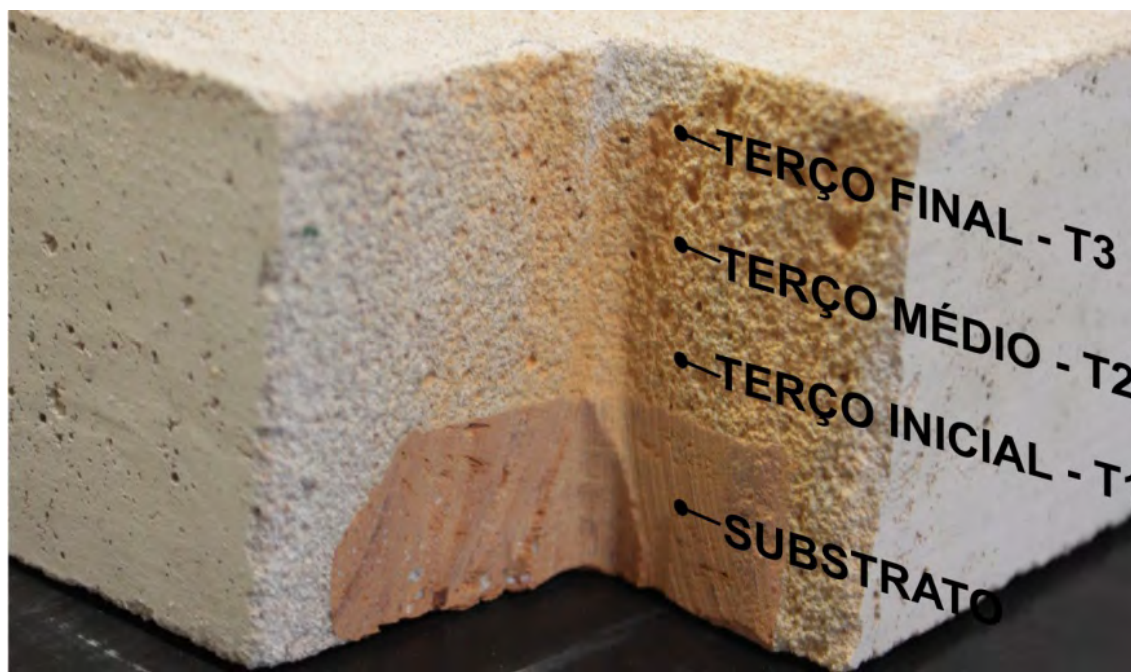


Figura 3.48 – Regiões de extração das amostras para elaboração dos perfis de distribuição de sulfatos

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Encontra-se, neste capítulo, a apresentação e discussão dos resultados obtidos na pesquisa a partir da interação entre as variáveis adotadas: diferentes argamassas e meios de exposição final, com vistas ao entendimento de como estas influenciam no transporte de sais e manifestação das florescências.

4.1 – PERFIL DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS SÉRIES

Assim como na análise da capacidade de absorção de água dos substratos cerâmicos, os tempos adotados no ensaio de absorção de água livre ao longo do tempo foram baseados nos estudos de Paes (2004). A Figura 4.1 representa a absorção de água média ao longo do tempo das séries e, a Tabela 4.1, as características de absorção de água dos corpos-de-prova e das respectivas argamassas. Maiores detalhes podem ser obtidos no APÊNDICE C da presente tese.

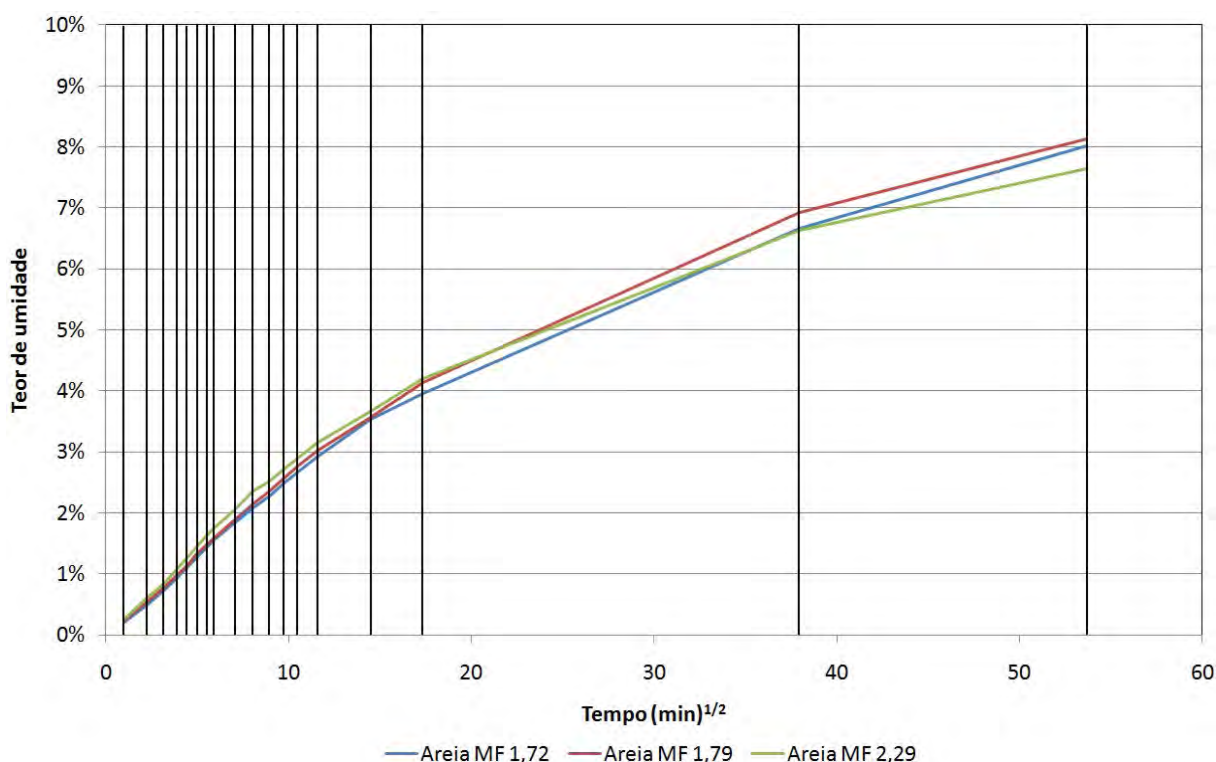


Figura 4.1 – Absorção de água ao longo do tempo – média das séries

Na determinação da absorção de água e da absorção de água por capilaridade das argamassas optou-se, conforme facultado pela NBR 9778 (2005), pela utilização de corpos-de-prova cilíndricos, com 5cm de diâmetro e 10cm de altura, moldados segundo as orientações da NBR 7215 (1996). O coeficiente de capilaridade da argamassa foi determinado conforme as prescrições da NBR 15259 (2005).

Tabela 4.1 – Características de absorção de água dos corpos-de-prova e das argamassas

Corpo-de-prova	AAI corpos-de-prova (NBR 15270-3, 2005)	Absortividade - S		Índice de absorção de água Argamassa (NBR 9778, 2005)	Coeficiente de capilaridade Argamassa (NBR 15259, 2005)
		Argamassa	Corpo-de-prova		
ADG1SB	$(7,45\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,741 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,260 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	16,1%	$7,41 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
ADG2SB	$(10,65\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,645 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,328 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	15,4%	$6,45 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
ADG3SB	$(12,38\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,611 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,347 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	13,7%	$6,10 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
ADG1CB	$(7,92\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,741 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,277 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	16,1%	$7,41 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
ADG2CB	$(8,59\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,645 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,265 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	15,4%	$6,45 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
ADG3CB	$(7,59\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,611 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,277 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	13,7%	$6,10 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
NAG1SB	$(10,18\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,741 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,335 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	16,1%	$7,41 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
NAG2SB	$(6,39\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,645 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,239 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	15,4%	$6,45 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
NAG3SB	$(8,12\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,611 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,312 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	13,7%	$6,10 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
NAG1CB	$(6,79\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,741 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,244 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	16,1%	$7,41 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
NAG2CB	$(10,32\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,645 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,323 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	15,4%	$6,45 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$
NAG3CB	$(10,05\text{g}/193,55\text{cm}^2)/\text{min}$	$0,611 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	$0,343 \text{ mm}/\text{min}^{1/2}$	13,7%	$6,10 \text{ g}/\text{dm}^2.\text{min}^{1/2}$

No APÊNDICE G encontram-se os resultados individuais e a respectiva representação gráfica dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade. Na Figura 4.2 encontra-se ilustrado os resultados médios, por argamassa.

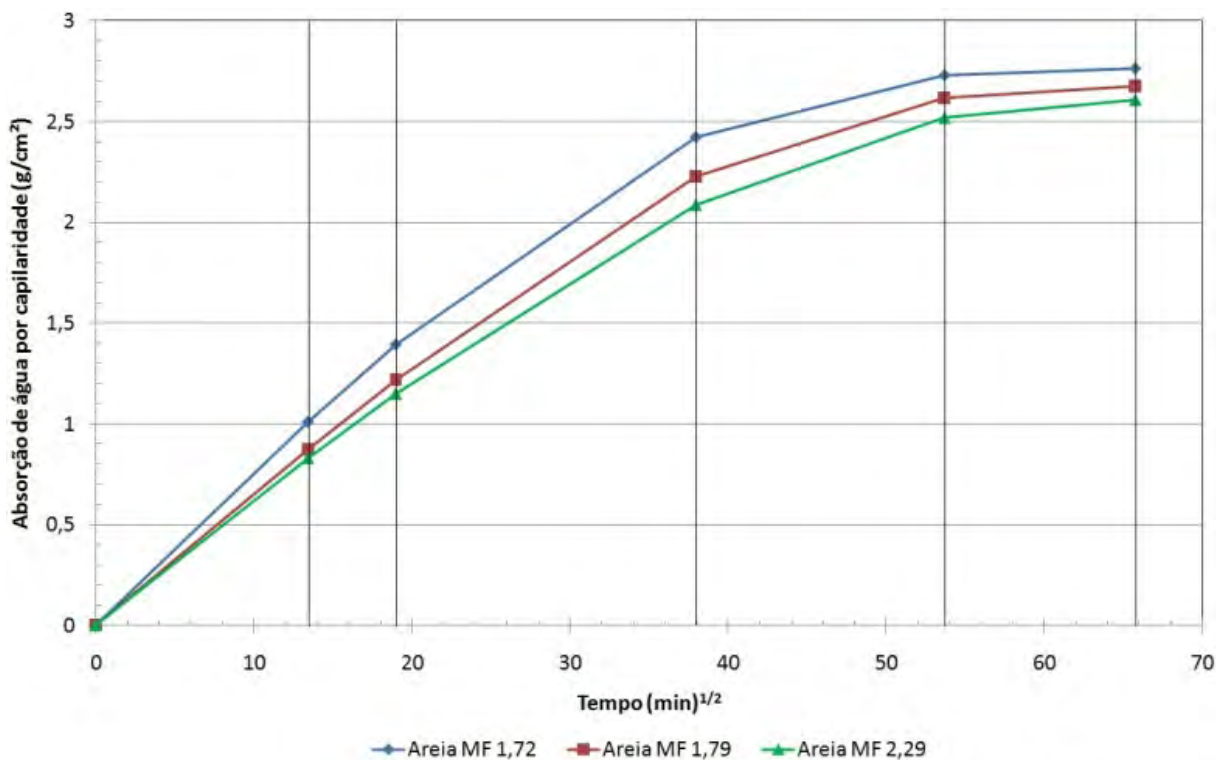


Figura 4.2 – Absorção de água por capilaridade – média dos CPs

Observou-se que a absorção de água ao longo do tempo dos corpos-de-prova confeccionados com diferentes argamassas é semelhante, apresentando maiores diferenciações entre si a partir de 300 minutos, com uma maior definição da tendência de comportamento aos 1440 minutos. As séries confeccionadas com argamassas de MF 1,72 e 1,79 apresentaram comportamento semelhante, com maior absorção de água apresentada por esta última. A Série confeccionada com argamassa de MF 2,29 foi a que apresentou, em comparação com as demais, menores índices de absorção de água ao longo do tempo.

Apesar da presença de manchas indicativas de umidade na face superior dos corpos-de-prova, o teor de umidade dos mesmos, para o período de monitoramento (até 48 horas) não apresentou tendência à estabilização (saturação).

4.2 – ALTERAÇÕES OBSERVADAS NA ESTRUTURA DE POROS

Buscando-se determinar possíveis alterações no tamanho dos poros das diferentes argamassas, devido aos processos de cristalização de sulfato de sódio ocorridos ao longo do estudo, foi realizado o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio, cujos resultados são apresentados graficamente a seguir, sendo sua ordem de apresentação estruturada

conforme a etapa do programa experimental em que as amostras foram retiradas. Salienta-se que os sais presentes nas amostras não foram retirados para determinação dos perfis de distribuição de poros.

A partir da observação da Figura 4.3, da Figura 4.4 e dos dados da Tabela 4.2, pode-se afirmar que o emprego de areias com diferentes módulos de finura acarretou em alterações na porosidade das argamassas confeccionadas, com menor porosidade quanto maior o módulo de finura da areia empregada, fato concordante com a absorção de água apresentada na Tabela 4.1. Não foram observadas, entretanto, alterações significativas na distribuição do tamanho dos poros. Salienta-se que as amostras foram retiradas após a confecção das séries.

Comparativamente à distribuição do tamanho dos poros dos substratos, apresentada na Figura 3.29, na Figura 3.30 e na Tabela 3.23, observou-se que a argamassa apresenta poros de maior diâmetro que o substrato e, este último, apresenta uma maior porosidade total (indicada pelo volume intrudido e pela área total de poros).

A Figura 4.3, a Figura 4.4 e a Tabela 4.2 ilustram a distribuição do tamanho dos poros das argamassas, anteriormente ao ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 .

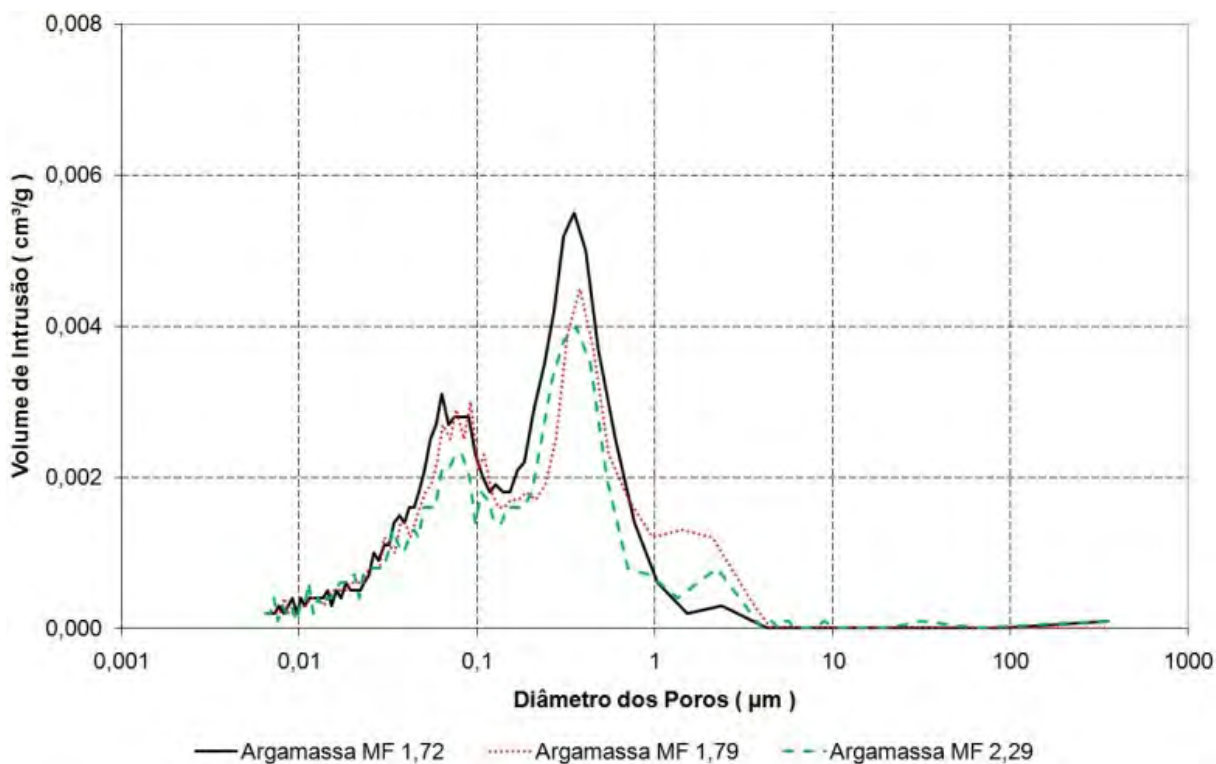


Figura 4.3 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

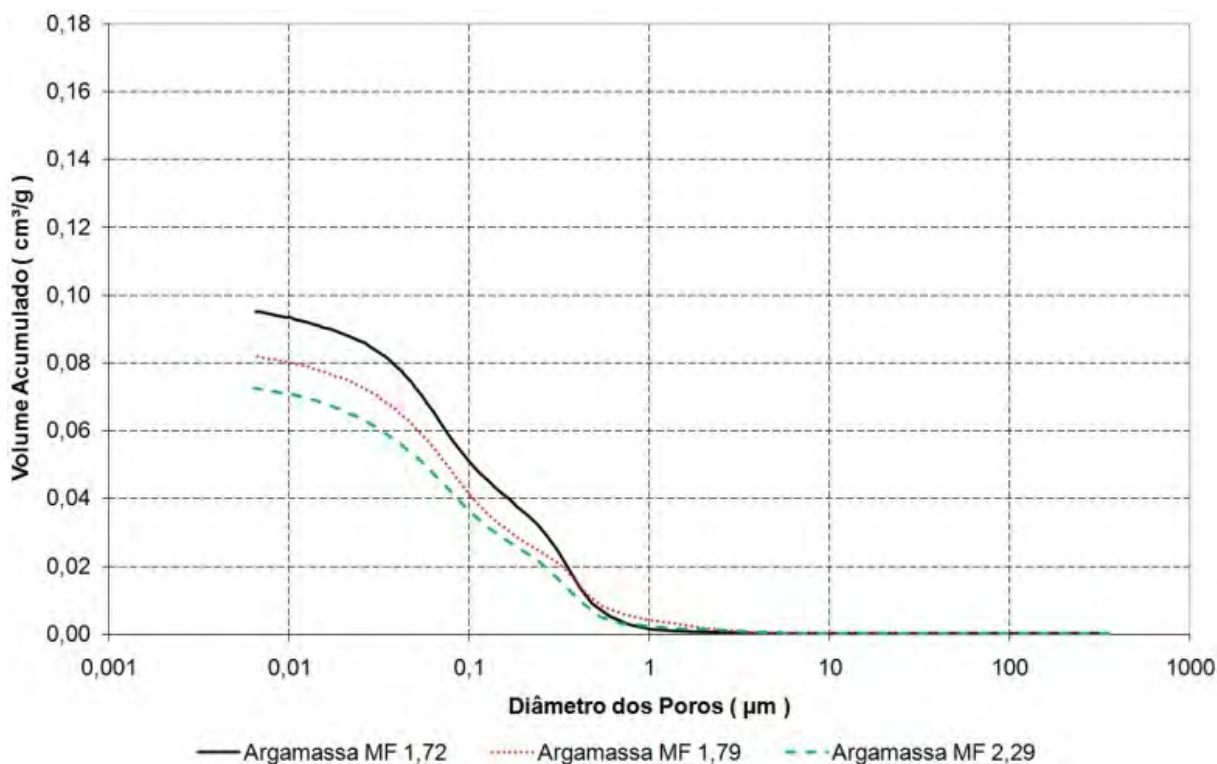


Figura 4.4 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

Tabela 4.2 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas, antes do ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4

Característica	Amostra		
	Argamassa MF 1,72	Argamassa MF 1,79	Argamassa MF 2,29
Diâmetro crítico (μm)	0,60	0,67	0,58
Diâmetro característico (μm)	0,35	0,38	0,36
Diâmetro equivalente (μm)	0,06	0,06	0,05
Diâmetro médio (μm)	0,12	0,10	0,10
Área total de poros (m^2/g)	6,54	5,94	5,68
Volume intrudido (cm^3/g)	0,095	0,082	0,073

A Figura 4.5, a Figura 4.6 e a Tabela 4.3 ilustram a distribuição do tamanho dos poros das argamassas após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 e, a Figura 4.7, a Figura 4.8 e a Tabela 4.4, após o término da exposição final à solução saturada de Na_2SO_4 . Objetivando-se determinar as alterações devido às condições de exposição mais severas, não foram realizados ensaios de porosimetria para a série exposta, no ciclo final, à água deionizada. Todas as amostras foram extraídas da série NACB.

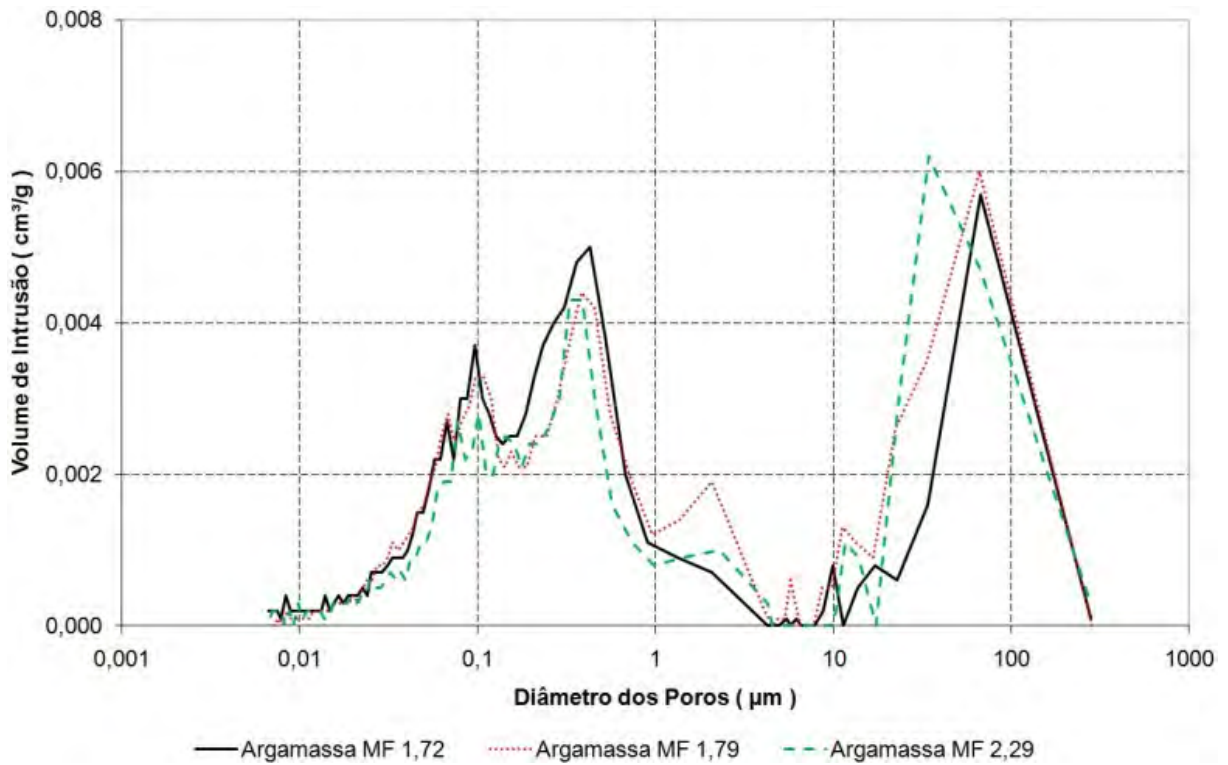


Figura 4.5 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

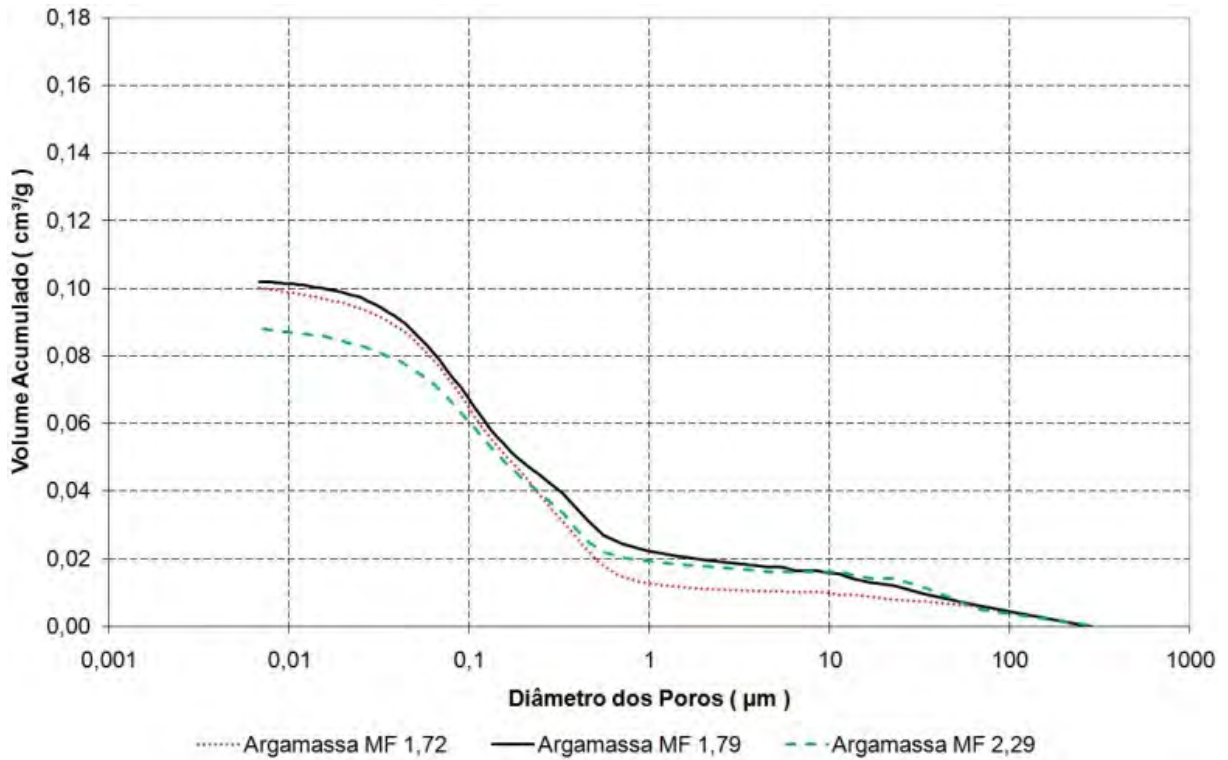


Figura 4.6 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

Tabela 4.3 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na_2SO_4

Característica	Amostra		
	Argamassa MF 1,72	Argamassa MF 1,79	Argamassa MF 2,29
Diâmetro crítico (μm)	0,60	0,65	0,58
Diâmetro característico (μm)	67,50	66,75	34,43
Diâmetro equivalente (μm)	0,08	0,09	0,09
Diâmetro médio (μm)	0,16	0,18	0,19
Área total de poros (m^2/g)	5,25	4,48	4,02
Volume intrudido (cm^3/g)	0,100	0,102	0,088

Observou-se que a cristalização do Na_2SO_4 no interior da argamassa, após o ciclo de exposição inicial à solução saturada, supostamente levou à ruptura parcial da rede de poros, sobretudo os de menor diâmetro, alterando sua distribuição de tamanho, indicado pelo aumento do diâmetro, redução da área total e aumento do volume intrudido, em relação aos valores apresentados na Figura 4.3, na Figura 4.4 e na Tabela 4.2. Salienta-se que, quando da mensuração, a rede de poros encontrava-se parcialmente ocupada pelos cristais de sulfato de sódio, o que permite deduzir que os danos causados na distribuição de poros são superiores aos apresentados.

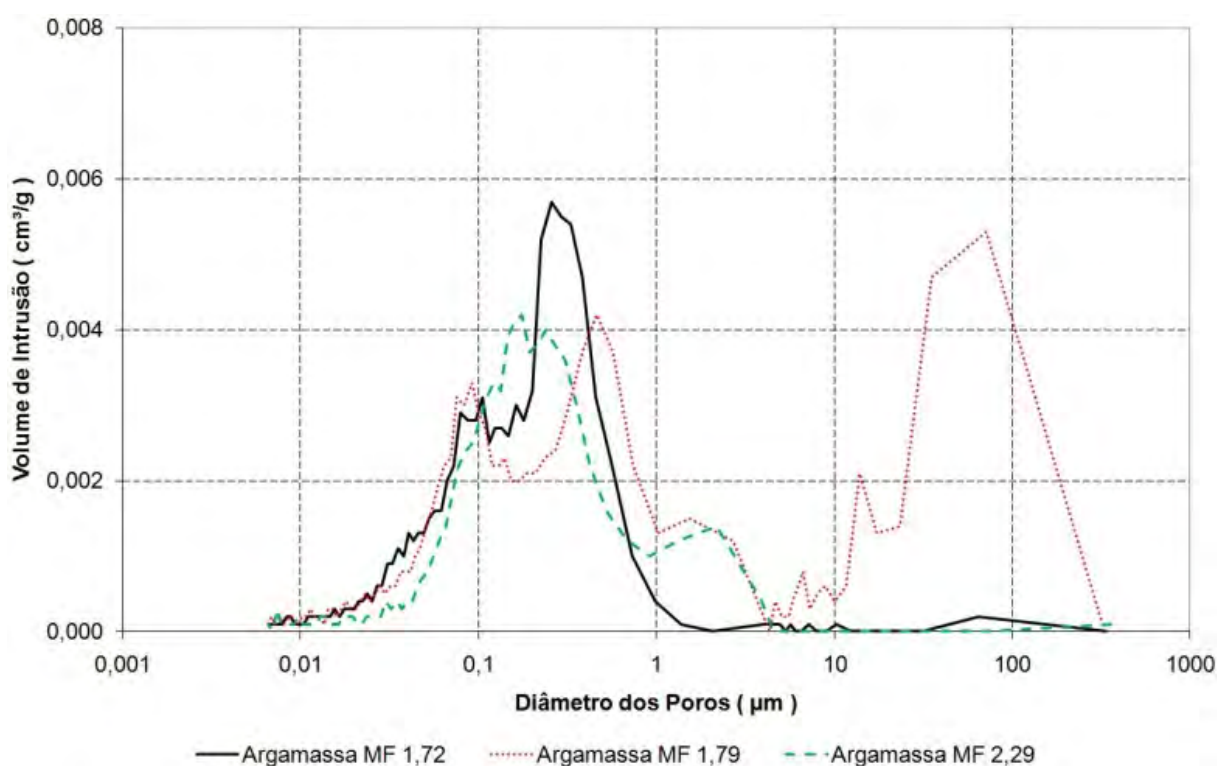


Figura 4.7 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

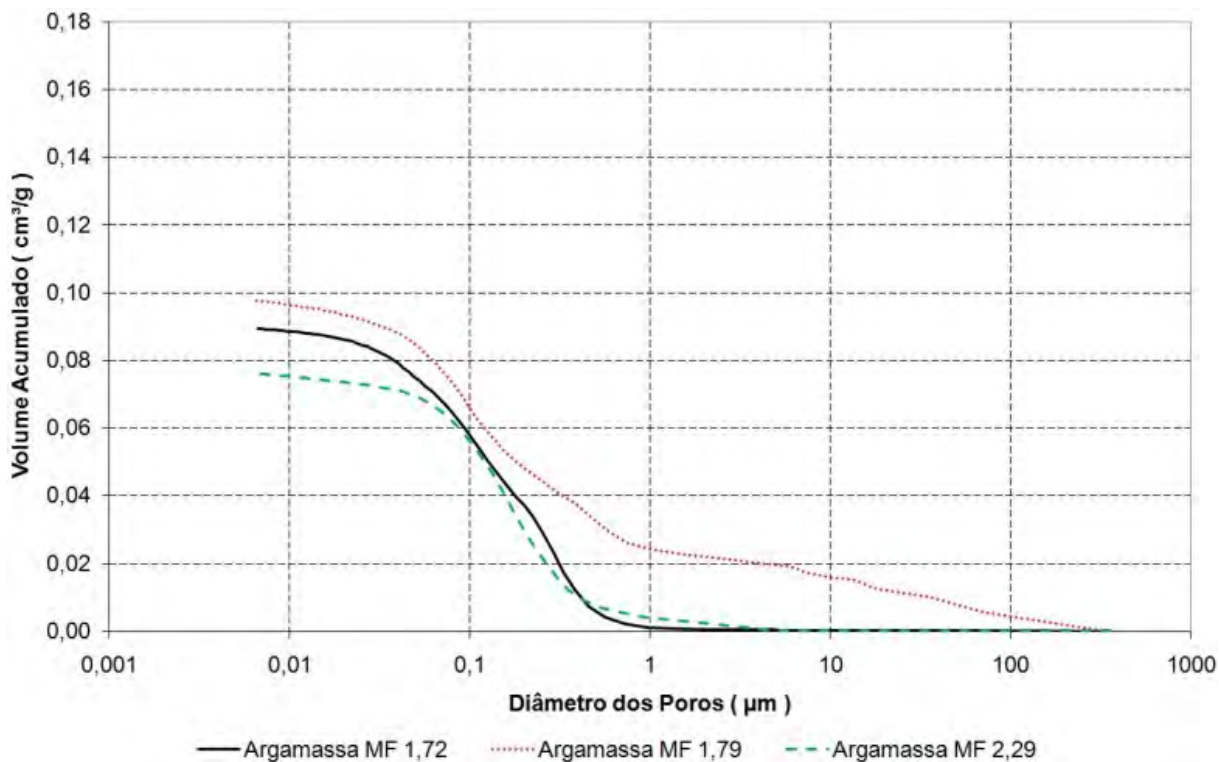


Figura 4.8 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas, após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na_2SO_4 , por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm^3/g) versus diâmetro dos poros (μm)

Tabela 4.4 – Resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das argamassas, após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na_2SO_4

Característica	Amostra		
	Argamassa MF 1,72	Argamassa MF 1,79	Argamassa MF 2,29
Diâmetro crítico (μm)	0,53	0,74	0,37
Diâmetro característico (μm)	0,26	71,28	0,18
Diâmetro equivalente (μm)	0,08	0,09	0,09
Diâmetro médio (μm)	0,15	0,20	0,17
Área total de poros (m^2/g)	4,63	4,48	3,35
Volume intrudido (cm^3/g)	0,089	0,098	0,076

Observou-se que após o ciclo de exposição final à solução saturada de sulfato de sódio, a distribuição de tamanho de poros apresentou pequenas alterações, em comparação ao estado apresentado após a exposição inicial, com uma diminuição significativa apenas do diâmetro característico. Tal comportamento encontra-se possivelmente associado ao incremento da ocupação parcial da rede de poros pelos cristais de sulfato de sódio, mobilizados durante a exposição final.

Buscando-se melhor visualizar as alterações sofridas pela distribuição do tamanho dos poros das argamassas, procedeu-se o agrupamento das curvas de mesmo módulo de finura, ao longo das diferentes etapas do programa experimental. A Figura 4.9 e a Figura 4.10 ilustram a distribuição do tamanho dos poros das argamassas confeccionadas com areia de MF 1,72, a Figura 4.11 e a Figura 4.12, das argamassas confeccionadas com areia de MF 1,79, e, a Figura 4.13 e a Figura 4.14, das argamassas confeccionadas com areia de MF 2,29.

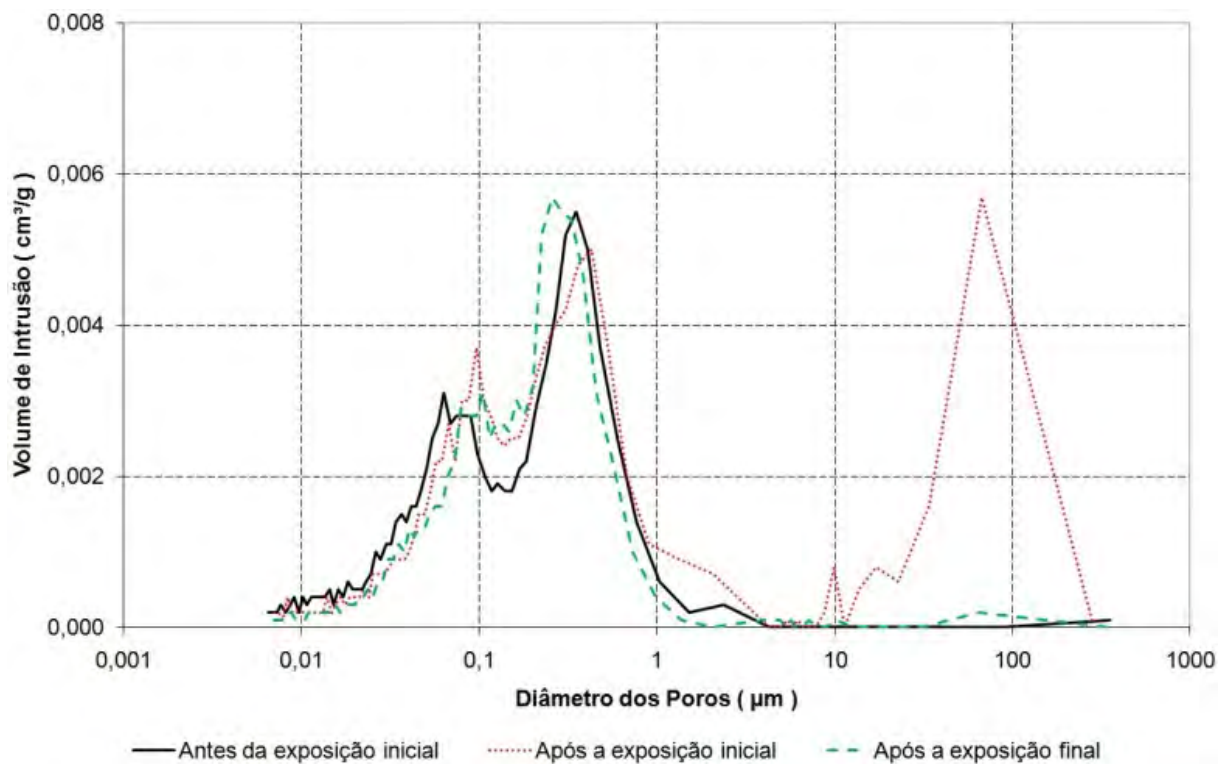


Figura 4.9 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,72, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm^3/g) *versus* diâmetro dos poros (μm)

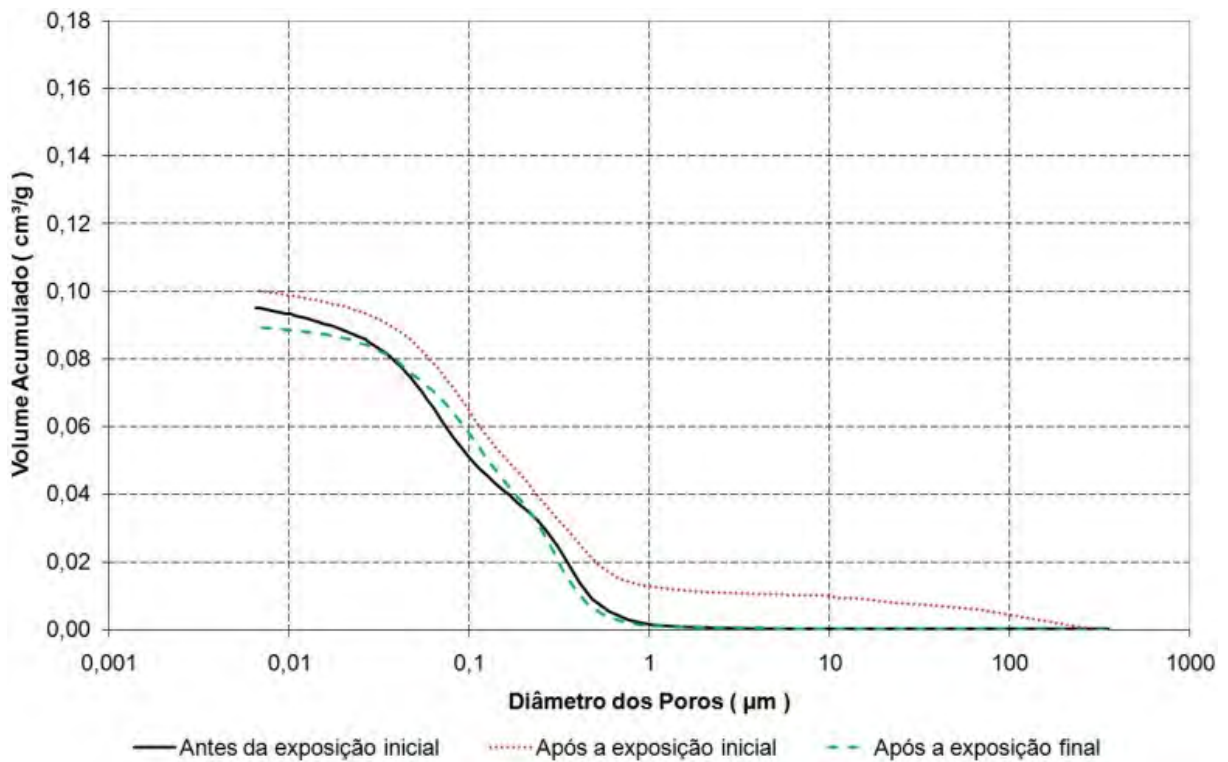


Figura 4.10 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,72, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm³/g) *versus* diâmetro dos poros (μm)

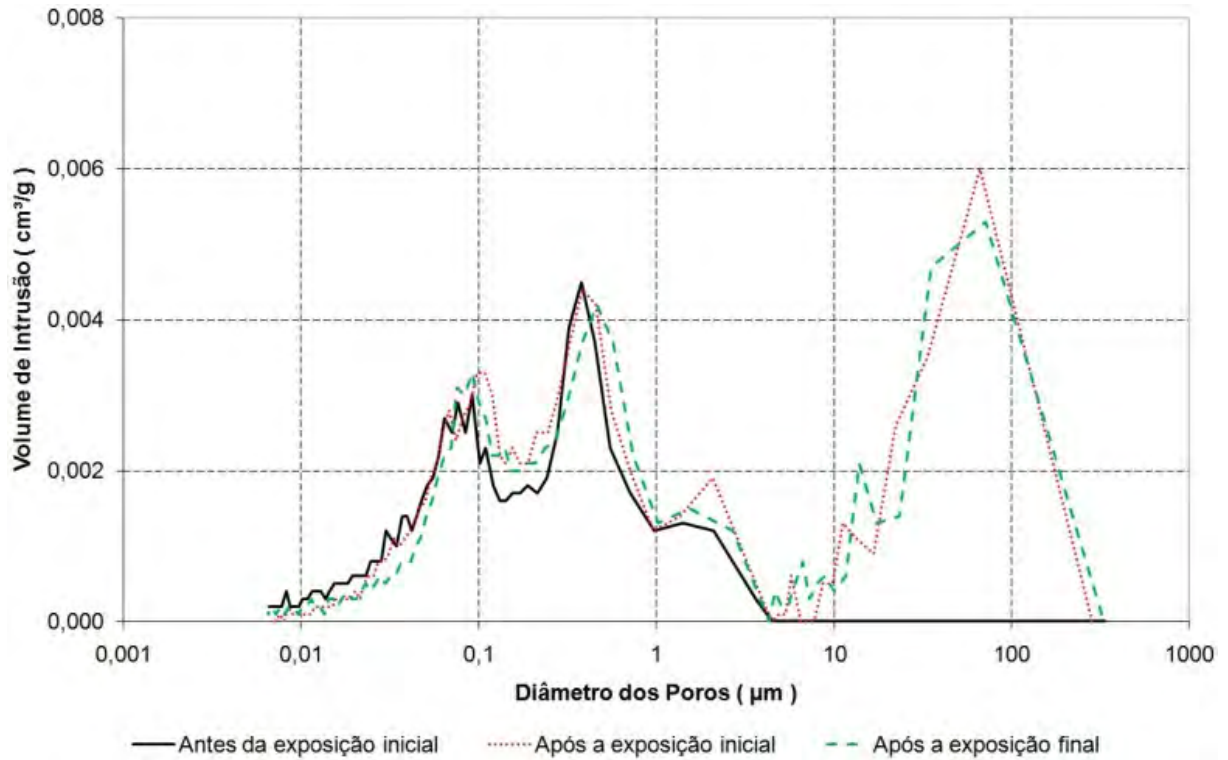


Figura 4.11 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,79, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm³/g) *versus* diâmetro dos poros (μm)

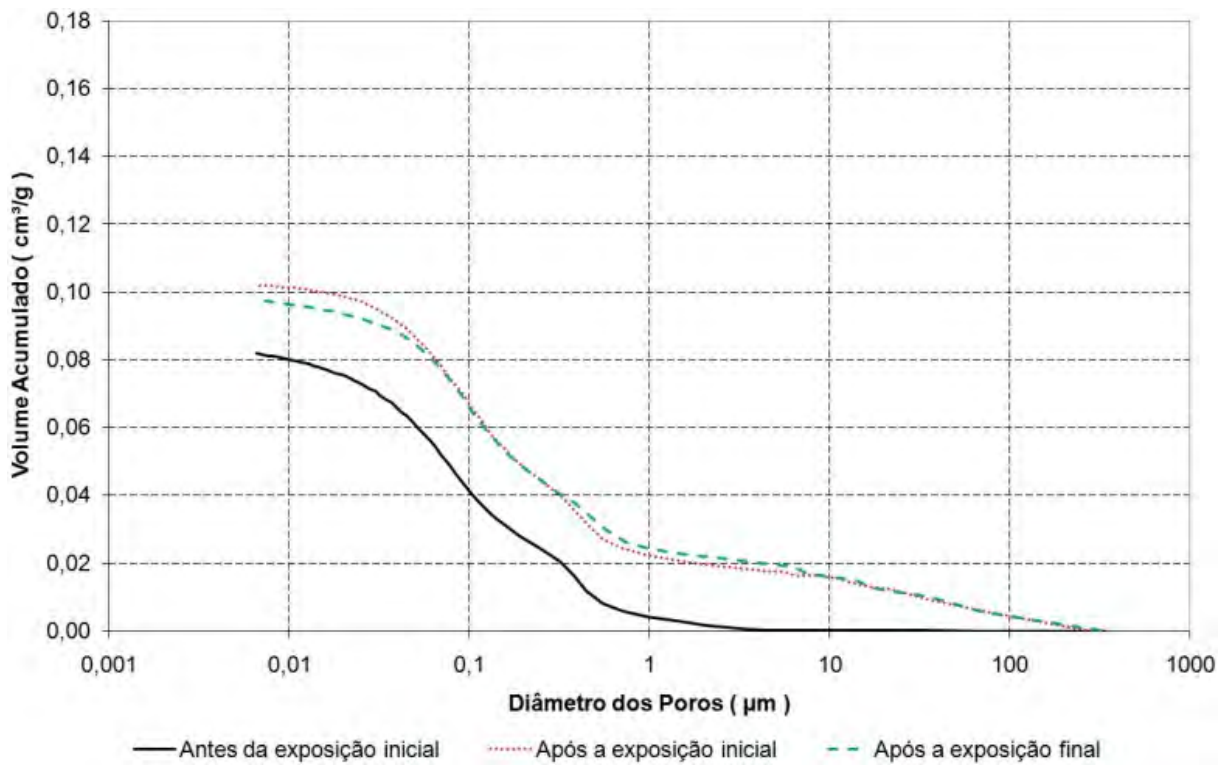


Figura 4.12 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 1,79, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm³/g) *versus* diâmetro dos poros (µm)

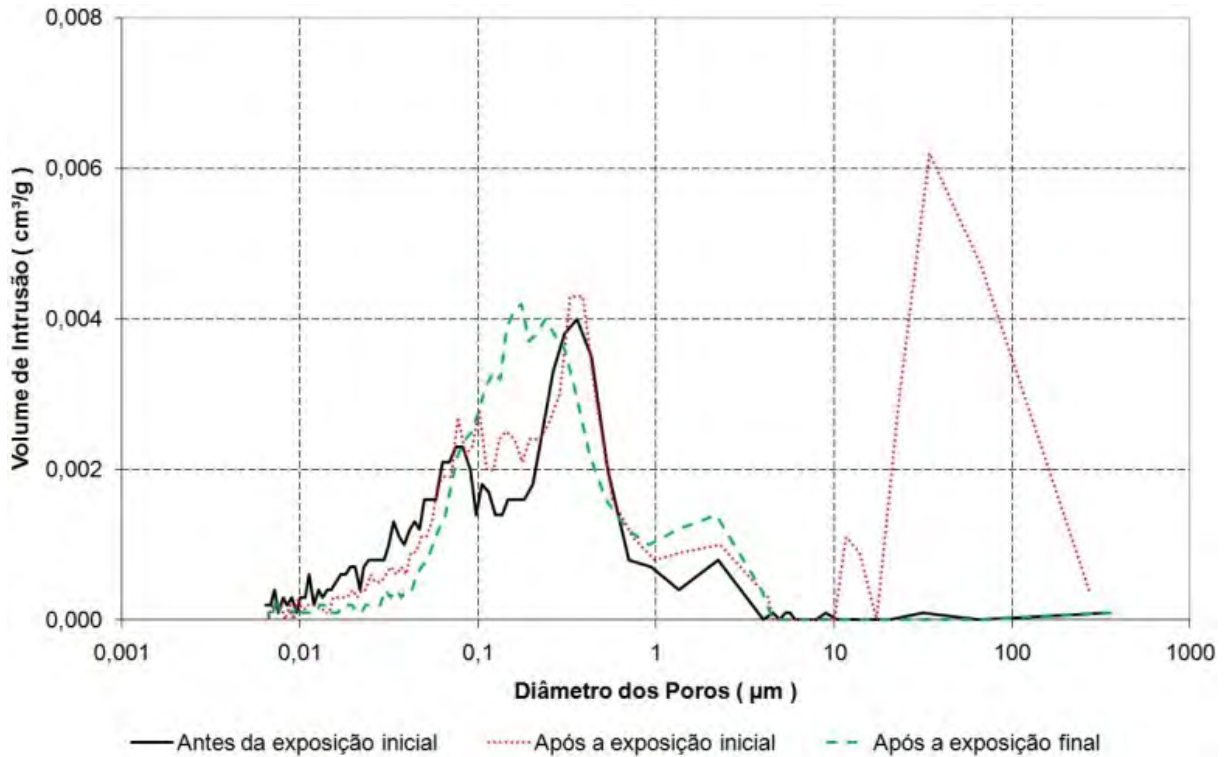


Figura 4.13 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 2,29, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume de intrusão (cm³/g) *versus* diâmetro dos poros (µm)

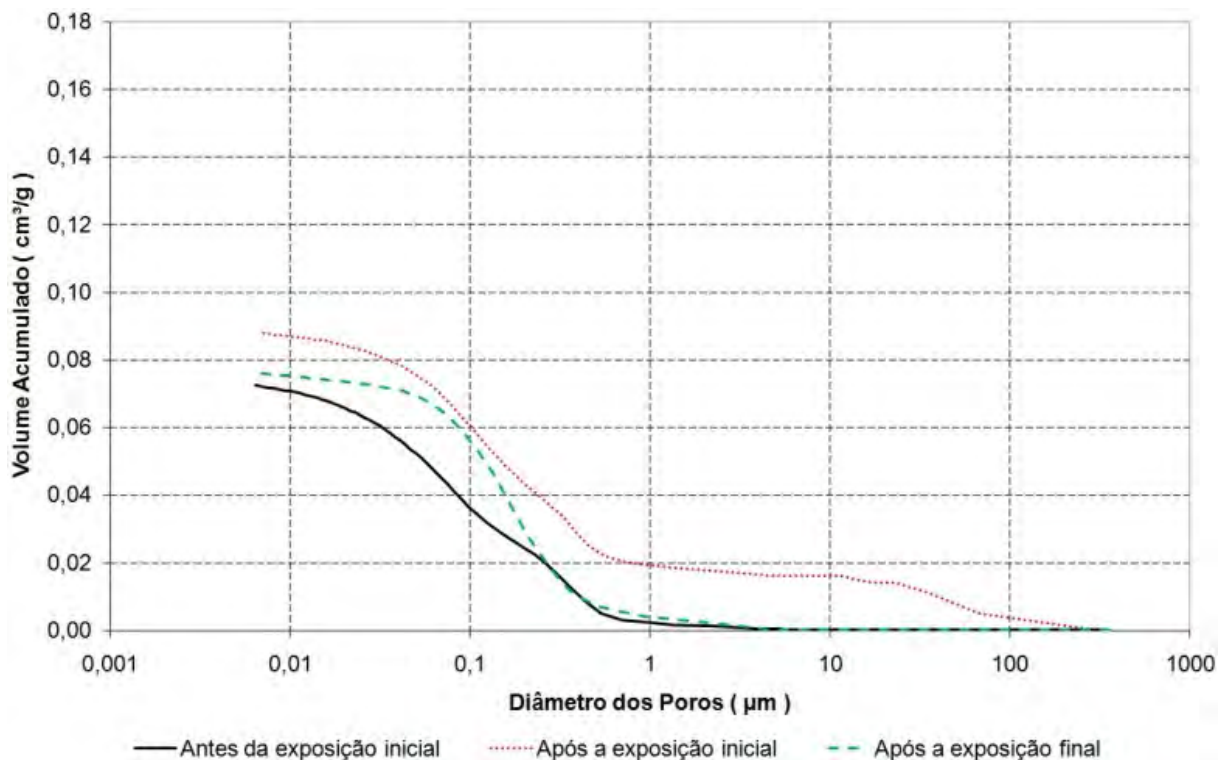


Figura 4.14 – Distribuição do tamanho dos poros das argamassas MF 2,29, por porosimetria por intrusão de mercúrio – volume acumulado (cm^3/g) *versus* diâmetro dos poros (μm)

Observou-se que, apesar da maior absorvidade apresentada pelas argamassas mais porosas, quanto maior a porosidade da argamassa menor o dano provocado pela cristalização do sulfato de sódio (através da avaliação do incremento percentual de volume intrudido após o ciclo de exposição inicial). Tal fato encontra-se possivelmente relacionado ao incremento de volume disponibilizado ao mesmo.

4.3 – PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO DE SULFATOS

Os perfis de distribuição de sulfatos foram elaborados, segundo metodologia já apresentada, objetivando-se determinar sua variação no substrato e ao longo do perfil do revestimento de argamassa, nas diversas etapas do procedimento experimental, bem como o princípio de funcionamento do revestimento de argamassa, pela identificação da região de acúmulo de sais nos corpos-de-prova. O APÊNDICE J da presente tese contém os dados coletados.

São informados, em cada perfil de distribuição, o teor de sulfatos encontrado nos materiais, antes e após a moldagem dos corpos-de-prova, bem como após os ciclos de exposição

inicial à solução saturada de Na₂SO₄ e final, à água deionizada ou à solução saturada de Na₂SO₄. São também graficamente ilustradas as médias dos teores de sulfato após os ciclos de exposição inicial e final, as quais são os indicadores das tendências de estabilização.

A Tabela 4.5 apresenta a distribuição da concentração dos sulfatos nas amostras, após o ciclo de exposição inicial. Nesta pode-se observar que a maior parte dos sulfatos se concentrou no substrato e no terço próximo da superfície da argamassa. Este comportamento encontra-se relacionado com a maior porosidade do substrato, em relação à argamassa, e à frente de evaporação da argamassa próxima à superfície, indicada pelas eflorescências formadas.

Tabela 4.5 – Distribuição da concentração dos sulfatos nas amostras após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de Na₂SO₄ – valores relativos

Corpo-de-prova	Distribuição dos sulfatos – em relação ao total da amostra			
	Substrato	Terço inicial T1	Terço médio T2	Terço final T3
ADG1SB	45,09 %	18,50 %	11,16 %	25,25 %
ADG2SB	42,72 %	14,94 %	17,88 %	24,46 %
ADG3SB	36,47 %	19,08 %	17,50 %	26,94 %
ADG1CB ^a	45,03 %	23,37 %	12,14 %	19,45 %
ADG2CB ^a	32,85 %	16,62 %	22,02 %	28,51 %
ADG3CB ^a	47,35 %	21,75 %	10,72 %	20,18 %
NAG1SB	47,40 %	13,09 %	9,68 %	29,84 %
NAG2SB	35,38 %	18,39 %	17,48 %	28,75 %
NAG3SB	39,49 %	16,96 %	20,66 %	22,88 %
NAG1CB ^a	48,15 %	15,50 %	15,25 %	21,11 %
NAG2CB ^a	37,69 %	23,72 %	15,91 %	22,67 %
NAG3CB ^a	48,52 %	17,38 %	12,84 %	21,27 %

^aQuando da realização das leituras, os corpos-de-prova ainda não dispunham da película de barreira.

Após o ciclo de exposição final os teores de sulfato em cada camada analisada se mostraram melhor distribuídos em todas as séries, com uma visível movimentação dos sais do substrato em direção à argamassa, com maiores concentrações nos terços próximo à superfície da argamassa e próximo ao substrato. A Tabela 4.6 apresenta os valores relativos da distribuição da concentração dos sulfatos após o ciclo de exposição final.

Tabela 4.6 – Distribuição da concentração dos sulfatos nas amostras após o ciclo de exposição final à solução saturada de Na₂SO₄ ou à água deionizada – valores relativos

Corpo-de-prova	Distribuição dos sulfatos – em relação ao total da amostra			
	Substrato	Terço inicial T1	Terço médio T2	Terço final T3
ADG1SB	22,60%	29,83%	21,85%	25,72%
ADG2SB	34,24%	28,60%	17,70%	19,46%
ADG3SB	16,90%	32,64%	15,41%	35,04%
ADG1CB	24,46%	20,70%	21,53%	33,31%
ADG2CB	13,71%	29,89%	25,31%	31,10%
ADG3CB	34,01%	26,62%	10,30%	29,07%
NAG1SB	21,05%	31,54%	16,31%	31,09%
NAG2SB	20,22%	25,83%	20,37%	33,58%
NAG3SB	22,62%	24,47%	26,40%	26,51%
NAG1CB	23,48%	27,77%	19,37%	29,38%
NAG2CB	24,66%	25,63%	19,90%	29,81%
NAG3CB	24,94%	29,87%	19,11%	26,07%

Encontram-se, a seguir, as ilustrações do perfil de distribuição de sulfatos da série submetida, no ciclo de exposição final, à água deionizada. A Figura 4.15 e a Figura 4.16 referem-se à série moldada com argamassa de MF 1,72, a Figura 4.17 e a Figura 4.18, à série moldada com argamassa de MF 1,79 e, a Figura 4.19 e a Figura 4.20, à série moldada com argamassa de MF 2,29. As médias dos perfis de distribuição após os ciclos de exposição inicial e final, para a série em questão, encontram-se na Tabela 4.7.

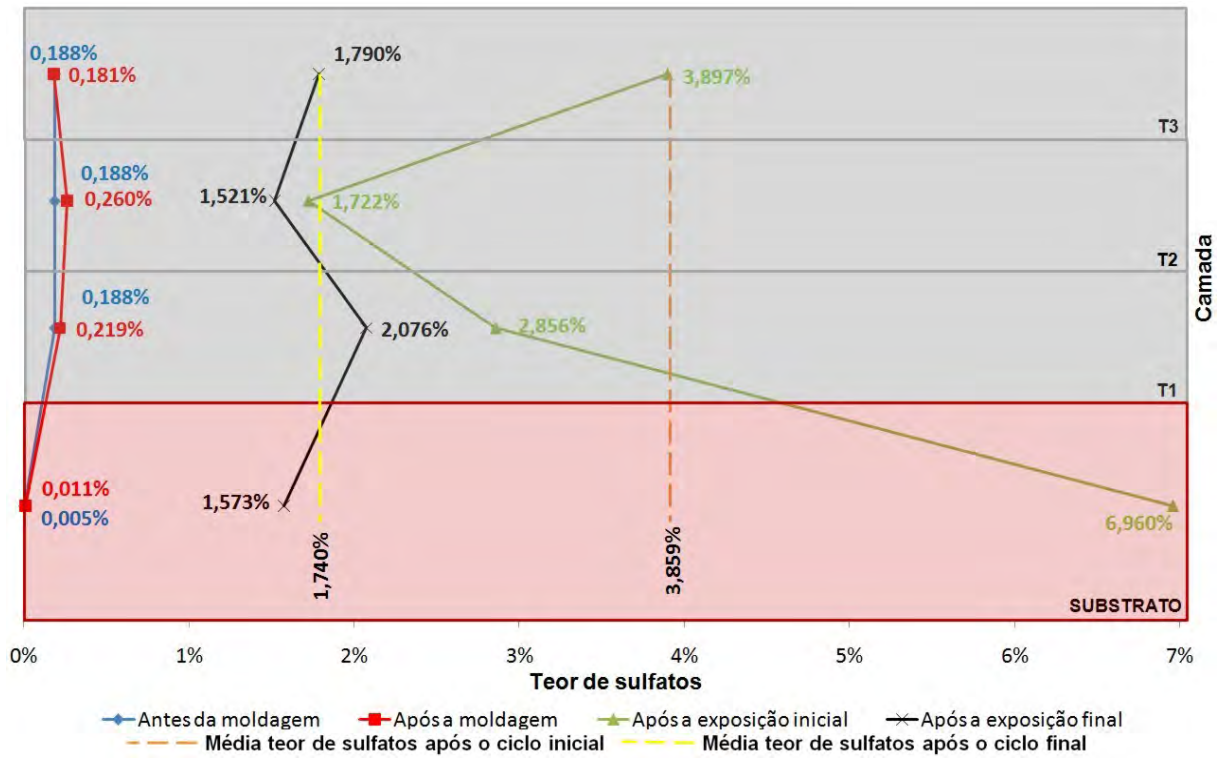


Figura 4.15 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG1SB

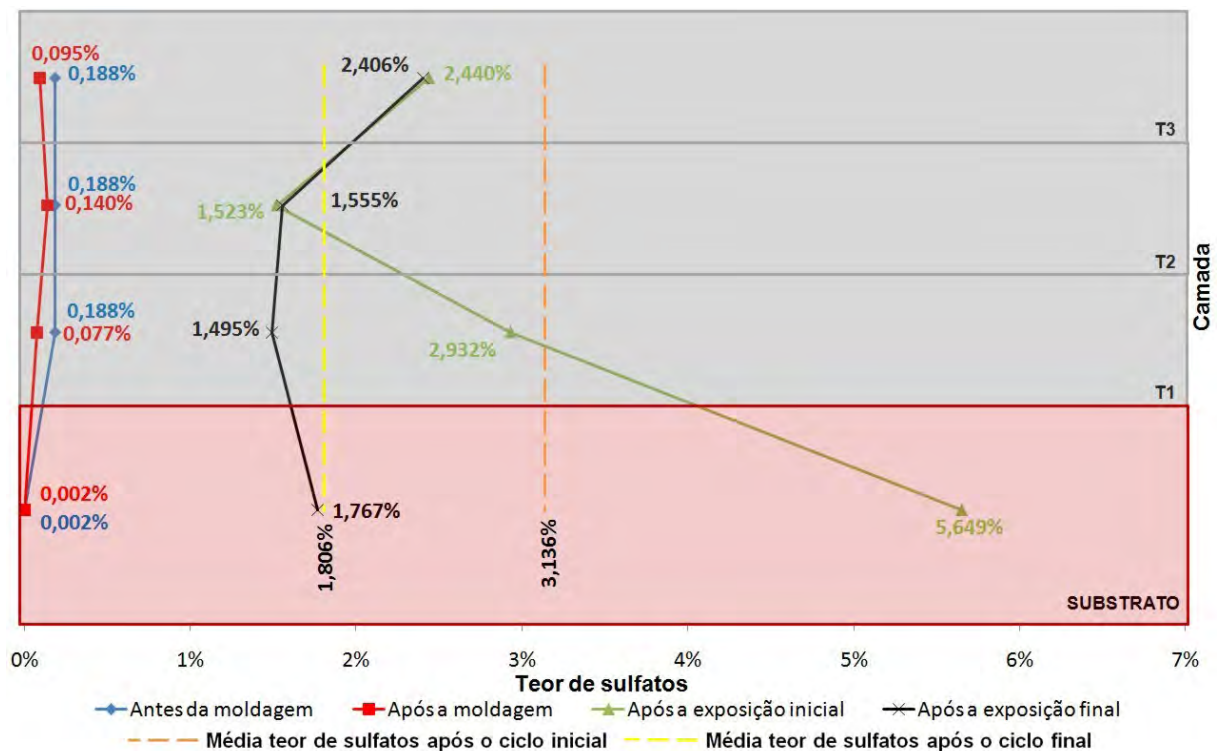


Figura 4.16 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG1CB

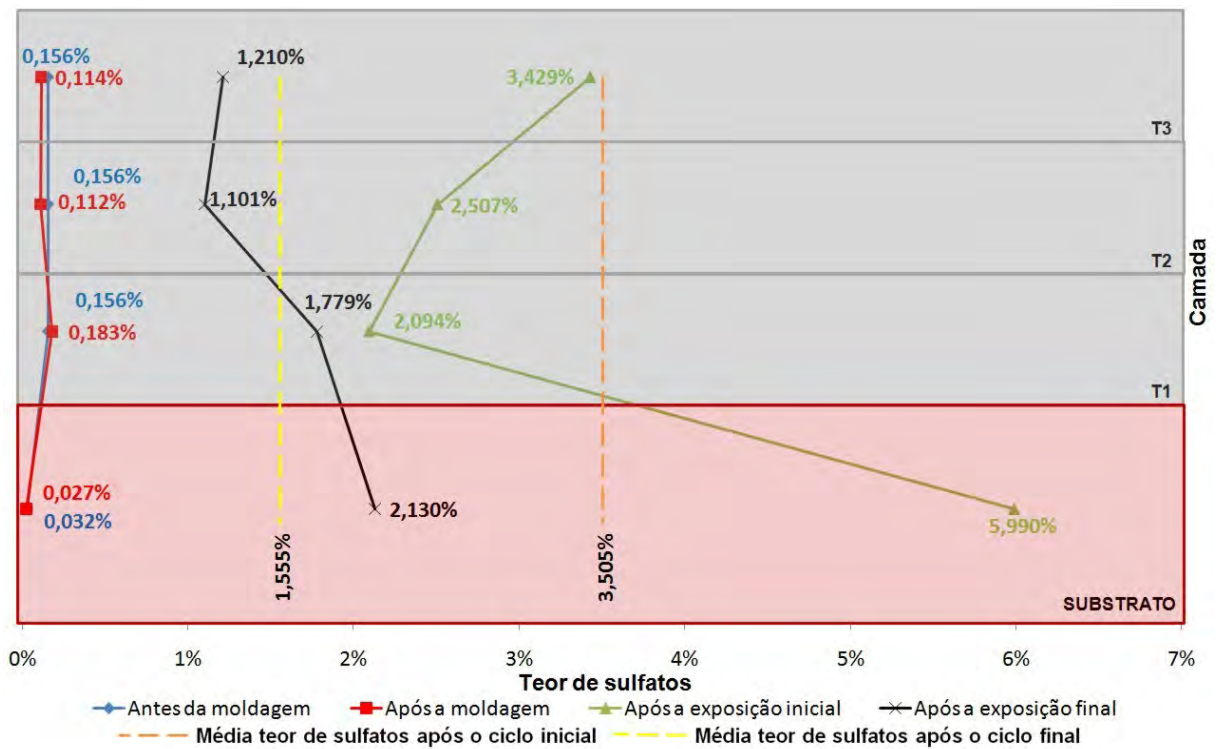


Figura 4.17 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG2SB

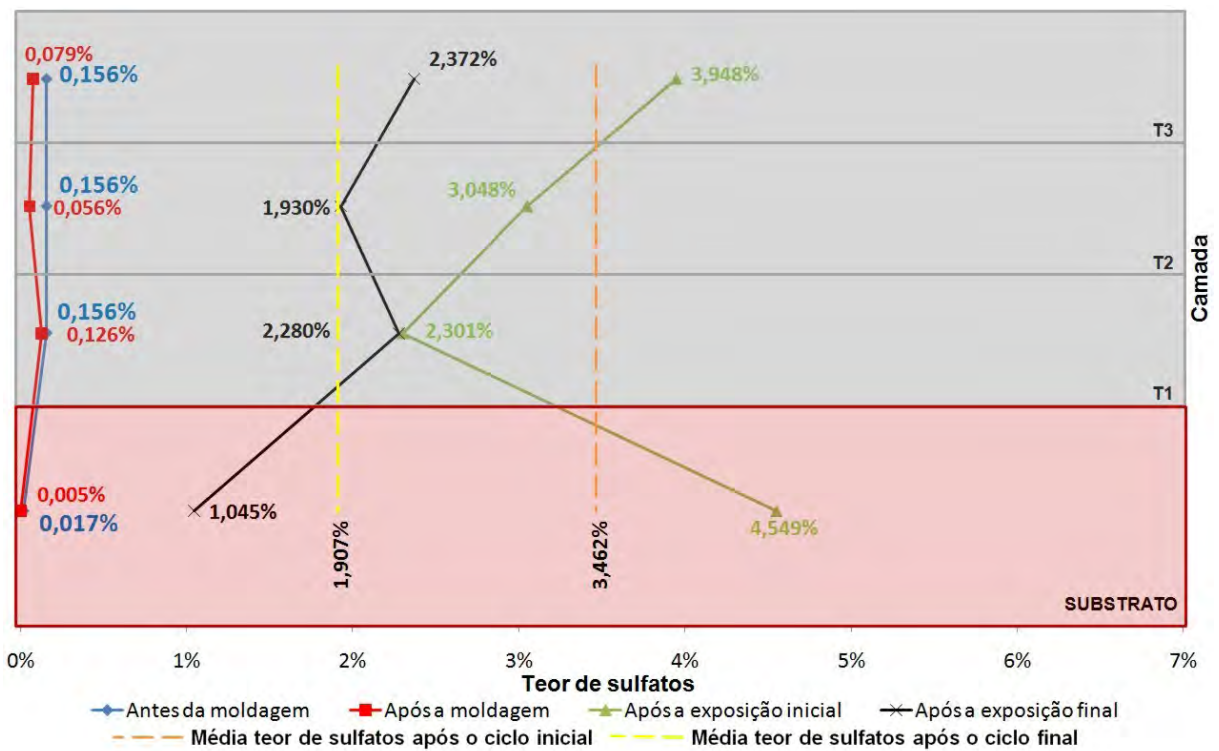


Figura 4.18 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG2CB

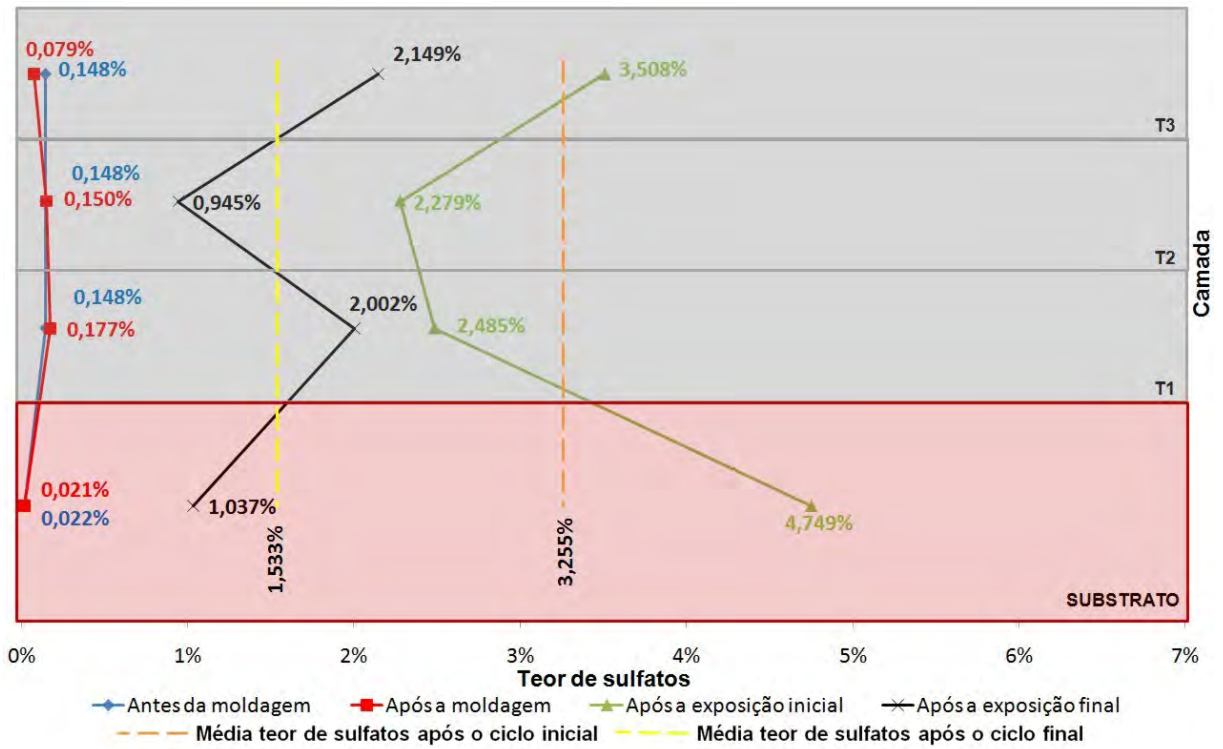


Figura 4.19 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG3SB

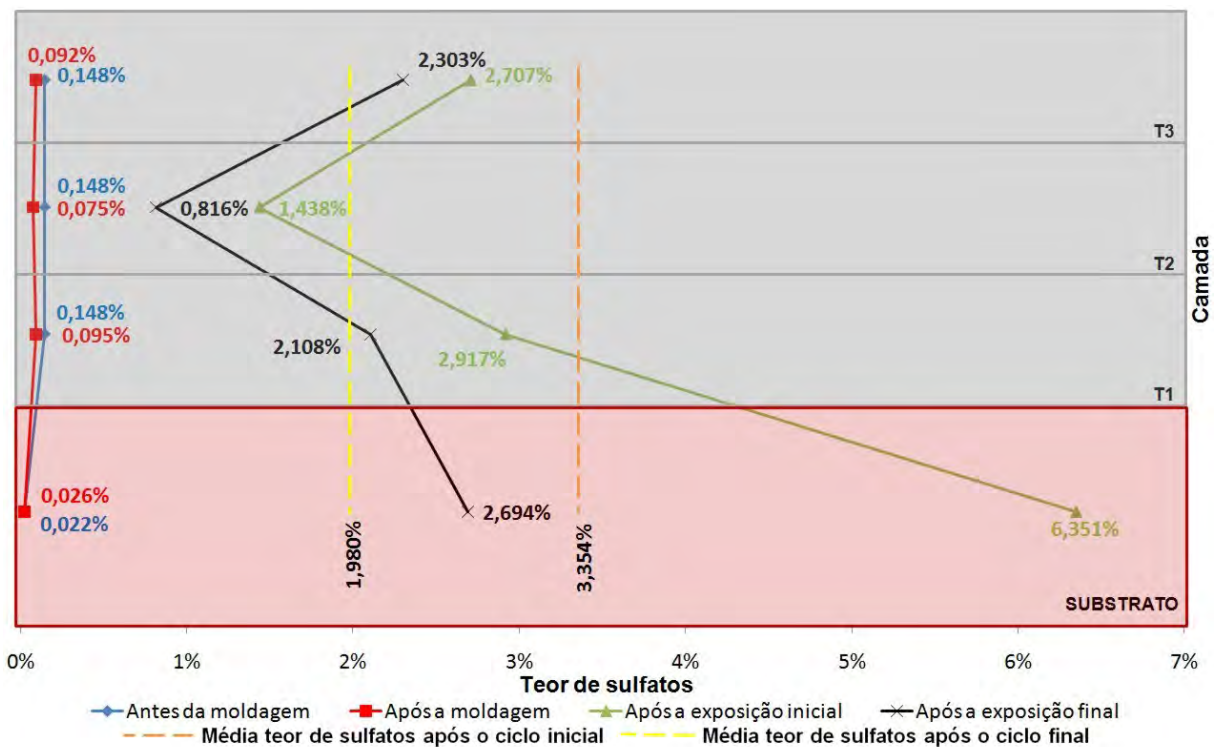


Figura 4.20 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – ADG3CB

Analisando-se o padrão de comportamento das séries submetidas à água deionizada, constatou-se que não foram observadas alterações significativas do teor de sulfatos, após a moldagem, no substrato e na argamassa. Observou-se ainda que as séries CB apresentaram, após o ciclo final de exposição, um maior teor de sulfatos na estabilização, menores reduções e um maior acúmulo de sais na última camada de argamassa, comparadas às séries SB.

A série ADG3 apresentou, quando comparada às demais séries submetidas à água deionizada no ciclo final, uma maior proximidade entre os perfis de distribuição após os ciclos de exposição inicial e final.

Tabela 4.7 – Médias do perfil de distribuição de sulfatos – série AD

Corpo-de-prova	Médias do perfil de distribuição de sulfatos		Redução relativa do teor médio de sulfatos entre os ciclos de exposição inicial e final
	Após o ciclo inicial de exposição	Após o ciclo final de exposição	
ADG1SB	3,859 %	1,740 %	54,91 %
ADG2SB	3,505 %	1,555 %	55,63 %
ADG3SB	3,255 %	1,533 %	52,90 %
ADG1CB	3,136 %	1,806 %	42,41 %
ADG2CB	3,462 %	1,907 %	44,92 %
ADG3CB	3,354 %	1,980 %	40,97 %

Pode-se constatar que após a exposição final houve uma redução do teor de sulfatos, como esperado, uma vez que o sal foi transportado à superfície para formar eflorescências.

Analisando-se a defasagem dos substratos e das diferentes regiões das argamassas em relação às médias dos perfis de distribuição após a exposição final, observa-se uma maior tendência à estabilização nos corpos-de-prova confeccionados com argamassas mais porosas, independente da presença da película de barreira.

Analisando-se separadamente as séries ADSB e ADCB, observou-se que, como esperado, os corpos-de-prova que não dispunham de película de barreira apresentaram uma redução superior, após a exposição final, à série com barreira. Salienta-se que a variação das argamassas teve reduzida influência na redução do teor de sulfatos, com coeficientes de variação de 2,61 % para a série ADSB e 4,69 % para a série ADCB. Constatou-se ainda que a presença da película de barreira acarretou, como esperado, em um maior acúmulo do

teor de sulfatos próximo à superfície, quando comparado à série ADSB, fato possivelmente relacionado ao transporte de vapor possibilitado pela película.

Os perfis de distribuição de sulfatos da série submetida, na exposição final, à solução saturada de sulfato de sódio encontram-se a seguir. A Figura 4.21 e a Figura 4.22 referem-se aos corpos-de-prova moldados com argamassa de MF 1,72, a Figura 4.23 e a Figura 4.24, aos moldados com argamassa de MF 1,79 e, Figura 4.25 e a Figura 4.26, aos moldados com argamassa MF 2,29. As médias dos perfis de distribuição após os ciclos de exposição inicial e final, para a série em questão, encontram-se na Tabela 4.8.

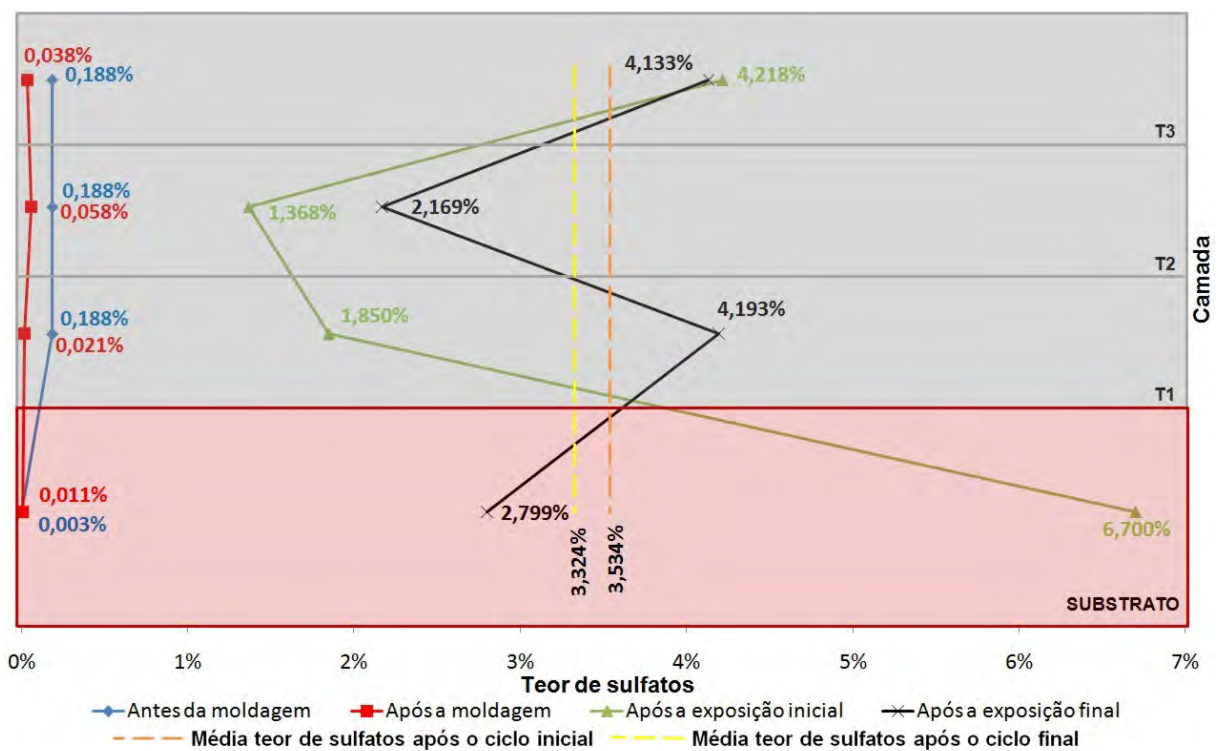


Figura 4.21 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG1SB

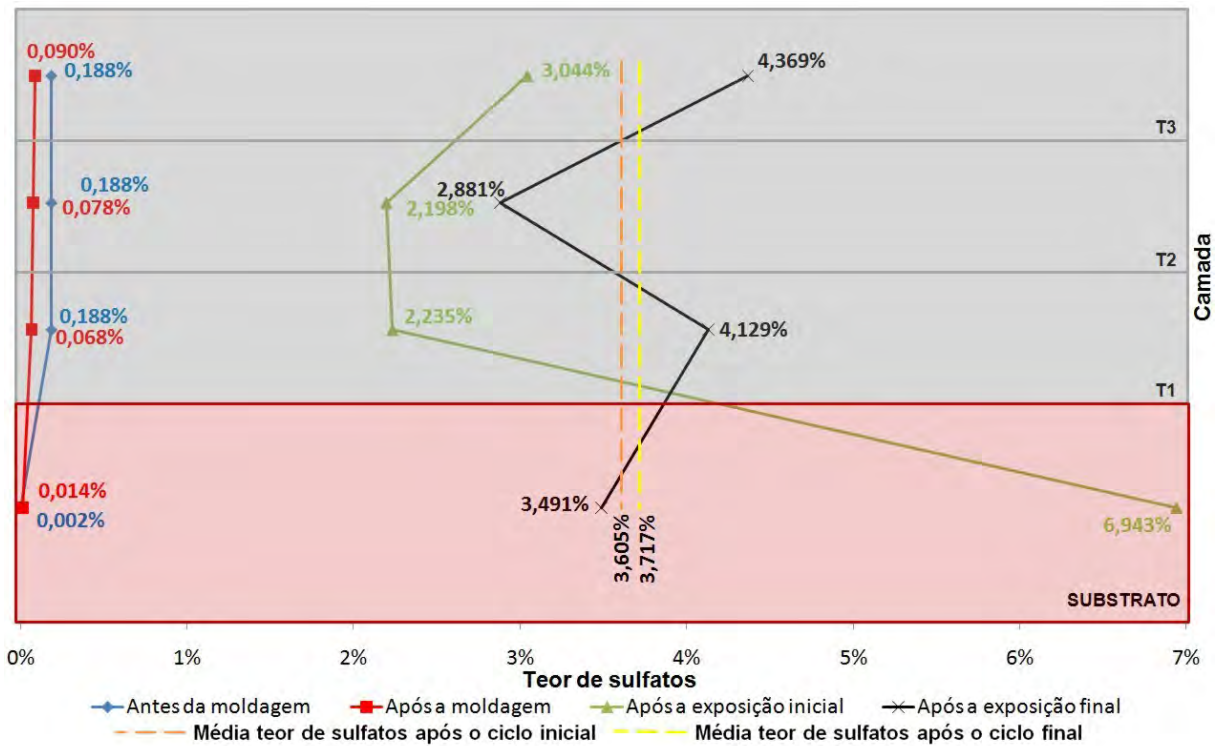


Figura 4.22 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG1CB

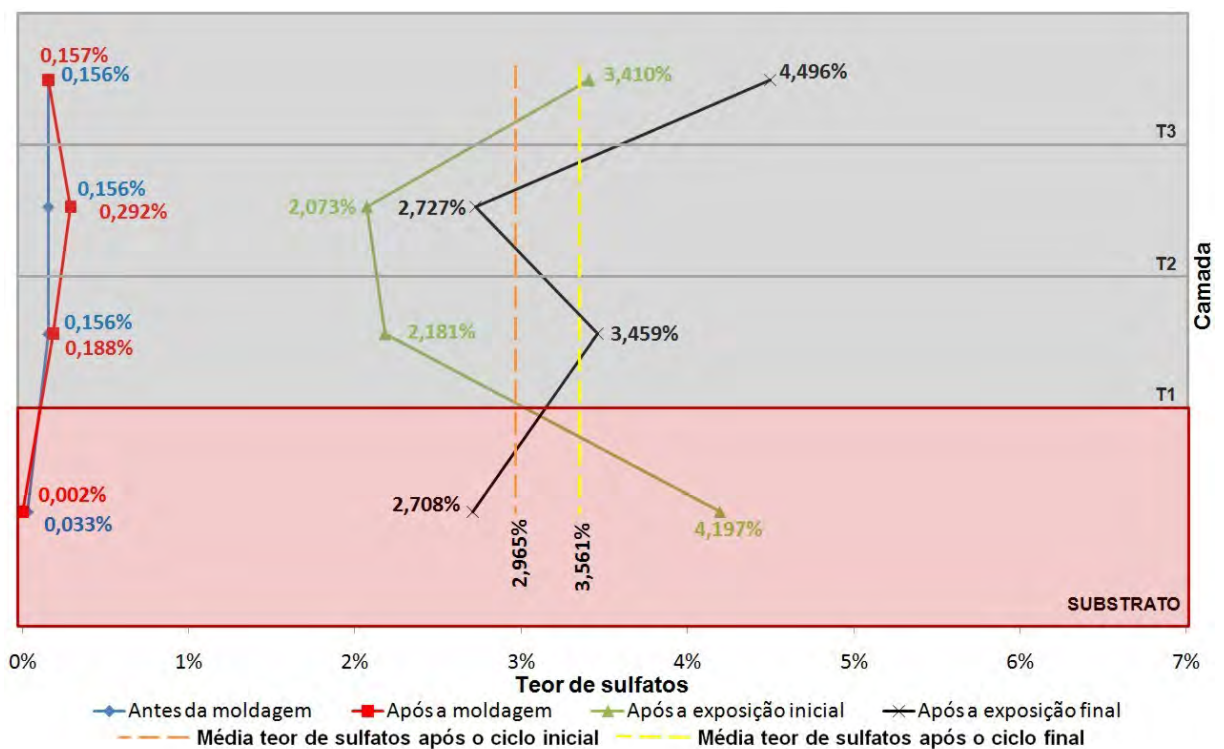


Figura 4.23 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG2SB

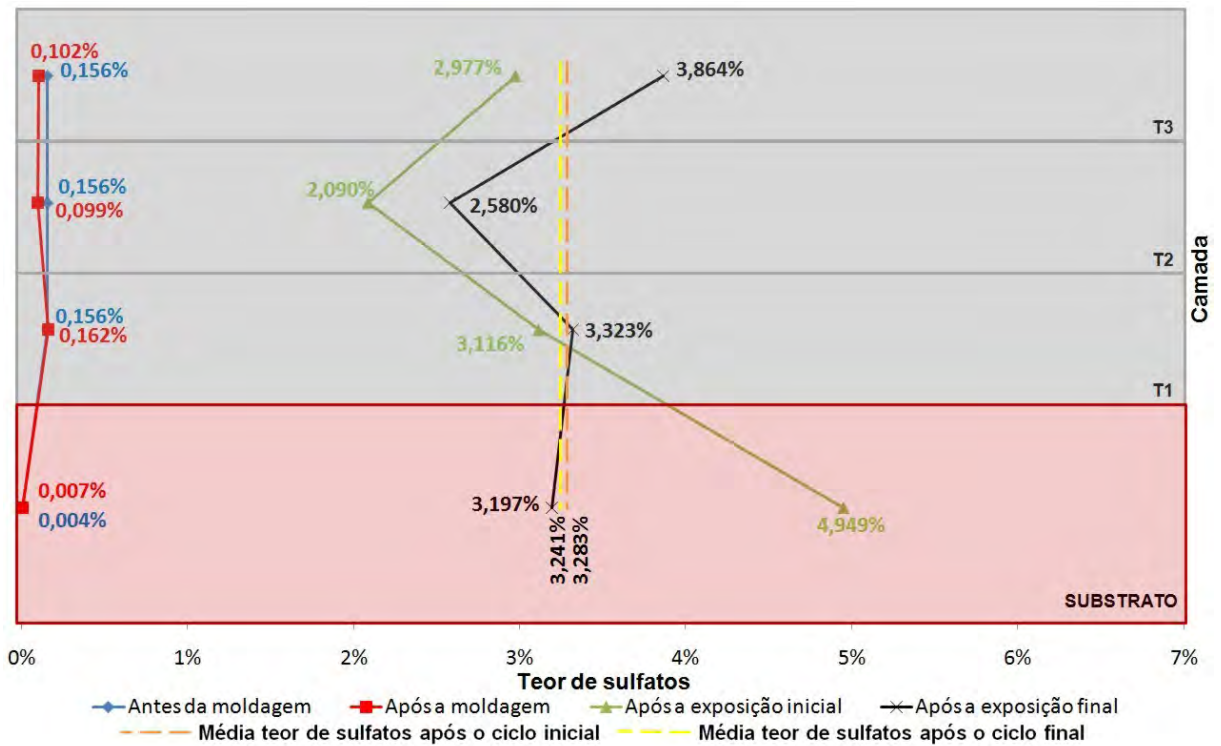


Figura 4.24 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG2CB

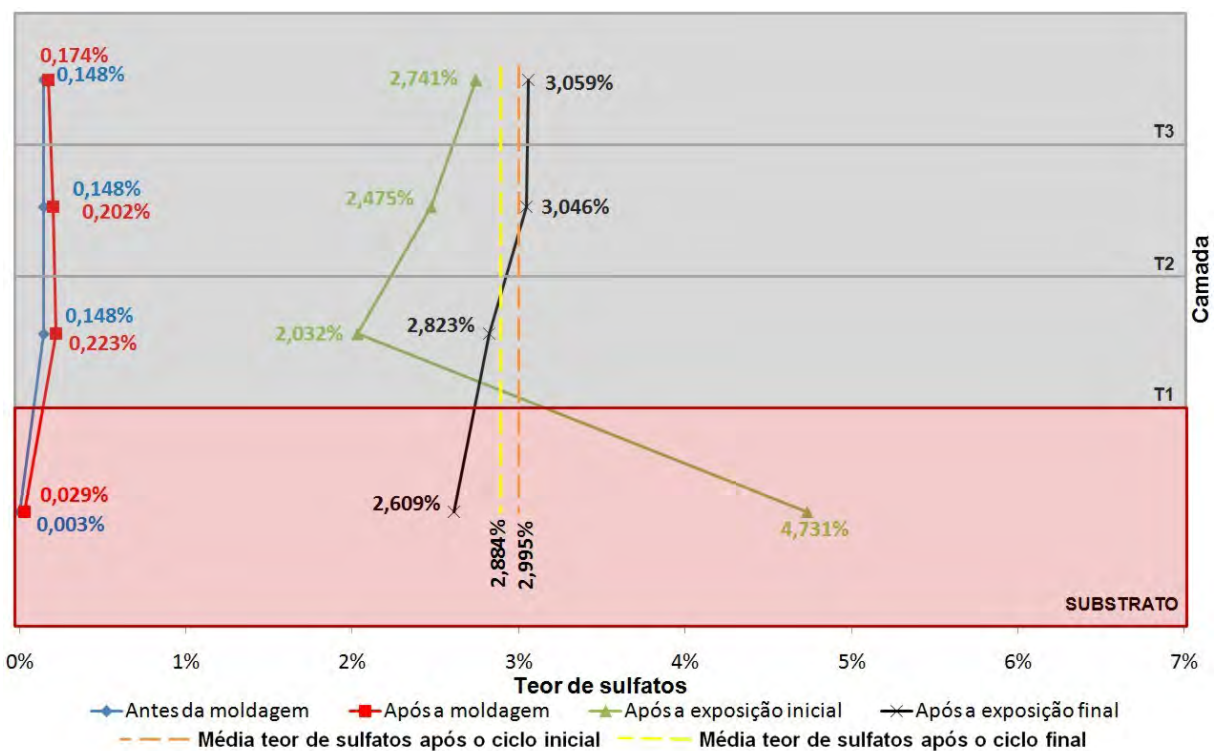


Figura 4.25 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG3SB

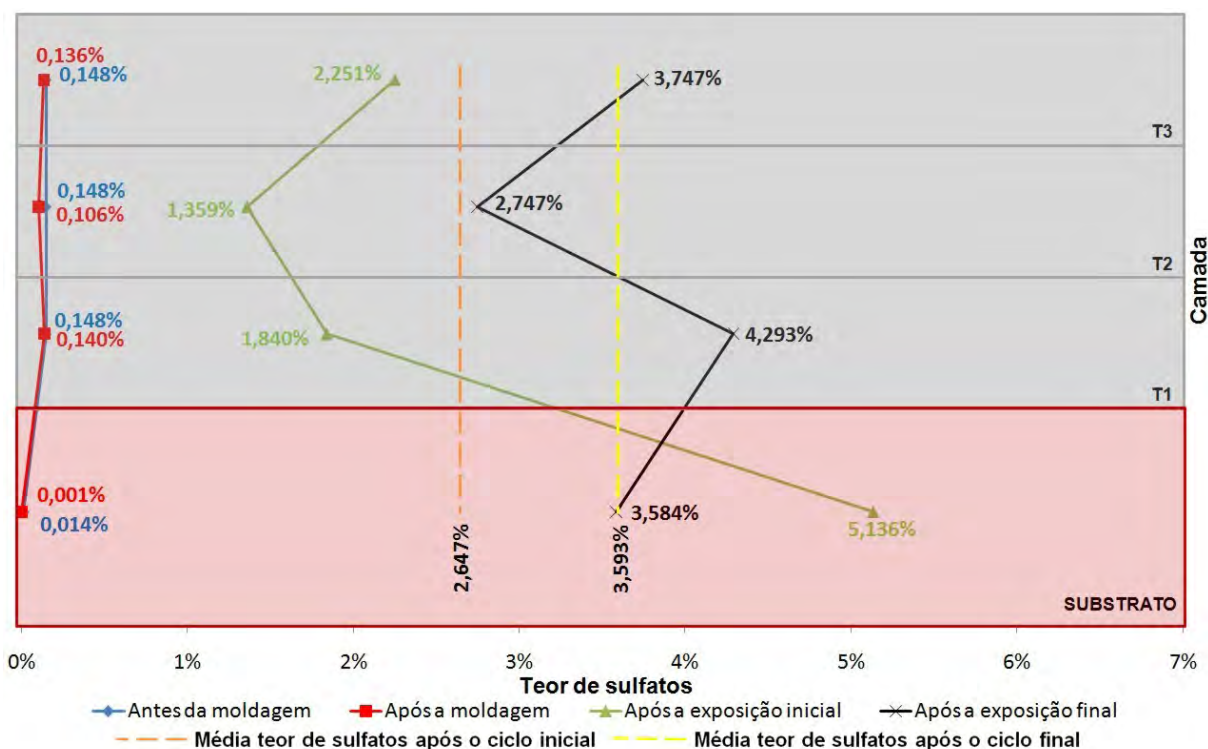


Figura 4.26 – Perfil de distribuição de sulfatos apresentado pelos corpos-de-prova ao longo do trabalho – NAG3CB

Analisando-se o padrão de comportamento das séries submetidas à solução saturada de sulfato de sódio no ciclo final, constatou-se que não foram observadas alterações significativas do teor de sulfatos, no substrato e na argamassa, após a moldagem. Procedimento semelhante ao apresentado pelas séries AD.

Tabela 4.8 – Médias do perfil de distribuição de sulfatos – série NA

Corpo-de-prova	Médias do perfil de distribuição de sulfatos		Redução relativa do teor médio de sulfatos entre os ciclos de exposição inicial e final
	Após o ciclo inicial de exposição	Após o ciclo final de exposição	
NAG1SB	3,534 %	3,324 %	5,94 %
NAG2SB	2,965 %	3,561 %	-20,10 %
NAG3SB	2,995 %	2,884 %	3,71 %
NAG1CB	3,605 %	3,717 %	-3,11 %
NAG2CB	3,283 %	3,241 %	0,13 %
NAG3CB	2,647 %	3,593 %	-35,74 %

Constatou-se que, apesar da alimentação contínua de sulfatos proporcionada pela solução saturada, foi observada uma redução do teor nos substratos cerâmicos após a exposição final, a qual possivelmente encontra-se relacionada com a ruptura parcial da rede capilar destes pela degradação sofrida após a exposição inicial. Observou-se ainda que o teor de sulfatos sofreu um acréscimo na argamassa, após a exposição final, fato também relacionado à alimentação contínua proporcionada pela solução saturada.

As médias dos perfis de distribuição, após a exposição inicial e após a exposição final, são mais uma vez representadas, podendo-se observar, entretanto, uma menor indicação da tendência de estabilização desta última, quando comparado à série AD. Analisando-se a defasagem, em relação aos valores médios, dos substratos e das diferentes regiões das argamassas após a exposição final, observa-se um comportamento contrário ao da série AD: uma maior tendência à estabilização nos corpos-de-prova confeccionados com argamassas menos porosas, independente da presença da película de barreira. Tal fato encontra-se possivelmente associado à ação conjunta de dois fatores: a alimentação contínua de Na_2SO_4 e a deposição dos cristais no interior da rede capilar, diminuindo a mobilidade do sal através da argamassa. Observou-se ainda uma maior proximidade dos perfis de estabilização (após os ciclos de exposição inicial e final), independente da película de barreira, quando comparados aos perfis apresentados pela série AD.

O transporte de vapor possibilitado pela película de barreira fez com que fosse uma vez mais constatado, à exceção dos corpos-de-prova NAG2SB e NAG2CB, que a presença da mesma acarretou em maior acúmulo do teor de sulfatos próximo à superfície, quando comparado à série NASB, apesar da taxa de acréscimo ter sido inferior à apresentada pela série AD (acréscimo de 4,70 % para a série NA e de 45,85 % para a série AD).

De forma geral, pode-se afirmar que a moldagem e cura das amostras exerceu reduzida influência no ingresso e transporte de sulfatos no interior dos corpos-de-prova, e que as diferentes argamassas apresentaram perfis indicativos de revestimento de transporte de sal, segundo classificação adotada por Gonçalves e Rodrigues (2010), evidenciados pelo menor teor verificado em seu terço intermediário. Na série NA o perfil de transporte da argamassa ficou melhor definido após a inserção da película de barreira.

4.4 – MASSA DE SAL EFLORESCIDO

Buscando-se quantificar o fenômeno em estudo, foi determinada a massa de sal eflorescido após o ciclo de exposição inicial à solução saturada de sulfato de sódio, e após terminar o ciclo de exposição final à solução saturada de Na_2SO_4 e à água deionizada.

A Figura 4.27 representa, para a série AD, a configuração superficial (eflorescências e fissuras) antes da remoção dos sais, enquanto a Figura 4.28 representa a mesma configuração para a série NA.

A Figura 4.29, a seguir, ilustra a determinação de massa realizada após o ciclo inicial. Salienta-se que, durante o processo de cristalização, foi identificada a degradação da camada de argamassa localizada próxima à superfície, sendo esta removida juntamente com o sal eflorescido quando da determinação da massa, e excluída por processos de filtração, já especificados no procedimento experimental.







CP	Configuração Superficial	CP	Configuração Superficial
ADG1SB		ADG1CB	
ADG2SB		ADG2CB	
ADG3SB		ADG3CB	

Figura 4.27 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova após a exposição inicial – CPs AD







CP	Configuração Superficial	CP	Configuração Superficial
NAG1SB		NAG1CB	
NAG2SB		NAG2CB	
NAG3SB		NAG3CB	

Figura 4.28 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova após a exposição inicial – CPs NA

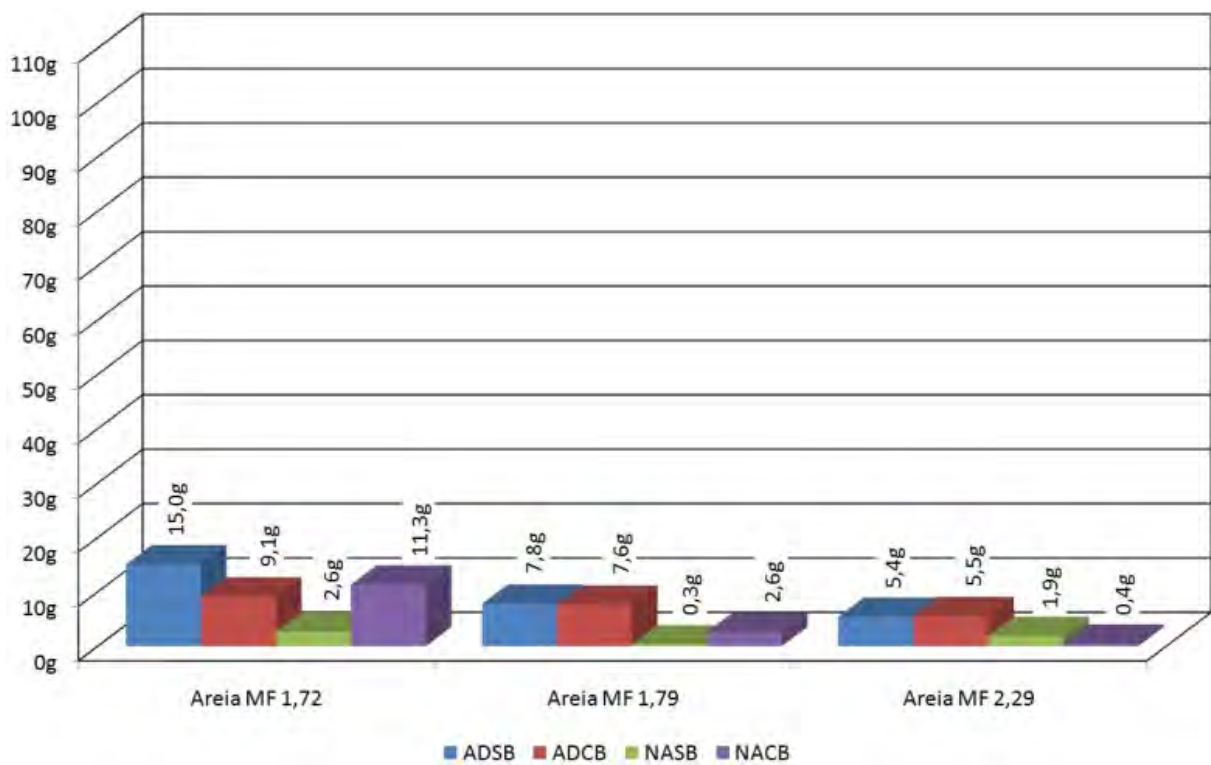


Figura 4.29 – Massa de sal eflorescido após o ciclo de exposição inicial, por argamassa

Observa-se que a massa de sal eflorescido, após a exposição inicial, apresentou grandes coeficientes de variação para as séries confeccionadas com argamassas de agregado de mesma granulometria (54,6 % para areia MF 1,72; 81,5 % para areia MF 1,79 e 77,2 % para areia MF 2,29). Considerando-se, entretanto, além da argamassa, a seqüência de exposição (inicialmente a série AD, e, posteriormente, a série NA), observa-se uma aproximação da ordem de grandeza das massas eflorescidas, sobretudo da série AD, embora não necessariamente acompanhada da redução do coeficiente de variação.

Ainda relacionado ao ciclo inicial de exposição constatou-se, sobretudo quando considerada a seqüência de exposição (inicialmente toda a série AD e, posteriormente, toda a série NA), uma tendência de comportamento quando relacionada a massa de sal eflorescido e a porosidade da argamassa, sendo a massa eflorescida maior, quanto maior a porosidade.

A Figura 4.30 e a Figura 4.31, a seguir apresentadas, representam graficamente a massa de sal eflorescida após o ciclo final, cujos dados encontram-se, também na Tabela 4.9, a qual também apresenta a redução relativa proporcionada pela presença da película de barreira. Uma comparação gráfica entre os ciclos encontra-se na Figura 4.33.

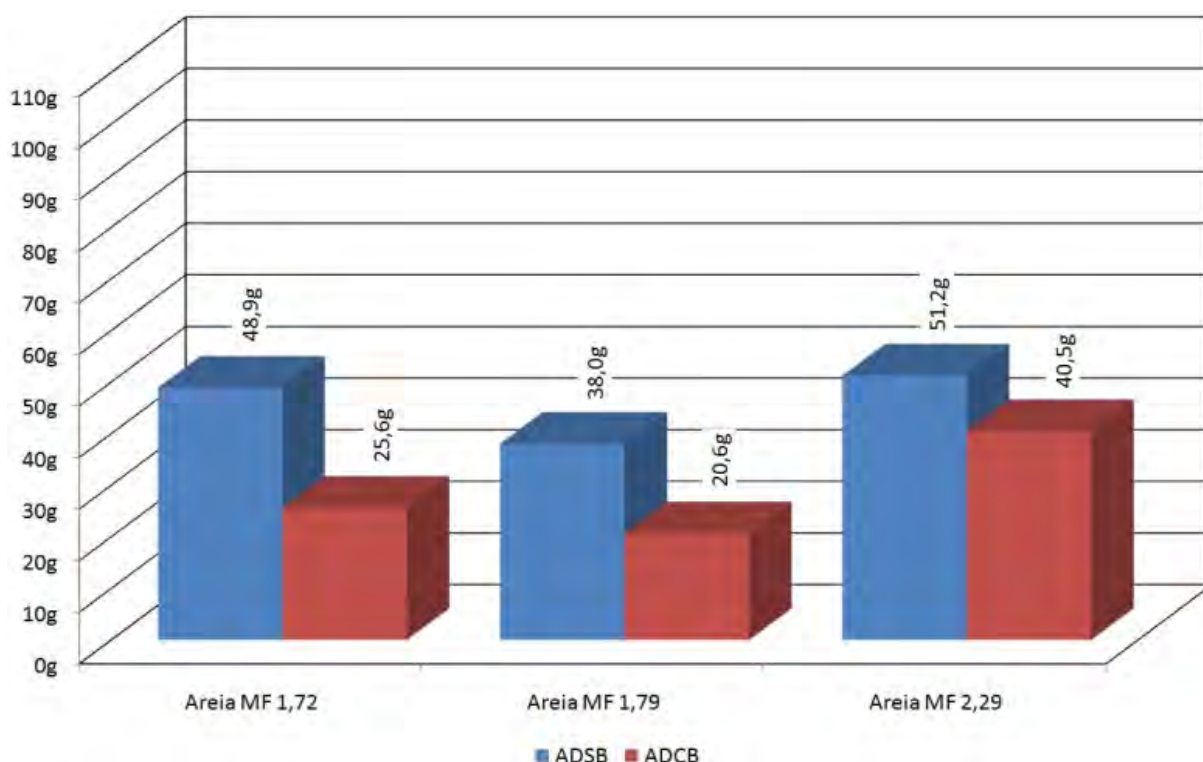


Figura 4.30 – Massa de sal eflorescido após o ciclo de exposição final, por argamassa – série AD

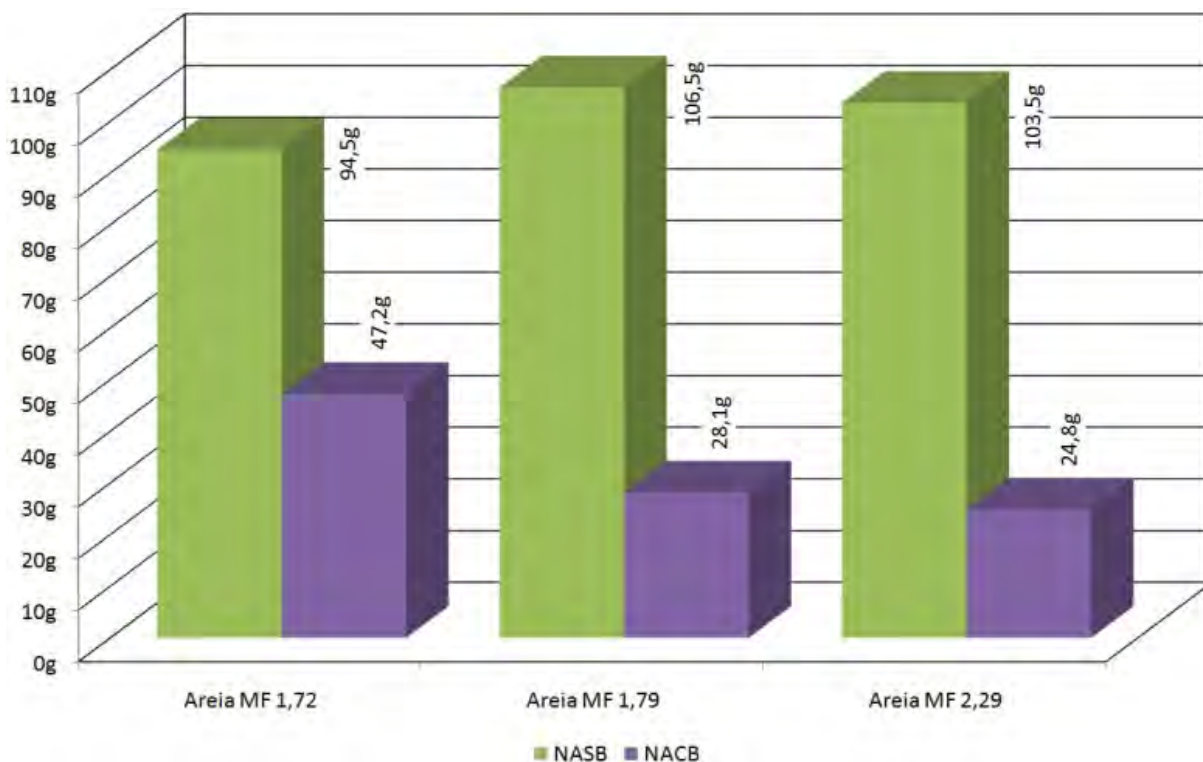


Figura 4.31 – Massa de sal eflorescido após a exposição final, por argamassa – série NA

Tabela 4.9 – Massas eflorescidas após o ciclo de exposição final e redução relativa proporcionada pela película de barreira

Série	Massa de sal eflorescida após o ciclo final de exposição		Redução relativa da massa de sal eflorescida proporcionada pela presença da película de barreira
	Série SB	Série CB	
ADG1	48,9 g	25,6 g	47,65 %
ADG2	38,0 g	20,6 g	45,79 %
ADG3	51,2 g	40,5 g	20,90 %
NAG1	94,5 g	47,2 g	50,05 %
NAG2	106,5 g	28,1 g	73,62 %
NAG3	103,5 g	24,8 g	76,04 %

Analisando-se as massas eflorescidas após o ciclo de exposição final, ao contrário do constatado após a exposição inicial, não foi observada correlação significativa entre a massa eflorescida e a porosidade das argamassas, possivelmente devido às alterações sofridas pela rede capilar quando da cristalização dos sais no interior dos corpos-de-prova. Salienta-se também que o maior incremento de massa observado na série NA, em relação à série AD, deve-se à alimentação contínua proporcionada pela solução saturada de sulfato de sódio.

A presença da película de barreira reduziu significativamente a massa de sal eflorescido nas séries analisadas. Na série submetida, no ciclo final, à solução saturada de sulfato de sódio foi observada a maior redução, a qual foi tanto maior, quanto menor a porosidade das argamassas. Já na série submetida à água deionizada foram observadas menores reduções, quando comparada à série NA, sendo tanto menor a redução quanto menor a porosidade da argamassa. Tal comportamento possivelmente está relacionado à maior quantidade de sal disponível para possibilitar o tamponamento da rede de poros da série NA, aumentando a concentração dos sais, mas diminuindo sua mobilidade, quanto menor a porosidade da argamassa. A Figura 4.32 ilustra graficamente a redução da massa de sal eflorescido proporcionada pela película de barreira nas amostras ensaiadas e, a Figura 4.33, a massa de sal eflorescido por corpo-de-prova.

Analisando-se separadamente as séries AD e NA, observou-se, como esperado, a existência de uma correlação entre a massa de sal eflorescida e a redução ocorrida no teor de sulfatos dos corpos-de-prova entre os ciclos de exposição inicial e final.



Figura 4.32 – Redução da massa de sal eflorescido proporcionada pela película de barreira, em relação às séries ADSB e NASB

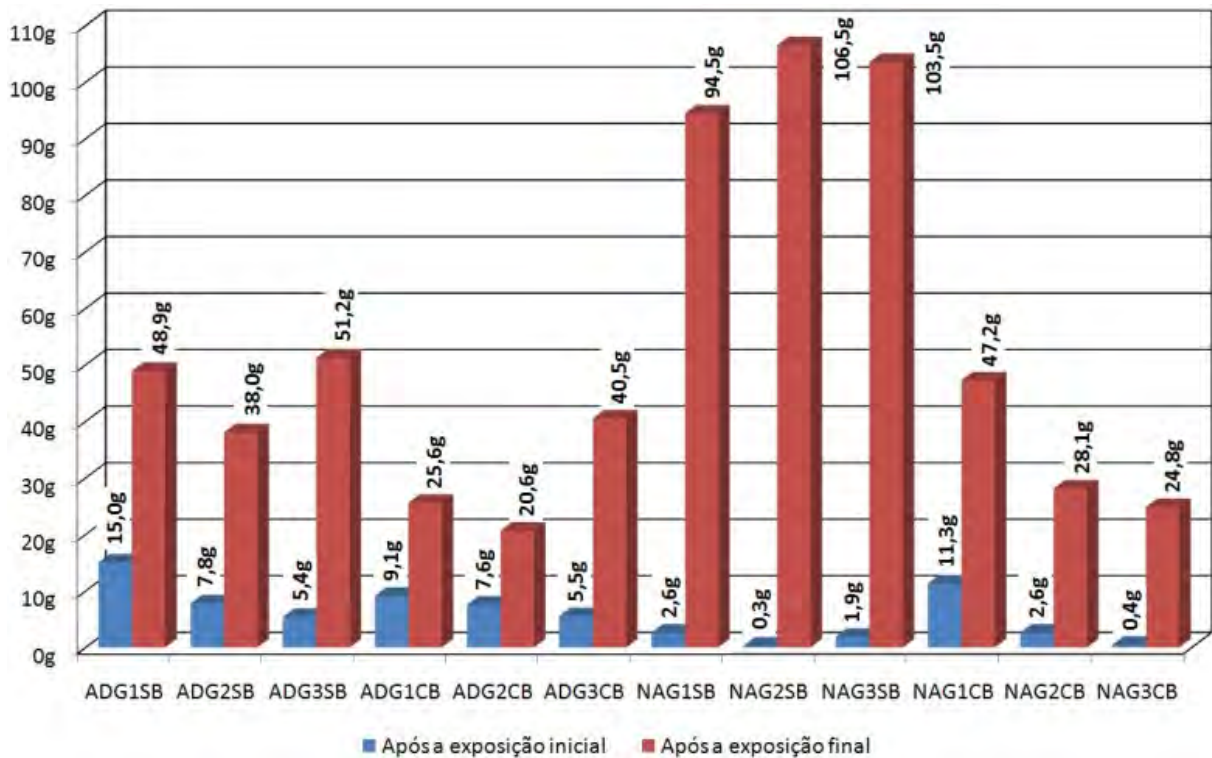


Figura 4.33 – Massa de sal eflorescido, por corpo-de-prova

4.5 – MONITORAMENTO DA ÁREA EFLORESCIDA DURANTE O CICLO DE EXPOSIÇÃO FINAL E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA E DA PELÍCULA DE BARREIRA

Anteriormente ao ciclo de exposição final à água deionizada ou à solução saturada de sulfato de sódio, foi registrado o estado apresentado pela superfície da argamassa e do substrato dos corpos-de-prova. A Figura 4.34 ilustra a configuração apresentada pela série ADSB, a Figura 4.35 a da série ADCB, a Figura 4.36 a da série NASB e, a Figura 4.37 a configuração da série NACB. A partir de então, as séries foram submetidas ao ciclo de exposição final, sendo registrada a evolução da área eflorescida, a qual encontra-se no APÊNDICE H da presente tese.

A desagregação de grande parte dos corpos-de-prova impossibilitou o registro fotográfico da configuração da superfície da argamassa e do substrato, após a remoção da massa de sal eflorescida no ciclo de exposição final.





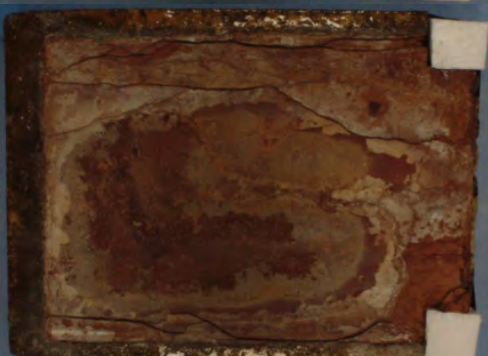

Corpo-de-prova	Configuração Superficial	
	Substrato	Argamassa
ADG1SB		
ADG2SB		
ADG3SB		

Figura 4.34 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova ADSB anteriormente ao ciclo de exposição final à água deionizada

Pôde-se observar na série ADSB a presença de extensa fissuração no substrato cerâmico, atingindo toda sua espessura, com padrões longitudinais e transversais predominantes e abertura média de 0,4 mm. À exceção do corpo-de-prova ADG1SB, o qual apresentou fissuras superficiais dispostas de forma radial, a partir de seu centro, e transversalmente na região próxima do eletrodo, com abertura média de 0,1 mm, não foram observadas fissuras na superfície da argamassa.






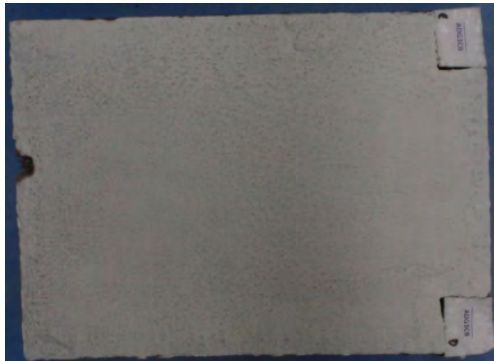
Corpo-de-prova	Configuração Superficial	
	Substrato	Argamassa
ADG1CB		
ADG2CB		
ADG3CB		

Figura 4.35 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova ADCB anteriormente ao ciclo de exposição final à água deionizada

A série ADCB apresentou uma menor fissuração no substrato, quando comparado com a série ADSB, com as fissuras dispostas principalmente na periferia do mesmo, atingindo toda sua espessura e possuindo abertura média de 0,4 mm. Os corpos-de-prova ADG2CB e ADG3CB possuíam pequenas e esparsas fissuras, com abertura média de 0,1 mm, localizadas radialmente a partir do centro (ADG2CB) e próximas do eletrodo e da região de extração da amostra para porosidade (ADG3CB). Estas fissuras foram posteriormente preenchidas pela aplicação da película de barreira.







Corpo-de-prova	Configuração Superficial	
	Substrato	Argamassa
NAG1SB		
NAG2SB		
NAG3SB		

Figura 4.36 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova NASB anteriormente ao ciclo de exposição final à solução saturada de Na_2SO_4

Após a observação da série NASB constatou-se um número menor de fissuras no substrato cerâmico, com aberturas médias de 0,2 mm (NAG1SB e NAG3SB) e 0,4 mm (NAG2SB), atingindo toda sua espessura e dispostas principalmente no sentido longitudinal e localizadas, sobretudo, na periferia das placas. Observou-se, ainda, uma extensa esfoliação da superfície do substrato NAG3SB. A argamassa dos corpos-de-prova NAG1SB e NAG3SB apresentou fissuras superficiais esparsas dispostas na periferia dos corpos-de-prova, com abertura média de 0,1 mm.




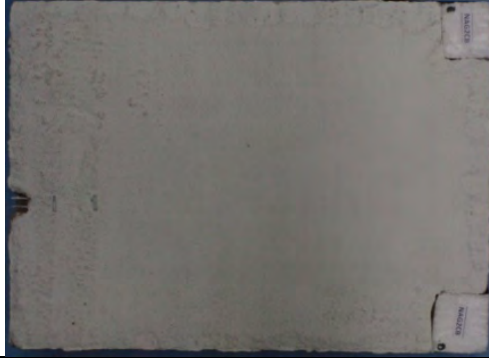

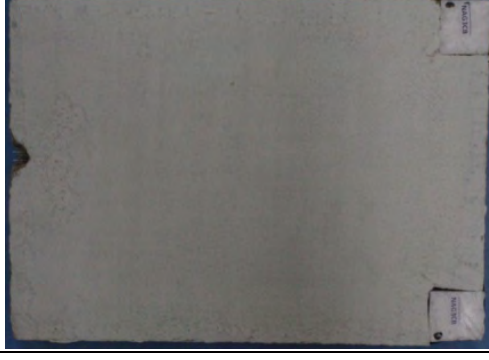
Corpo-de-prova	Configuração Superficial	
	Substrato	Argamassa
NAG1CB		
NAG2CB		
NAG3CB		

Figura 4.37 – Configuração apresentada pela superfície dos corpos-de-prova NACB anteriormente ao ciclo de exposição final à solução saturada de Na_2SO_4

A série NACB apresentou esfoliação nos substratos, com presença de fissuras de abertura média 0,3 mm, ao longo da espessura das placas e dispostas principalmente no comprimento e próximo à periferia. Os corpos-de-prova NAG1CB e NAG2CB apresentaram fissuras superficiais com abertura média de 0,1 mm dispostas principalmente na periferia, as quais foram posteriormente preenchidas com a aplicação da película de barreira. O corpo-de-prova NAG1CB apresentou o deslocamento de sua lateral esquerda, a qual foi reestruturada com epóxi antes da aplicação da película de barreira.

A ordem de formação das eflorescências nas séries submetidas à água deionizada e à solução saturada de Na_2SO_4 , no ciclo de exposição final, a partir das observações colhidas no APÊNDICE H, são apresentadas na Tabela 4.10 e na Tabela 4.11, respectivamente.

Tabela 4.10 – Ordem de formação das eflorescências no ciclo de exposição final – série AD

Corpo-de-prova	Padrão de formação das eflorescências		
	1º	2º	3º
ADG1SB	Ao longo das fissuras, no centro	Periferia	Centro
ADG2SB	Próximo ao sensor	Periferia	Centro
ADG3SB	Próximo ao sensor	Periferia	Centro
ADG1CB	Periferia	Centro	-
ADG2CB	Ao longo das fissuras previamente existentes, no centro	Periferia	Centro
ADG3CB	Periferia	Centro	-

Tabela 4.11 – Ordem de formação das eflorescências no ciclo de exposição final – série NA

Corpo-de-prova	Padrão de formação das eflorescências		
	1º	2º	3º
NAG1SB	Periferia, de forma intensa e repentina	Centro	-
NAG2SB	Ao longo das fissuras, no centro	Próximo ao sensor	Centro
NAG3SB	Próximo ao sensor	Ao longo das fissuras, no centro	Periferia
NAG1CB	Ruptura no reparo realizado com epóxi	Periferia	Centro
NAG2CB	Periferia	Centro	-
NAG3CB	Periferia	Centro	-

Observou-se que, de forma geral, as eflorescências formaram-se inicialmente ao longo das fissuras originadas no ciclo de exposição inicial, ou, quando percebida a desagregação da argamassa próxima ao sensor de umidade, no entorno deste último. Segue-se então a formação na periferia dos corpos-de-prova e, finalmente, em seu centro.

A evolução da área eflorescida, durante o ciclo de exposição final, das séries confeccionadas com argamassas com areia MF 1,72 encontra-se graficamente ilustrada na Figura 4.38 e na Figura 4.39. A Figura 4.40 e a Figura 4.41, por sua vez, apresentam a evolução da área eflorescida, durante o mesmo ciclo, para as séries confeccionadas com argamassas com areia MF 1,79 e, a Figura 4.42 e a Figura 4.43, para as séries confeccionadas com argamassa com areia MF 2,29.

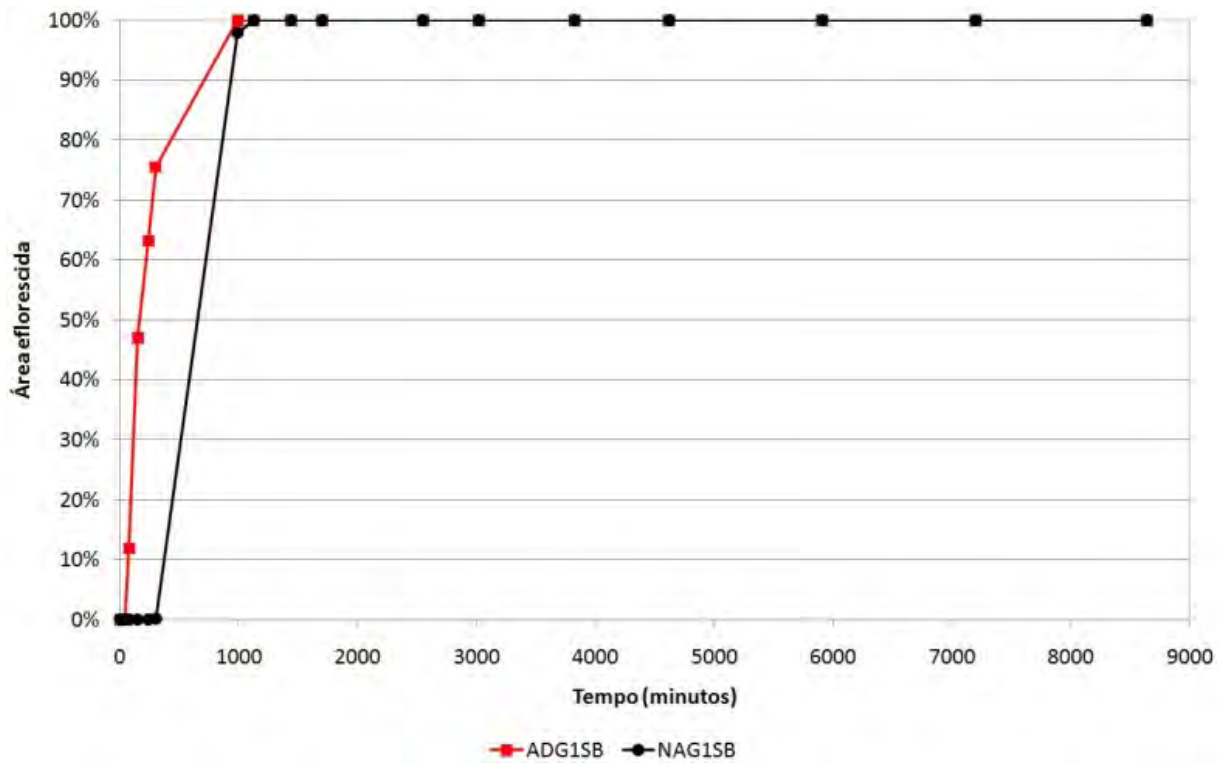


Figura 4.38 – Evolução da área efluorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,72 – série sem película de barreira

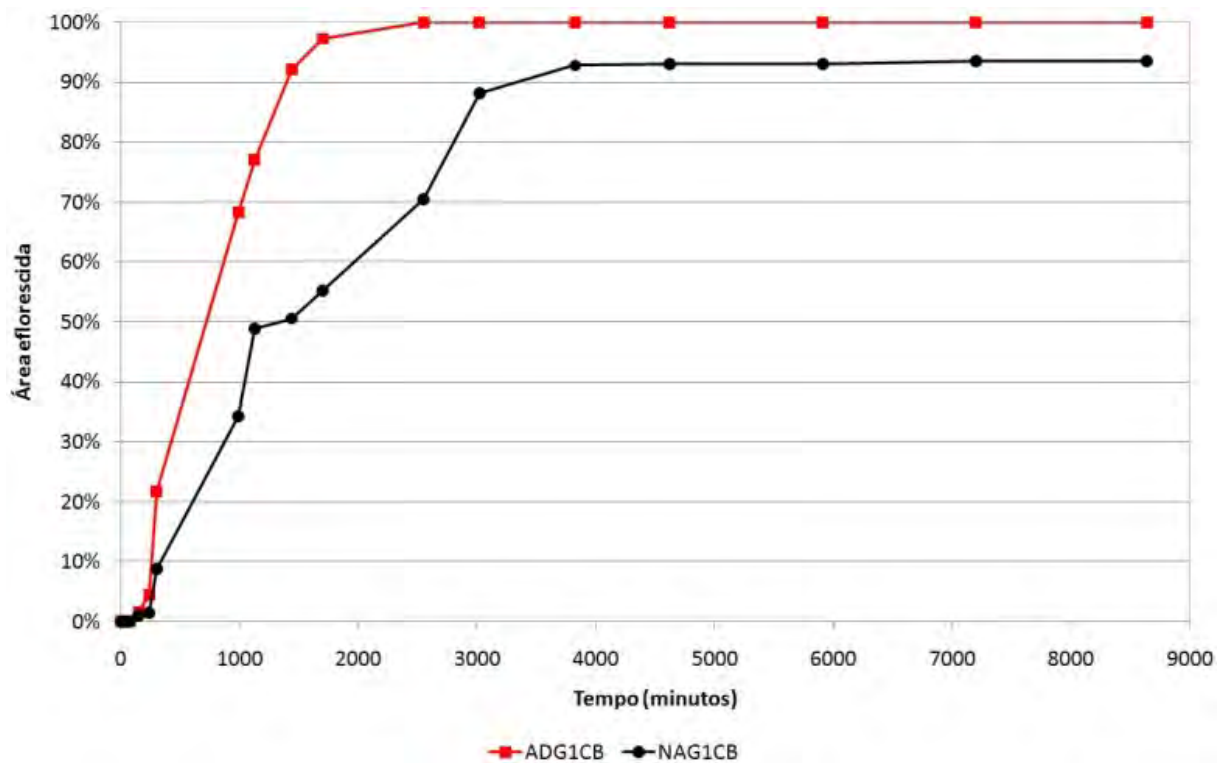


Figura 4.39 – Evolução da área efluorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,72 – série com película de barreira

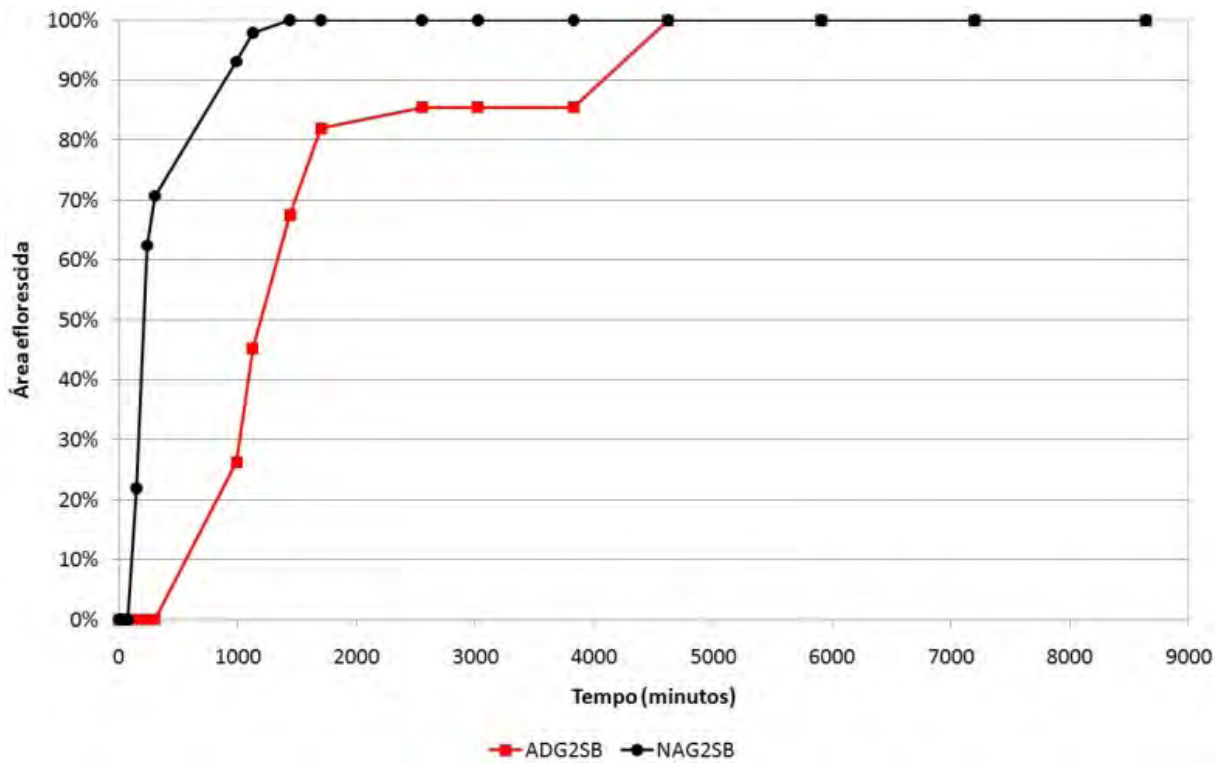


Figura 4.40 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,79 – série sem película de barreira

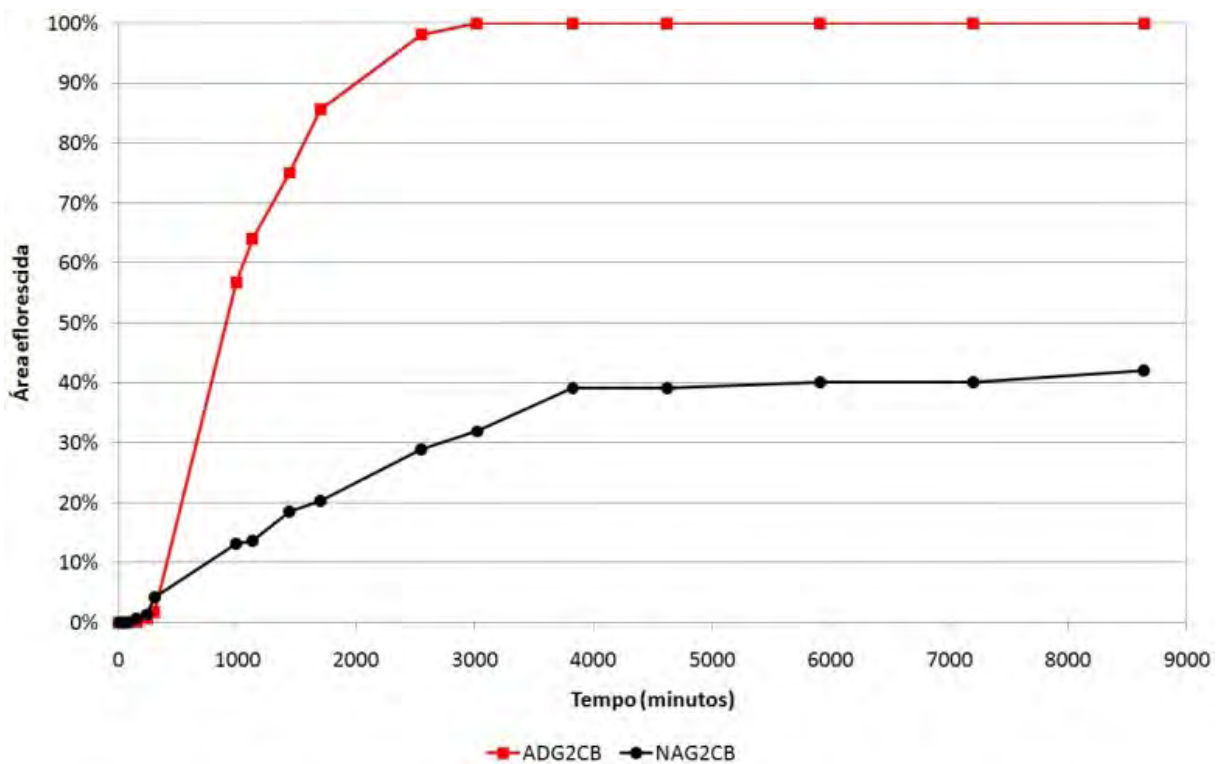


Figura 4.41 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 1,79 – série com película de barreira

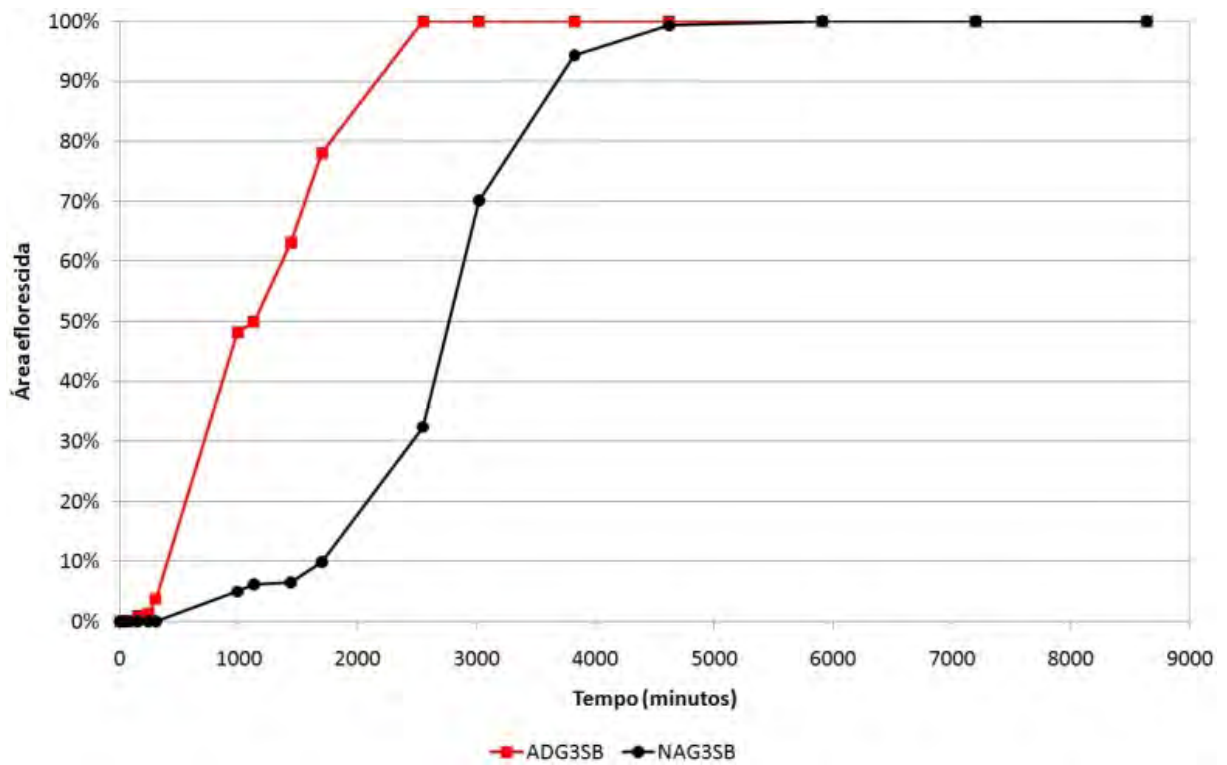


Figura 4.42 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 2,29 – série sem película de barreira

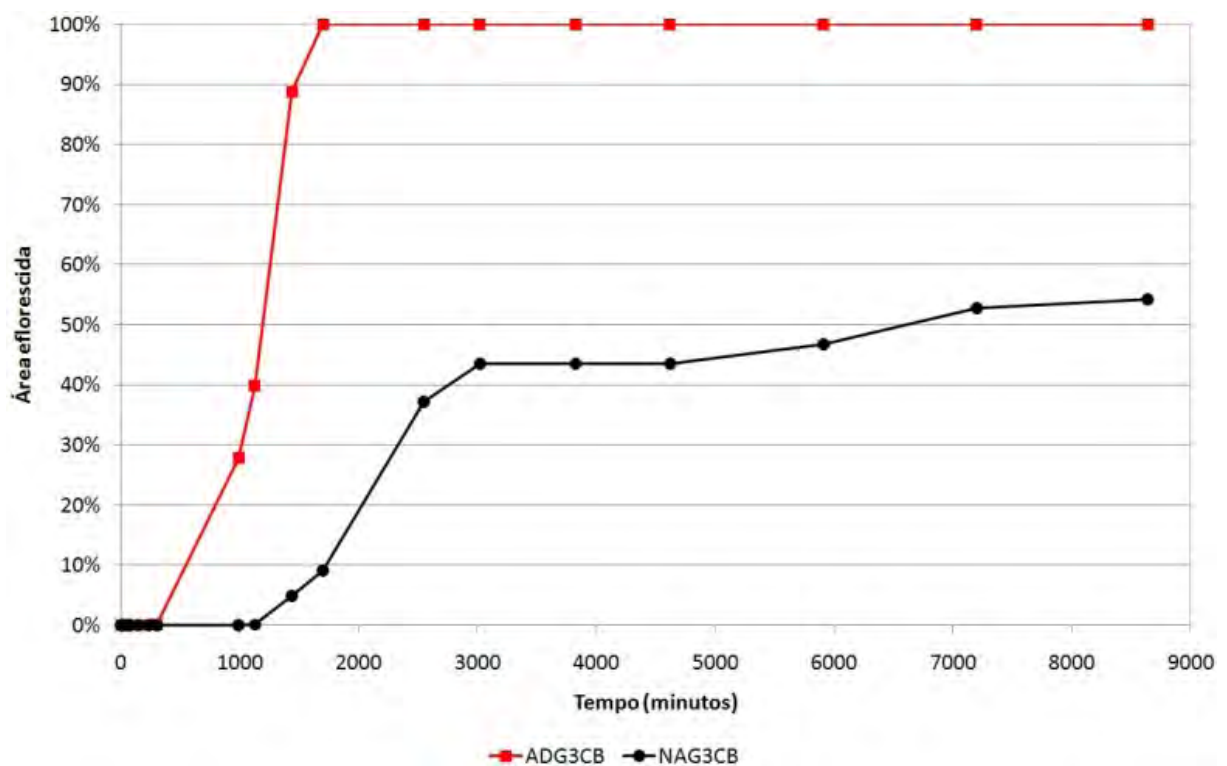


Figura 4.43 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, argamassa MF 2,29 – série com película de barreira

Pôde-se observar que a película de barreira retardou, mas não impediu a formação de eflorescências, as quais, na série NACB, não atingiram a totalidade da superfície. Constatou-se também que as séries que possuíam a película de barreira apresentaram danos mais extensos ao revestimento de argamassa que as séries SB, fato relacionado à maior concentração de sais logo abaixo da película, em relação àquelas séries.

À exceção do corpo-de-prova NAG2SB, os corpos-de-prova submetidos à água deionizada apresentaram sua máxima superfície eflorescida em um intervalo de tempo inferior ao apresentado pelos corpos-de-prova submetidos à solução de sulfato de sódio, tanto na série SB quanto na série CB, fato possivelmente relacionado ao maior tamponamento dos poros pelos cristais de sulfato de sódio na série NA.

Após a elaboração da representação gráfica da evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final, foi determinada a velocidade de formação das eflorescências pela inclinação da reta ajustada entre a área eflorescida e o tempo decorrido. A Tabela 4.12 contém os dados determinados, juntamente com o tempo correspondente à eflorescência máxima formada, determinada pela curva assintótica.

Tabela 4.12 – Velocidade de formação de eflorescências e tempo correspondente à máxima área eflorescida no ciclo de exposição final

Corpo-de-prova	Velocidade de formação das eflorescências	Tempo correspondente à eflorescência máxima
ADG1SB	0,854 %/min	990 min
ADG2SB	1,093 %/min	4620 min
ADG3SB	0,347 %/min	2550 min
ADG1CB	0,408 %/min	2550 min
ADG2CB	0,408 %/min	3020 min
ADG3CB	1,266 %/min	1700 min
NAG1SB	3,912 %/min	1125 min
NAG2SB	1,242 %/min	1440 min
NAG3SB	0,303 %/min	5910 min
NAG1CB	0,100 %/min	7200 min
NAG2CB	0,035 %/min	8640 min
NAG3CB	0,530 %/min	8640 min

A Figura 4.44 e a Figura 4.45 ilustram, de forma agrupada, a evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final das séries submetidas à água deionizada. A Figura 4.46 e a Figura 4.47, por sua vez, referem-se às séries submetidas, no ciclo de exposição final, à solução saturada de Na₂SO₄.

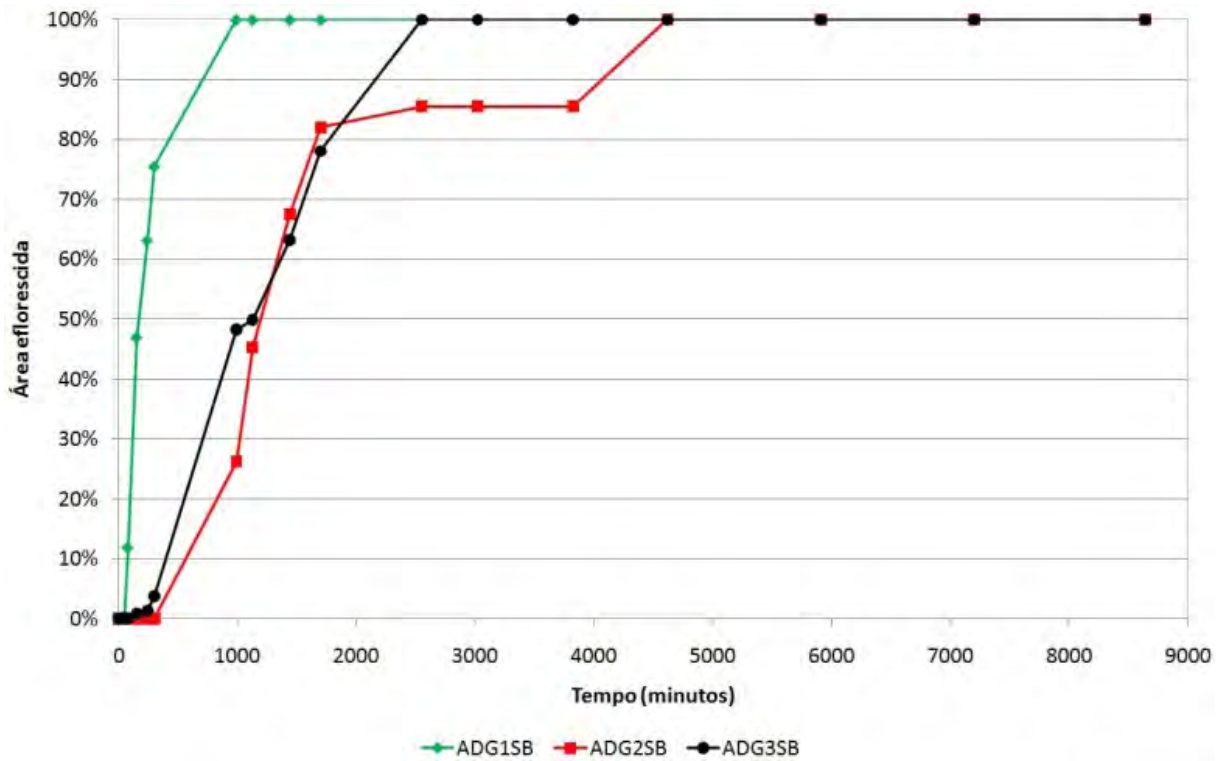


Figura 4.44 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série ADSB

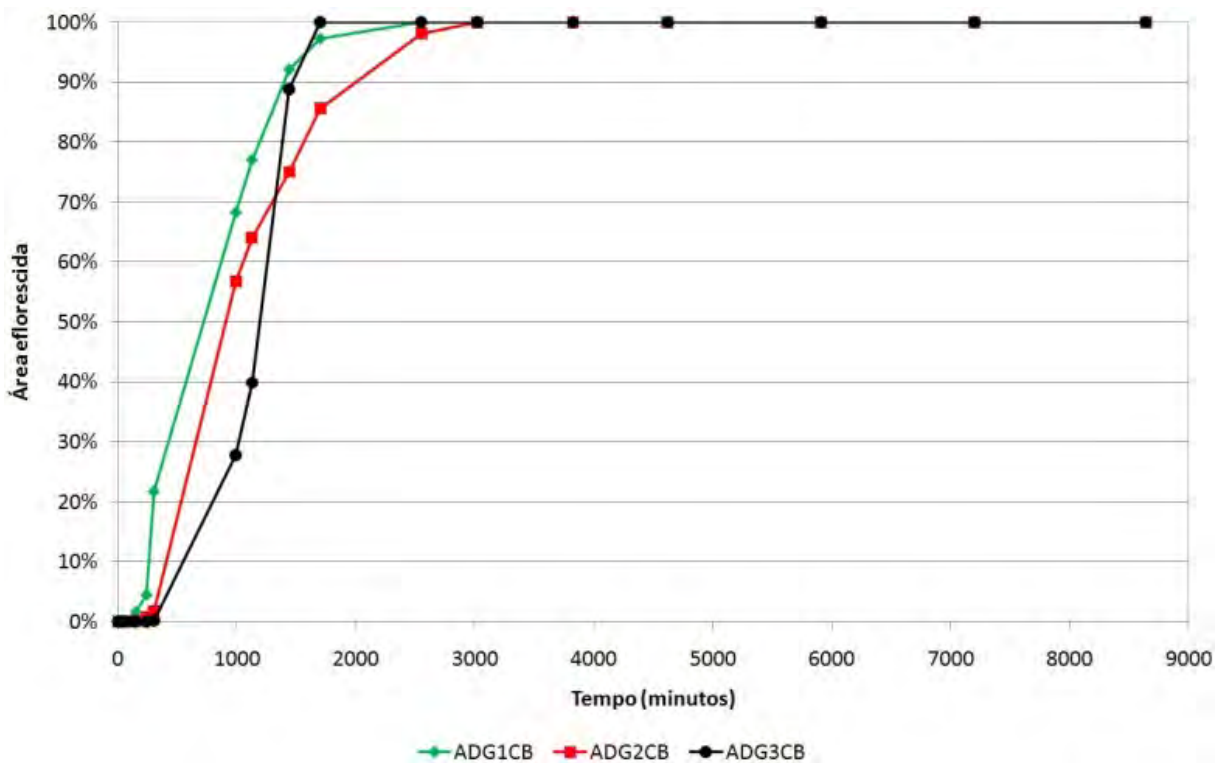


Figura 4.45 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série ADCB

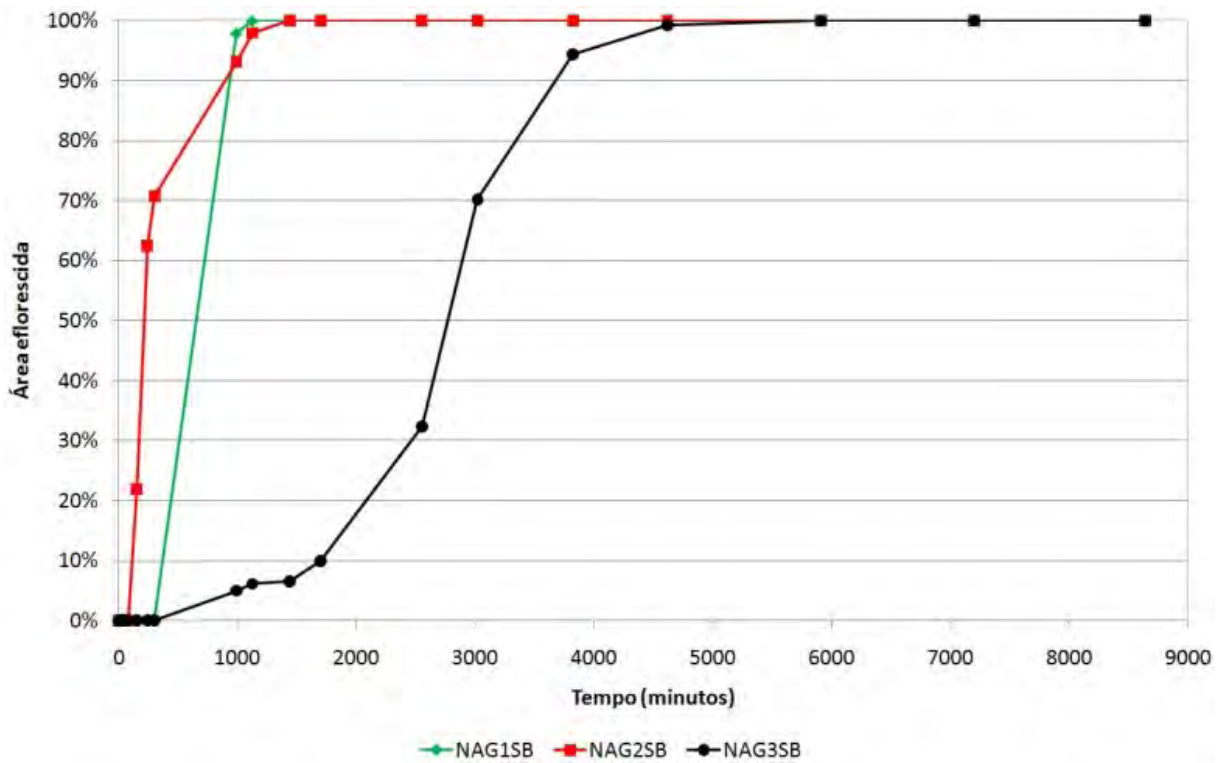


Figura 4.46 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série NASB

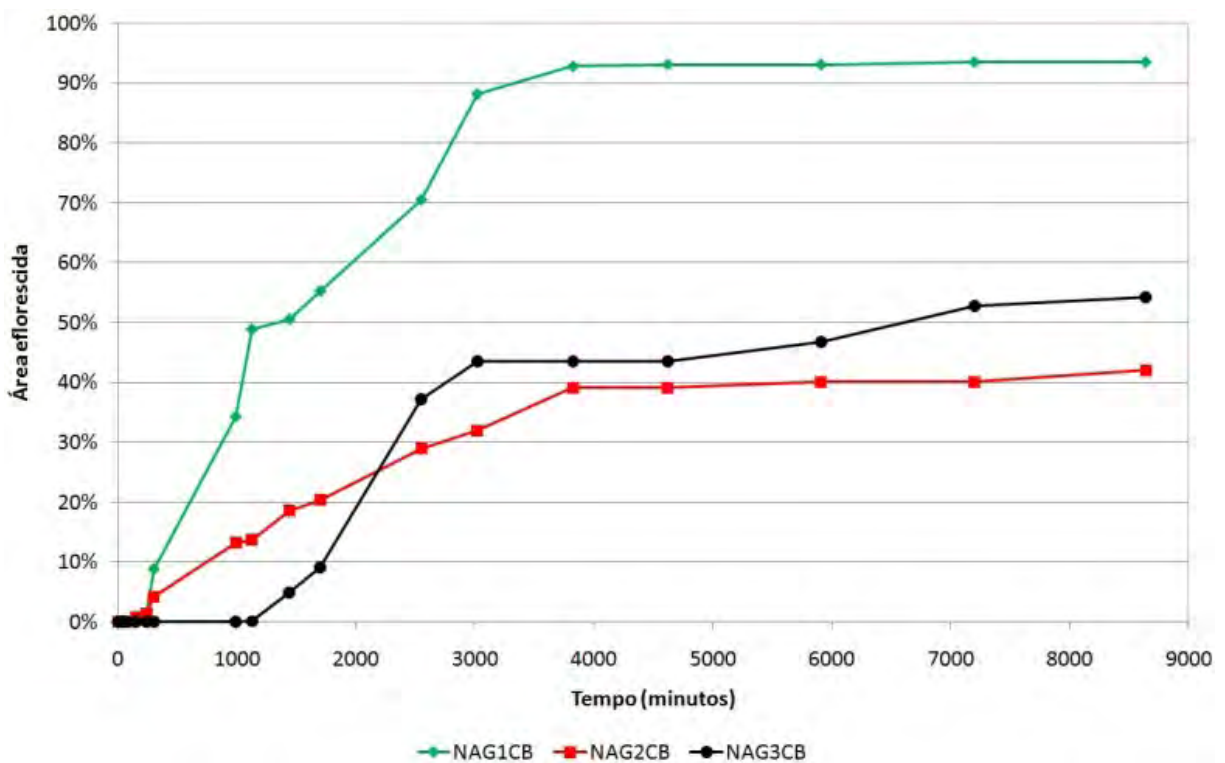


Figura 4.47 – Evolução da área eflorescida durante o ciclo de exposição final – série NACB

4.6 – ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DAS EFLORESCÊNCIAS FORMADAS NO CICLO FINAL DE EXPOSIÇÃO

Após o término da exposição final à água deionizada e à solução saturada de Na_2SO_4 , foram analisadas as configurações formadas pelas eflorescências na superfície dos corpos-de-prova, buscando-se caracterizar a degradação superficial da argamassa e da película de barreira provocadas pela cristalização do sulfato de sódio.

A Figura 4.48 ilustra, de forma geral, configurações típicas das eflorescências formadas nas séries, as quais podem ser vistas em detalhes na Figura 4.49, na Figura 4.50, na Figura 4.51, na Figura 4.52, na Figura 4.53 e na Figura 4.54.

De forma geral, foram observadas estruturas semelhantes às micrografias de Rodriguez-Navarro; Doehne e Sebastian (2000), com cristais característicos das fases III e V da thenardita, os quais eram esperados dadas as características de umidade relativa e temperatura do ambiente do laboratório (23°C , umidade relativa em torno de 65%).



Figura 4.48 – Configuração geral das eflorescências formadas na superfície das séries após o ciclo de exposição final (A – NAG3SB e B – ADG1CB)

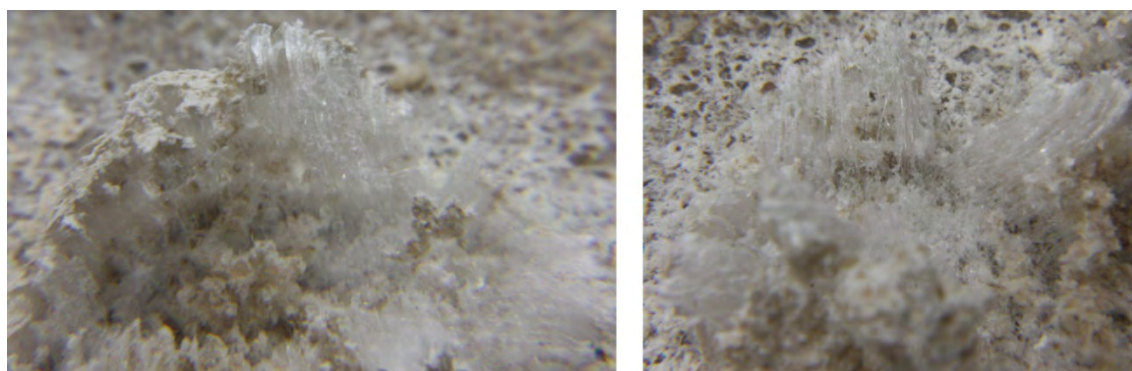


Figura 4.49 – Eflorescências formadas no ciclo de exposição final em corpo-de-prova sem película de barreira características da Fase III da thenardita

A ruptura da película de barreira ocorreu pelo acúmulo e posterior cristalização de sais logo abaixo de sua superfície, preferencialmente ao longo de fissuras formadas na argamassa durante o ciclo de exposição inicial à solução saturada de sulfato de sódio (Figura 4.50, Figura 4.52, Figura 4.53 e Figura 4.54). Foram também observadas eflorescências em sua superfície, em geral de formato granular, sem a presença de rupturas visíveis na película de barreira, como pode ser observado na Figura 4.50. Observa-se que o nível de permeabilidade do polímero empregado como película de barreira não foi aferido, o que poderia assegurar sua permeabilidade apenas ao vapor de água.

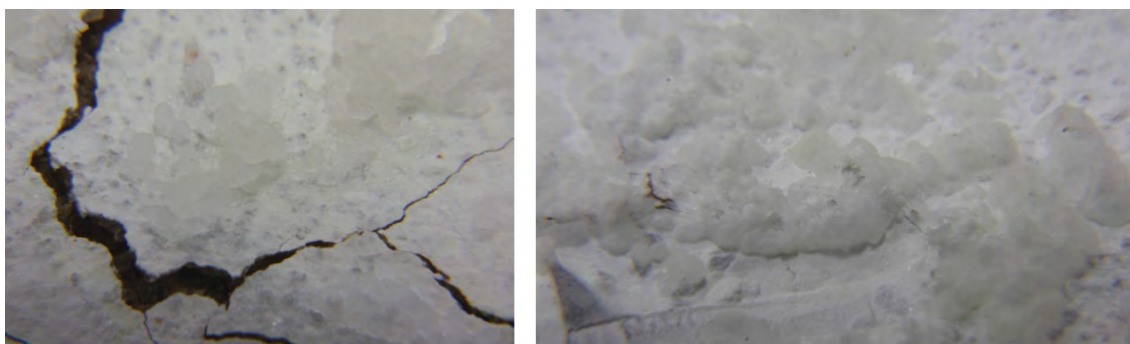


Figura 4.50 – Eflorescências formadas no ciclo final em corpo de prova com película de barreira características da Fase V da thenardita

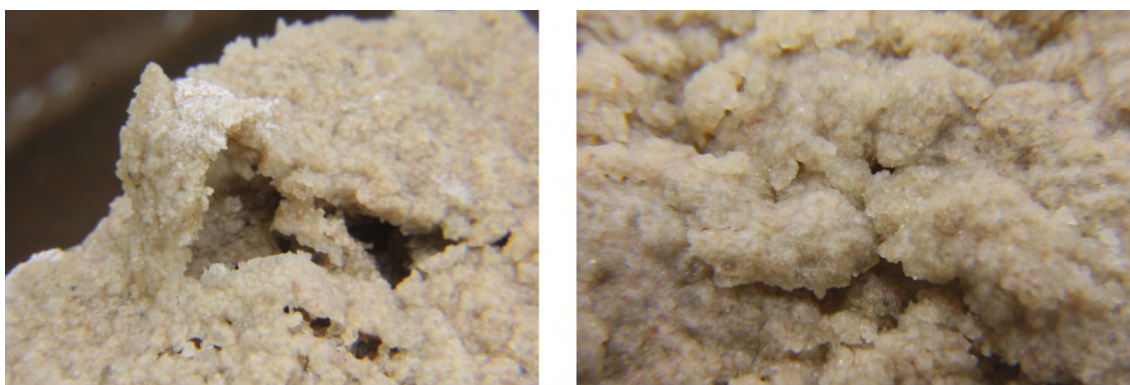


Figura 4.51 – Desagregação superficial da argamassa de corpo-de-prova devido à formação de eflorescências no ciclo de exposição final

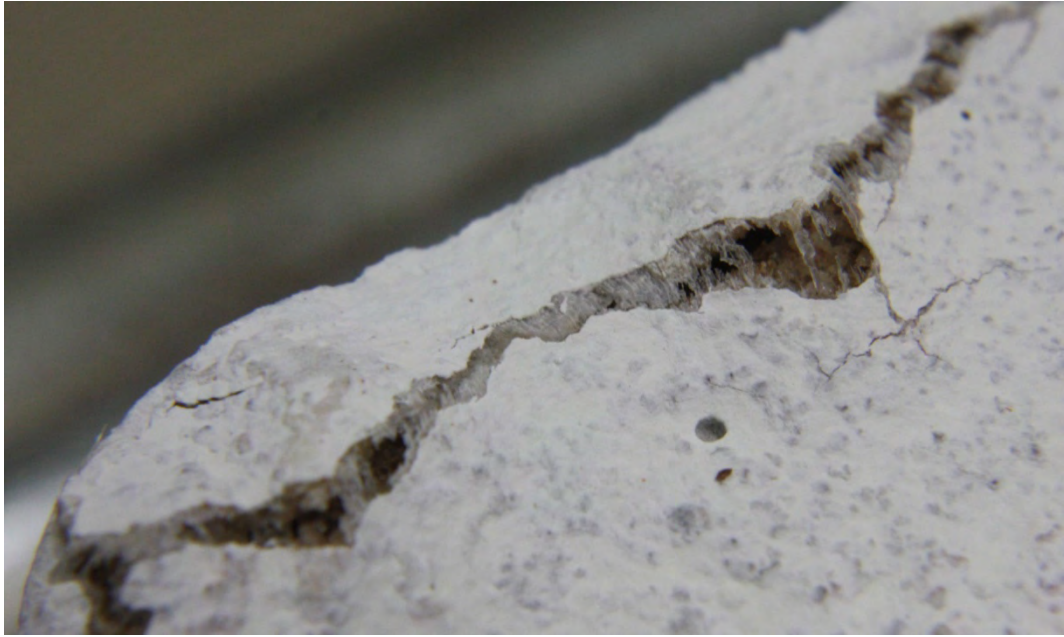


Figura 4.52 – Ruptura da película de barreira devido ao acúmulo e cristalização de sais em sua interface com o revestimento de argamassa

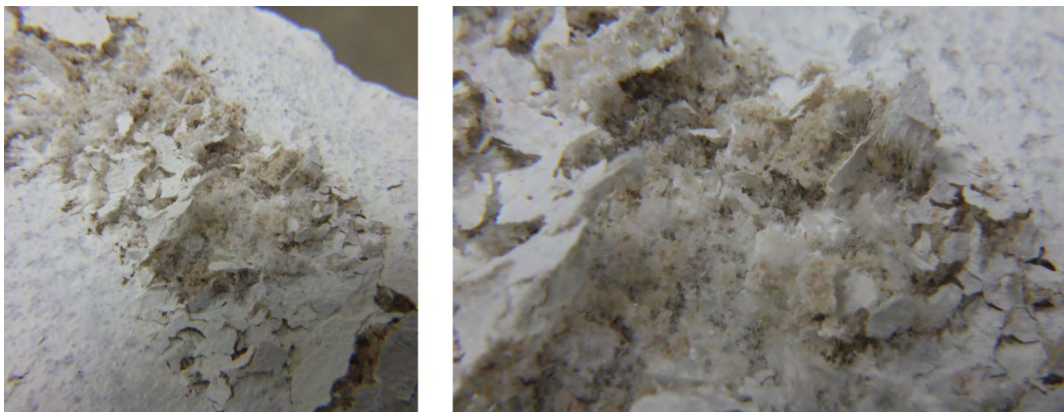


Figura 4.53 – Ruptura e desagregação generalizada da película de barreira devido ao acúmulo e cristalização de sais em sua interface com o revestimento de argamassa



Figura 4.54 – Ruptura da película de barreira devido à cristalização de sais, característicos da Fase III e da Fase V da thenardita, em sua interface com o revestimento de argamassa

4.7 – ANÁLISE GERAL

Buscando-se determinar a correlação entre as variáveis de estudo e a mensuração do fenômeno, foi empregada a análise de correlação linear utilizando-se o coeficiente de correlação de Pearson^{4.1}. Os softwares Minitab[®] versão 15.1.1.0 e SPSS Statistics[®] versão 17.0 foram empregados na análise das correlações e nas análises de regressão também conduzidas. Foram adotadas as recomendações de Santos (2007) nas análises da correlação linear, as quais encontram-se explicitadas na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Análise do coeficiente de correlação de Pearson (SANTOS, 2007)

Coeficiente de correlação de Pearson	Correlação
$\rho = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq \rho < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq \rho < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq \rho < 0,5$	Fraca positiva
$0 < \rho < 0,1$	Ínfima positiva
$\rho = 0$	Nula
$-0,1 < \rho < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < \rho \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < \rho \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < \rho \leq -0,8$	Forte negativa
$\rho = -1$	Perfeira negativa

A Tabela 4.14 e a Tabela 4.15 apresentam a análise de correlação das variáveis de estudo para a série AD. A Tabela 4.16 e a Tabela 4.17, por sua vez, apresentam, para a série NA, a mesma análise de correlação das variáveis de estudo. Correlações positivas indicam relações diretamente proporcionais, enquanto correlações negativas, relações inversamente proporcionais. Cabe salientar que a análise estatística apresentada é indicativa, mas não limitante, dado o número reduzido de amostras. As correlações de maior relevância encontram-se em destaque nas referidas tabelas.

^{4.1} O coeficiente de correlação de Pearson (ρ), também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de " ρ de Pearson" mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis de escala métrica (intervalar ou de rácio/razão).

Tabela 4.14 – Análise de correlação das variáveis massa de sal eflorescida e velocidade de formação de eflorescências – série AD

Propriedade / característica	Item avaliado	
	Massa de sal eflorescida	Velocidade de formação de eflorescências
Índice de absorção de água do substrato	$\rho = -0,039$ Ínfima negativa	$\rho = -0,567$ Moderada negativa
Índice de absorção de água da argamassa	$\rho = -0,425$ Fracamente negativa	$\rho = -0,183$ Fracamente negativa
Absortividade do substrato	$\rho = 0,526$ Moderada positiva	$\rho = -0,270$ Fracamente negativa
Absortividade da argamassa	$\rho = -0,165$ Fracamente negativa	$\rho = -0,202$ Fracamente negativa
Porosidade total da argamassa ^a	$\rho = -0,258$ Fracamente negativa	$\rho = -0,201$ Fracamente negativa
Diâmetro médio dos poros da argamassa ^a	$\rho = -0,014$ Ínfima negativa	$\rho = -0,192$ Fracamente negativa
Diâmetro crítico dos poros da argamassa ^a	$\rho = -0,570$ Moderada negativa	$\rho = -0,001$ Ínfima negativa
Teor total de sulfatos do substrato ^b	$\rho = 0,411$ Fracamente positiva	$\rho = 0,737$ Moderada positiva
Teor total de sulfatos da argamassa ^b	$\rho = -0,044$ Ínfima negativa	$\rho = -0,333$ Fracamente negativa

^a Determinado anteriormente ao ciclo de exposição inicial

^b Determinado após o ciclo de exposição inicial

Tabela 4.15 – Análise de correlação das variáveis teor de sulfatos no terço final da argamassa e média do perfil de distribuição de sulfatos – série AD

Propriedade / característica	Item avaliado	
	Teor de sulfatos no terço final da argamassa – T3 ^c	Média do perfil de distribuição de sulfatos ^c
Índice de absorção de água do substrato	$\rho = 0,470$ Fraca positiva	$\rho = 0,050$ Ínfima positiva
Índice de absorção de água da argamassa	$\rho = -0,220$ Fraca negativa	$\rho = 0,020$ Ínfima positiva
Absortividade do substrato	$\rho = 0,180$ Fraca positiva	$\rho = -0,400$ Fraca negativa
Absortividade da argamassa	$\rho = 0,000$ Nula	$\rho = 0,060$ Ínfima positiva
Porosidade total da argamassa ^a	$\rho = -0,080$ Ínfima negativa	$\rho = 0,050$ Ínfima positiva
Diâmetro médio dos poros da argamassa ^a	$\rho = 0,100$ Ínfima positiva	$\rho = 0,080$ Ínfima positiva
Diâmetro crítico dos poros da argamassa ^a	$\rho = -0,430$ Fraca negativa	$\rho = -0,080$ Ínfima negativa
Teor total de sulfatos do substrato ^b	$\rho = -0,410$ Fraca negativa	$\rho = 0,120$ Fraca positiva
Teor total de sulfatos da argamassa ^b	$\rho = -0,160$ Fraca negativa	$\rho = -0,170$ Fraca negativa

^a Determinado anteriormente ao ciclo de exposição inicial

^b Determinado após o ciclo de exposição inicial

^c Determinado após o ciclo de exposição final

Tabela 4.16 – Análise de correlação das variáveis massa de sal eflorescida e velocidade de formação de eflorescências – série NA

Propriedade / característica	Item avaliado	
	Massa de sal eflorescida	Velocidade de formação de eflorescências
Índice de absorção de água do substrato	$\rho = -0,073$ Ínfima negativa	$\rho = -0,165$ Fraca negativa
Índice de absorção de água da argamassa	$\rho = 0,075$ Ínfima positiva	$\rho = 0,420$ Fraca positiva
Absortividade do substrato	$\rho = -0,469$ Fraca negativa	$\rho = -0,091$ Ínfima negativa
Absortividade da argamassa	$\rho = 0,076$ Ínfima positiva	$\rho = 0,515$ Moderada positiva
Porosidade total da argamassa ^a	$\rho = 0,078$ Ínfima positiva	$\rho = 0,498$ Fraca positiva
Diâmetro médio dos poros da argamassa ^a	$\rho = 0,069$ Ínfima positiva	$\rho = 0,515$ Moderada positiva
Diâmetro crítico dos poros da argamassa ^a	$\rho = 0,014$ Ínfima positiva	$\rho = -0,094$ Ínfima negativa
Teor total de sulfatos do substrato ^b	$\rho = -0,179$ Fraca negativa	$\rho = 0,378$ Fraca positiva
Teor total de sulfatos da argamassa ^b	$\rho = 0,316$ Fraca positiva	$\rho = 0,056$ Ínfima positiva

^a Determinado anteriormente ao ciclo de exposição inicial

^b Determinado após o ciclo de exposição inicial

Tabela 4.17 – Análise de correlação das variáveis teor de sulfatos no terço final da argamassa e média do perfil de distribuição de sulfatos – série NA

Propriedade / característica	Item avaliado	
	Teor de sulfatos no terço final da argamassa – T3 ^c	Média do perfil de distribuição de sulfatos ^c
Índice de absorção de água do substrato	$\rho = -0,682$ Moderada negativa	$\rho = -0,592$ Moderada negativa
Índice de absorção de água da argamassa	$\rho = 0,792$ Moderada positiva	$\rho = 0,413$ Fraca positiva
Absortividade do substrato	$\rho = -0,165$ Fraca negativa	$\rho = -0,052$ Ínfima negativa
Absortividade da argamassa	$\rho = 0,611$ Moderada positiva	$\rho = 0,391$ Fraca positiva
Porosidade total da argamassa ^a	$\rho = 0,689$ Moderada positiva	$\rho = 0,410$ Fraca positiva
Diâmetro médio dos poros da argamassa ^a	$\rho = 0,457$ Fraca positiva	$\rho = 0,342$ Fraca positiva
Diâmetro crítico dos poros da argamassa ^a	$\rho = 0,497$ Fraca positiva	$\rho = 0,124$ Fraca positiva
Teor total de sulfatos do substrato ^b	$\rho = 0,316$ Fraca positiva	$\rho = 0,334$ Fraca positiva
Teor total de sulfatos da argamassa ^b	$\rho = 0,264$ Fraca positiva	$\rho = -0,262$ Fraca negativa

^a Determinado anteriormente ao ciclo de exposição inicial

^b Determinado após o ciclo de exposição inicial

^c Determinado após o ciclo de exposição final

Analisando-se os dados da Tabela 4.14, da Tabela 4.15, da Tabela 4.16 e da Tabela 4.17, foi elaborada a Tabela 4.18 e a Tabela 4.19, nas quais pode-se ter uma visão geral dos principais resultados obtidos nos ensaios realizados nos substratos, nas argamassas e nos corpos-de-prova, buscando-se compreender o comportamento do mecanismo de formação de florescências.

Tabela 4.18 – Análise geral – Absortividade e perfil de distribuição do sal

Aspecto	Análise
Absortividade – S	<p data-bbox="504 271 639 304">Substrato:</p> <ul data-bbox="504 342 1398 719" style="list-style-type: none"><li data-bbox="504 342 1398 611">• Observou-se que a absortividade do substrato encontra-se fortemente relacionada com a intensidade do fenômeno da eflorescência, através da massa de sal eflorescido, apresentando, entretanto, reduzida relação com a velocidade do mecanismo. Tal interação, mostrou-se dependente da manutenção do fluxo de umidade durante um período de tempo maior, uma vez que esteve presente apenas no ciclo final de exposição.<li data-bbox="504 645 1398 719">• A presença da película de barreira reduziu a influência da absortividade do substrato na intensidade do fenômeno. <p data-bbox="504 763 660 797">Argamassa:</p> <ul data-bbox="504 835 1398 1099" style="list-style-type: none"><li data-bbox="504 835 1398 1099">• A absortividade da argamassa, ao contrário do substrato, mostrou-se diretamente relacionada à intensidade do fenômeno nos momentos iniciais de exposição, através da massa de sal eflorescido e do teor de sulfato próximo à superfície da mesma, apresentando moderada relação com a velocidade do fenômeno, sobretudo na série NA. A presença da película de barreira não acarretou na alteração deste comportamento.
Perfil de distribuição do sal	<ul data-bbox="504 1144 1398 1856" style="list-style-type: none"><li data-bbox="504 1144 1398 1368">• Inicialmente a massa salina concentrou-se no substrato, agindo este como depósito da mesma. Com a manutenção do fluxo de água, o teor de sulfatos no substrato diminuiu e a argamassa atuou como revestimento de transporte. O perfil passou a apresentar, então, tendência à estabilização, mas ainda em teores elevados (até 2000% superiores à moldagem).<li data-bbox="504 1402 1398 1626">• A maior concentração de sulfatos no terço final da argamassa, após o ciclo final de exposição à solução saturada de Na_2SO_4, encontra-se relacionada, sobretudo, aos índices de absorção de água do substrato e da argamassa, ao diâmetro crítico dos poros da argamassa e ao teor de sulfatos presente no substrato após o ciclo de exposição inicial.<li data-bbox="504 1659 1398 1856">• A média do perfil de distribuição de sulfatos após o ciclo final de exposição, indicador da tendência de estabilização, encontra-se relacionado, sobretudo à absortividade do substrato na série AD e, na série NA, aos índices de absorção de água do substrato e da argamassa e à porosidade total da argamassa.

Tabela 4.19 – Análise geral – Sistema poroso

Aspecto	Análise
Sistema poroso	<p>Substrato:</p> <ul style="list-style-type: none">• Dada a elevada porosidade do substrato este atuou, durante a exposição inicial, como meio de acumulação da massa salina. Mantido o fluxo de umidade, entretanto, percebeu-se uma tendência de estabilização dos perfis de distribuição de sulfatos. <p>Argamassa:</p> <ul style="list-style-type: none">• A cristalização do sulfato de sódio no interior da rede capilar supostamente acarretou na ruptura parcial da rede de poros, gerando um aumento no diâmetro dos mesmos, mantendo-os, entretanto, no limite do transporte de massa por capilaridade.• A porosidade da argamassa encontra-se diretamente relacionada com a intensidade do dano provocado pela cristalização do Na_2SO_4, sendo menor o dano quanto maior a porosidade.• Observou-se uma fraca relação entre a porosidade total da argamassa e a velocidade do fenômeno: quanto maior a porosidade, menor a velocidade na série AD e, na série NA, maior a velocidade. A presença da película de barreira não alterou este comportamento.• O diâmetro crítico mostrou uma moderada correlação com a intensidade do fenômeno, através da massa de sal eflorescido, na série AD. Na série NA o mesmo não foi observado.• O teor de sulfatos no terço final da argamassa mostrou-se relacionado com o diâmetro crítico da argamassa, através de uma correlação negativa para a série AD e positiva para a série NA.• Observou-se através do perfil de distribuição de sulfatos que, quanto maior a porosidade da argamassa, maior a tendência do mecanismo de funcionamento desta como revestimento de transporte (maior acumulação de sais próximo à superfície). A presença da barreira salientou este comportamento.

A partir dos resultados obtidos buscou-se, através da análise de regressão, uma correlação entre a velocidade de formação das eflorescências e os principais fatores condicionantes do processo, para a série submetida, na exposição final, à água deionizada, por entender ser esta a condição de exposição (dentre as analisadas) mais freqüente nas manifestações patológicas correntes. Como a velocidade de formação das eflorescências não apresentou

variações significativas devido à presença da película de barreira, optou-se pela utilização dos dados de toda a série AD. A Equação 4.1 representa a análise de regressão, cujos parâmetros de entrada foram escolhidos dentre os que apresentaram maiores coeficientes de correlação na Tabela 4.14.

$$VFE = 9,44 - 0,0162*AA_{\text{argamassa}} - 0,547*AA_{\text{substrato}} + 0,300*TS_{\text{substrato}} - 0,109*TS_{\text{argamassa}} \quad \dots(4.1)$$

Onde:

VFE é a velocidade de formação das eflorescências (%/min);

AA_{argamassa} é o índice de absorção de água da argamassa (%);

AA_{substrato} é o índice de absorção de água do substrato (%);

TS_{substrato} é a teor de sulfatos no substrato cerâmico do corpo-de-prova (%);

TS_{argamassa} é a teor total de sulfatos na argamassa do corpo-de-prova (%).

A regressão assim obtida apresentou um coeficiente de determinação (R²) de 99,2%. A forma de apresentação possibilita a parametrização da equação, com a possibilidade de ajuste dos coeficientes com a inserção de dados de novos ensaios em estudos futuros. A Figura 4.55 apresenta a análise dos resíduos para a formulação em questão, os quais apresentaram um desvio máximo de 0,043 %/min em relação aos valores ajustados.

A modelagem obtida na Equação 4.1 deve ser observada apenas como indicadora inicial de comportamento, restrita às características do programa experimental empregado. Novos coeficientes devem ser obtidos para materiais com características distintas das empregadas.

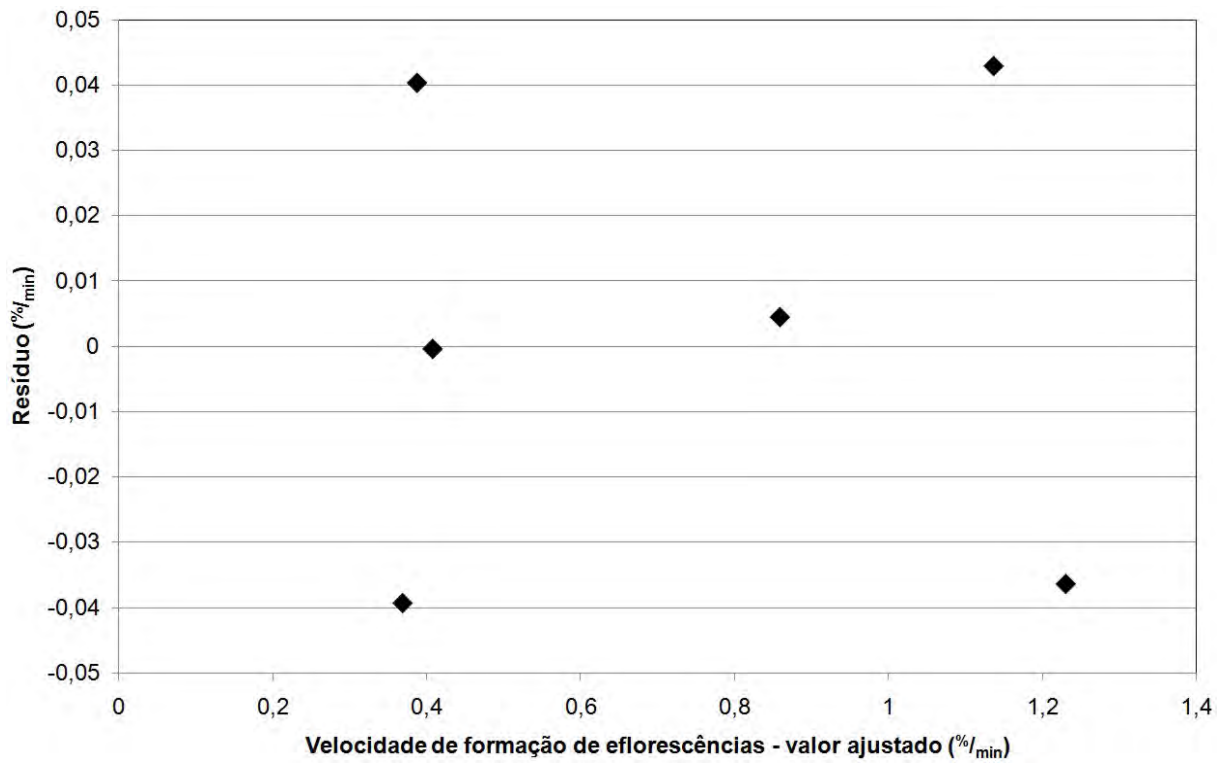


Figura 4.55 – Análise de resíduos da regressão proposta para a velocidade de formação das eflorescências

5 – CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São a seguir apresentadas, com base nos resultados e análises do programa experimental, as conclusões do trabalho, válidas em princípio, para os materiais e condições do estudo em questão, bem como, as considerações finais e sugestões para futuras pesquisas.

5.1 – CONCLUSÕES

A realização desta pesquisa teve como principal conclusão a de que o fenômeno de formação de eflorescências em painéis de substrato cerâmico revestidos com argamassas mistas de cimento Portland e cal aérea, sem a presença de aditivos, tem sua velocidade influenciada pela absorvidade e porosidade aberta do revestimento, bem como pela concentração salina deste e do substrato, sendo proposta uma equação para correlação das variáveis (Equação 4.1). Constatou-se também que a presença da película de barreira retardou, mas não impediu a formação de eflorescências, acarretando ainda em um aumento da concentração de sais no interior do revestimento, provocando uma maior degradação deste pela formação de subflorescências.

As características do substrato cerâmico (absorvidade e porosidade) influenciaram na intensidade do fenômeno, mensurada pela massa de sal eflorescido e concentração salina próxima à superfície da argamassa, sobretudo na série AD, onde a absorvidade foi diretamente proporcional à massa de sal eflorescido. O substrato atuou inicialmente como meio de acumulação do sulfato, sendo que as características apresentadas possuíam reduzida relação com a velocidade do mecanismo.

A absorvidade da argamassa mostrou-se relacionada à intensidade das eflorescências e sua velocidade de formação.

A cristalização do sulfato de sódio no interior da rede capilar supostamente acarretou na ruptura parcial da rede de poros, alterando sua distribuição de tamanho pelo aumento do diâmetro dos mesmos mantendo-os, entretanto, no limite do transporte de massa por capilaridade.

A porosidade da argamassa encontra-se intimamente relacionada ao mecanismo em estudo: quanto maior a porosidade da mesma, menor o dano provocado pela cristalização do

Na₂SO₄ na rede porosa; menor a velocidade de formação de eflorescências e a massa de sal eflorescida na série AD, sendo observado o oposto na série NA; maior a tendência de funcionamento da argamassa como revestimento de transporte de sais, sendo esta última característica salientada nas séries que contavam com a presença da película de barreira.

A adaptação da técnica empregada na mensuração do perfil de distribuição de sais, com o uso da espectrofotometria, mostrou-se prática e eficaz, possibilitando o processamento de grande quantidade de amostras em reduzido intervalo de tempo.

Dentre as conclusões obtidas pelo monitoramento do perfil de distribuição de sulfatos, nas diversas etapas do programa experimental, salientam-se:

- a moldagem e cura das amostras exerceu reduzida influência no ingresso e transporte de sulfatos no interior dos corpos-de-prova;
- após a exposição à solução salina, o substrato inicialmente acumulou grande parte dos sulfatos. Com a manutenção do fluxo de água, o teor neste último diminuiu, tendendo à estabilização com o perfil apresentado pela argamassa, consideravelmente superior ao inicialmente apresentado;
- observou-se um comportamento interativo entre o teor total de sulfatos apresentado pela argamassa e pelo substrato, em relação à massa de sal eflorescida e à velocidade de formação de eflorescências, sobretudo na série AD, com correlações positivas para o teor presente nos substratos e negativas para o teor presente nas argamassas. Tal comportamento deve-se, possivelmente, à maior concentração inicialmente presente no substrato e à movimentação ocorrida devido ao fluxo da solução.
- as diferentes argamassas apresentaram perfis condizentes com revestimentos de transporte de sais, evidenciados pelo menor teor verificado em seu terço intermediário. A presença da película de barreira salientou este comportamento;
- com a manutenção do fluxo de água o perfil passou a apresentar tendência à estabilização, mas ainda em teores elevados (até 2000% superiores à moldagem);
- a porosidade da argamassa mostrou-se relacionada com a velocidade de estabilização do perfil de distribuição de sulfatos: quanto mais porosa, mais rapidamente a estabilização ocorre;

- a presença da película de barreira acarretou, como esperado, em um maior acúmulo do teor de sais próximo à superfície (quando comparado à série sem barreira), fato possivelmente relacionado ao transporte de vapor possibilitado pela película.

A presença da película de barreira reduziu significativamente a massa de sal eflorescido nas séries analisadas.

De forma geral as eflorescências foram preferencialmente formadas ao longo de fissuras pré-existentes e zonas de desagregação no entorno dos sensores de umidade, seguindo-se a formação na periferia dos corpos-de-prova e, finalmente, em seu centro.

Foram observadas estruturas semelhantes às micrografias de Rodriguez-Navarro; Doehne e Sebastian (2000), com cristais característicos das fases III e V da thenardita, já esperados devido às características de umidade relativa e temperatura do laboratório (23°C, umidade relativa em torno de 65%).

A ruptura da película de barreira, na série CB, ocorreu pelo acúmulo e posterior cristalização de sais logo abaixo de sua superfície, preferencialmente ao longo de fissuras formadas na argamassa. Foram também observadas eflorescências em sua superfície, em geral de formato granular, sem a presença de rupturas visíveis na película.

5.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fenômeno da eflorescência é complexo e subestimado, sendo tratado pelo mercado da construção civil de forma secundária e, por vezes, empírica. Os danos provocados no processo de cristalização podem ser extensos, não limitando-se às camadas superficiais e podendo, inclusive, levar à ruína do material. O grau de degradação potencial depende de fatores como a natureza dos materiais, suas propriedades físicas e mecânicas, seu estado de conservação e da concentração do sal presente.

Argamassas com maior porosidade, que apresentam superior capacidade de absorção de água, tendem a ganhar maior acumulação de sais e, por conseguinte, apresentam menor resistência à ação dos mesmos, devido à menor resistência mecânica.

Geralmente a frequência de formação das eflorescências é associada ao número de chuvas por ano. Observa-se, entretanto, que podem haver mais ciclos dissolução-recristalização do que previsto, uma vez que muitos sais apresentam pontos higroscópicos e umidades relativas consideravelmente abaixo dos 100%, podendo-se tornar deliqüescentes quando a

sua umidade é excedida e recrystalizar quando a sua umidade relativa ficar abaixo do ponto crítico.

5.3 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A presente tese de doutorado não teve a pretensão de esgotar o assunto tratado, uma vez que apesar de haverem diversas publicações internacionais, as pesquisas no Brasil encontram-se incipientes. Desta forma, com base no estudo desenvolvido propõe-se a continuação da pesquisa por meio dos tópicos listados a seguir:

- Conduzir um programa experimental semelhante, mas extenso, com a finalidade de refinar os coeficientes presentes na modelagem apresentada na Equação 4.1.
- quantificar a degradação provocada pela cristalização das eflorescências através da remoção e determinação periódica não da massa do sal, mas da argamassa erodida próximo à superfície;
- analisar a influência no mecanismo da implementação de argamassas com aditivos incorporadores de ar;
- analisar a influência no mecanismo do emprego de substratos com diferentes características de absorvidade e porosidade;
- determinar a pertinência do limite de eflorescência de Lipinski para argamassas previamente confeccionadas com diferentes teores e tipos de sulfatos;
- realizar um estudo de campo, buscando-se determinar o perfil de distribuição de sulfatos de edifícios históricos e de edifícios recentemente construídos, com a presença de eflorescências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, A. W. **Physical Chemistry of Surfaces**. John Wiley & Sons Inc., New York, 1990. 757 p.

ALVES, Nielsen José Dias. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2002. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 175 p.

AMBERG, C. R.; WASHBURN, L. A. **A wick for testing efflorescence tendencies of materials**. American Ceramic Society Bulletin, v.25, 1946.

ARAÚJO JUNIOR, José Mendes de. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2004. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 175 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM INTERNATIONAL C67**: Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile. West Conshohocken, United States, 2003.

_____. **ASTM C88**: Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. West Conshohocken, United States, 1999.

_____. **ASTM INTERNATIONAL C270**: Standard specification for mortar for unit masonry. West Conshohocken, United States, 2003.

_____. **ASTM INTERNATIONAL C780**: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. West Conshohocken, United States, 2009.

_____. **ASTM INTERNATIONAL C1232**: Standard terminology of masonry. West Conshohocken, United States, 2002.

_____. **ASTM C1400**: Standard guide for reduction of efflorescence potential in new masonry walls. West Conshohocken, United States, 2001.

_____. **ASTM INTERNATIONAL D516**: Standard Test Method for Sulfate Ion in Water. West Conshohocken, United States, 2002.

_____. **ASTM D1193**: Standard Specification for Reagent Water. West Conshohocken, United States, 1999.

ANDEREGG, F. O. **The mechanism of corrosion of Portland cement concrete with special reference to the role of crystal pressure**. ACI Journal Proceedings, v.25, 1929. p. 332-343.

_____. **Efflorescence**. ASTM Bulletin, nr. 185, 1952. p. 39-45.

ANTUNES, Giselle Reis. **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2010. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 379 p.

APHA. **Turbidimetric method (SO₄²⁻), Standard methods for the examination of water and wastewater**. 17 ed. Washington, 1989.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE 67029**: Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de eflorescencia. Madrid, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736**: Cimento Portland pozolânico - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 6473**: Cal virgem e cal hidratada - Análise química. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 7218**: Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro, 2000.

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

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 11582**: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12826**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico. Rio de Janeiro, 1993.

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

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **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 15270-3**: Componentes cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 11-2**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxidos principais por complexometria - Parte 2: Método ABNT. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 15**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 16**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 18**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2004.

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

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

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

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

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

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

_____. **NBR NM 76:** Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998.

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

BARZAGHI, Luciano. **Cerâmica**, v.29, 1983. p. 164-187.

BINDA, L.; BARONIO, G. **Measurement of the resistance to deterioration of old and new bricks by means of accelerated aging tests.** Durability of building materials, v.2, nr. 2, 1984. p. 139-154.

_____. **Mechanisms of masonry decay due to salt crystallization.** Durability of building materials, v.4, nr. 3, 1987. p. 227-240.

BOYNTON, R. S.; GUTSCHICK, K. A. **Aderência de argamassas e elementos de alvenaria – fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência.** Tradução IPT-ABCP. Notas Técnicas n. 3 sobre argamassa de assentamento e componentes de alvenaria, da National Lime Association, 1964.

BRAITSCH, Otto. **Salt Deposits: Their Origin and Composition.** New York: Springer-Verlag, 1971. 297 p.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS EN 7591-1:** Porosity and pore size distribution of materials. Method of evaluation by mercury porosimetry. London, 1992.

BROWNELL, W. E. **Scum and its development on structural clay products.** Structural Clay Products Research Foundation, Research Report no 4, Chicago, Illinois, July. 1955.

_____. **Efflorescence resulting from pyrite in clay raw materials.** American Ceramic Society Bulletin, v.41, 1958a. p. 261-266.

_____. **Efflorescence resulting from sulfates in clay raw materials.** American Ceramic Society Bulletin, v.41, 1958b. p. 310-314.

CHAGAS, Suelen Vanessa Miranda das. **Estudo e proposta de um modelo de resistência à fadiga de argamassas de revestimento em estado plano e tridimensional de tensões.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2009. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 172 p.

CHATTERJI, S.; JENSEN, A.D. **Efflorescence and breakdown of building materials.** Nordic Concrete Research, vol. 8, p.56-61. 1989.

CHIN, Ian R.; PETRY, Lee. Design and testing to reduce efflorescence potential in new brick masonry walls. In: MELANDER, John M.; LAUERSDORF, Lynn R. (Edit.). **Masonry: design and construction, problems and repair**. ASTM Special Technical Publication, nr. 1180, 1993. p. 3-17.

CINCOTTO, Maria Alba; QUARCIONI, Valdecir Ângelo; JOHN, Vanderley Moacyr. Cal na Construção Civil. In: Geraldo Cechella Isaia (Editor). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais – Vol. 1**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 695-725.

CLESCERI, Lenore S.; GREENBERG, Arnold E.; EATON, Andrew D. (Edit.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 20 ed., 1999. 2670 p.

CORTEZ, Ieda Maria Melo. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento a base de argamassa com a incorporação de fibras sintéticas**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 1999. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 219 p.

DAN W.; QUÉNARD, D.; SALLÉE, H.; COPÉ, R. **Comportement hydrique d'un composite ciment-polymère-verre (CCPV) et influence de l'humidité sur ses propriétés mécaniques**. Cahiers du CSTB. Livraison 295, Cahier 2304, Décembre 1988.

DAY, Robert W. **Moisture Migration Through Concrete Floor Slabs**. Journal of Performance of Constructed Facilities. v.6, Nr. 1, 1992. p. 46-51.

DO Ó, Sávio Wanderley. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2004. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 173 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

EYSEL, W. **Crystal chemistry of the system $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{K}_2\text{SO}_4 - \text{K}_2\text{CrO}_4 - \text{Na}_2\text{CrO}_4$ and the glaserite phase**. Am Mineral, vol. 58, p.736-747. 1973.

FERNANDES, Celso P. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consolidados: análise experimental de uma argamassa de cal e cimento**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Mecânica), 1990. Universidade Federal de Santa Catarina. 135 p.

FREITAS, Vasco Peixoto de; TORRES, Maria Isabel; GUIMARÃES, Ana Sofia. **Humidade Ascensional**. Porto: FEUP Edições, 2008. 106 p.

GMREIS. **New Osteo - SUBSTITUTO DE ENXERTO ÓSSEO INORGÂNICO DE GRAU MÉDICO**. 2009. Disponível em: <http://www.gmreis.com/produtos.html?FhIdProduto=33aca4efc3a23de5cc32c38f041ebc81&FhIdCategoria=aedd61efa27782ca3f48dac558dd42a3&ret=&>. Acesso em: 27 out. 2009.

GONÇALVES, Sérgio Ricardo de Castro. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2004. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 148 p.

GONÇALVES, Teresa Cláudio Diaz. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. 2007. 215 f. Thesis (PhD). Instituto Superior Técnico and LNEC. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

- GONÇALVES, Teresa Diaz; RODRIGUES, José Delgado. **Argamassas de Revestimento para paredes afectadas por cristalização de sais solúveis: influência do substrato.** In 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, 2010, Lisboa. Anais.
- GOUDIE, Andrew S.; VILES, Heather A. **Salt Weathering Hazards.** Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 256p.
- HALL, Christopher. **Water movement in porous building materials – I. Unsaturated flow theory and its applications.** Building and Environment, vol. 12, p. 117-125. Pergamon Press 1977, Printed in Great Britain.
- HARRIS, Samuel, Y. **Building pathology: deterioration, diagnostics, and intervention.** New York: John Wiley & Sons, 2001. 654p.
- HENRIQUES, Fernando M. A. **Humidade em paredes.** 4ª Ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC – Divisão de Divulgação Científica e Técnica, 2007. 168 p.
- JACKSON, F. G. **A Descriptive Bibliography of Scumming and Efflorescence.** American Ceramic Society Bulletin, v.4, nr. 8, 1925. p. 376-401.
- KNACKE, O.; VON ERDBERG, R. **The crystallization pressure of sodium sulfate decahydrate.** Ber. Bunsen-Ges. Phys. Chem., vol. 79, p.653-657. 1975.
- KOVDA, Victor. A. Arid Land Irrigation and Soil Fertility: Problems of Salinity, Alkalinity, Compaction. In WORTHINGTON, Edgar Barton (Ed.), **Arid Land Irrigation in Developing Countries: Environmental Problems and Effects.** Oxford: Pergamon Press, 1977, 463 p.
- LEAL, Franz Eduardo Castelo Branco. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de preparação de base em sistemas de revestimento.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2003. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 101 p.
- LEWIN, Seymour Z. The mechanism of masonry decay through crystallization. In: **Conservation of historic stone buildings and monuments.** Washington: National Academy Press, 1982. p. 120-144.
- LIPINSKI, F. **Das Keramische Laboratorium 4.** Aufl. Dusseldorf: Knapp, 1955.
- MATA, Vera Lúcia Gomes. **Caracterização de Meios Porosos - Porosimetria, Modelização 3D e Tomografia Seriada - Aplicação a Suportes Catalíticos.** 1998. 304 f. Tese (Doutorado). Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. **Sais solúveis e eflorescências em blocos cerâmicos e outros materiais de construção - revisão.** Cerâmica, v.52, 2006. p. 37-49.
- MENDES, Nathan. **Modelos para previsão da transferência de calor e de umidade em elementos porosos de edificações.** 1997. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MUZZIN, G. **Les éfflorescences dans les maçonneries em briques.** C.S.T.C Revue, v.4, Decembre, 1982. p. 2-11.
- NASCIMENTO, Solange Francisco do. **Influência da concentração de sais solúveis nas propriedades cerâmicas e eflorescentes em cerâmica vermelha do estado da Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 1998. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 257 p.

OLIVEIRA, Jorge Antônio da Cunha. **Contribuição ao estudo do comportamento mecânico de sistemas de revestimentos à base de argamassa modificados com polímeros de base látex**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 1999. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 163 p.

PAES, Isaura Nazaré Lobato. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. 2004. 242 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília.

PEREIRA, Claudio Henrique de Almeida Feitosa. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília.

PEREIRA, Mike de Silva. **Controle da Resistência do Concreto: paradigmas e variabilidades – Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2008. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 229 p.

PEREIRA, Clementina Teixeira da Cunha. **Crescimento de Cristais "On the Rocks"**. 2009. Disponível em: <http://web.ist.utl.pt/~clementina/cristais2/>. Acesso em: 27 out. 2009.

PEREZ, Ary Rodrigo. **Umidade nas edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), 1986. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo. 272 p.

RIBEIRO, Iracira José da Costa. **Os sais solúveis na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 1996. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 105 p.

RICHARDS, L. A. et al. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA. Agriculture Handbook, 60.

RITCHIE, T. **Study of efflorescence produced on ceramic wicks by masonry mortars**. American Ceramic Society Bulletin, v.38, 1955. p. 362-366.

RODRIGUES, J. Delgado; GONÇALVES, T. Diaz. Sais solúveis nas construções históricas: introdução e relato sumário. In: Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC (Ed.). **Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Divisão de Edições e Artes Gráficas, 2007. p. 1-13.

RODRIGUEZ-NAVARRO, Carlos; DOEHNE, Eric; SEBASTIAN, Eduardo. **How does sodium sulfate crystallize? Implications for the decay and testing of building materials**. Cement and Concrete Research, v.30, 2000. p. 1527-1534.

ROGERS, P. L. **A method of test for potential efflorescence of masonry mortar**. ASTM Bulletin, v.235, 1959. p. 31-33.

SANTOS, Carla. **Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem**. 1ª Ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2007. 264 p.

SANTOS, Carla Cristina Nascimento. **Crítérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2003. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 138 p.

SANTOS, Flora Isabel Grando. **Avaliação de propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2006.

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 165 p.

SARAIVA, Ana Gabriela. **Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 1998. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 164 p.

SARKAR, S. L.; CHANDRA, S.; RODHE, M. **Microstructural investigation of natural deterioration of building materials in Gothenburg, Sweden.** Materials and Structures, v.25, nr. 7, 1992. p. 429-436.

SATO, Neide Matiko Nakata. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos.** 1998. 163 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SCHERER, George W. **Theory of drying.** Journal of the American Ceramic Society, v.73, 1990. p. 3-14.

_____. Internal stress and cracking in stone and masonry. In: KONSTA-GDOUTOS, Maria S. (Ed.). **Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties.** Berlin: Springer Netherlands, 2006. p. 633-641.

SCHMIDT, E. **Mauerwerksausblühungen aus mörtel oder ziegel.** Ziegelind. Die, 16 (10), 1963. p. 345-354.

SILVA, Maria de Nazaré Batista da. **Avaliação Numérica com o Método dos Elementos Finitos das Tensões Termo-Mecânicas em Sistemas de Revestimento de Fachadas.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2000. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 197 p.

SILVA, Francisco Gabriel Santos. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2006. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 239 p.

SOUSA, José Getúlio Gomes de. **Contribuição ao Estudo da Relação entre Propriedades e Proporcionamento de Blocos de Concreto - Aplicação ao Uso de Entulho como Agregado Reciclado.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), 2001. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília. 120 p.

SOUSA, José Getulio Gomes de. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco.** 2005. 233 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília.

TINTAS RENNER. **Boletim Técnico Aquabloc®.** 2006. Disponível em: [http://www.tintasrenner-deco.com.br/renner/BoletTec.nsf/\(WebBoletins\)/B71D0C28A367E70D03256D79005F7A3C?OpenDocument](http://www.tintasrenner-deco.com.br/renner/BoletTec.nsf/(WebBoletins)/B71D0C28A367E70D03256D79005F7A3C?OpenDocument). Acesso em: 17 mai. 2010.

UEMOTO, Kai Loh. Patologia: danos causados por eflorescência. In: Centro de Documentação da Divisão de Edificações do IPT (Coord.). **Tecnologia de Edificações.** São Paulo: PINI, 1988. p. 561-564.

VALE, Walker Luiz Oliveira do. **Os sais solúveis nos materiais de construção da cidade de Campina Grande, Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 1999. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 129 p.

- VALEN, M. S. **Moisture transfer in organic coatings on porous materials: The influence of varying environmental conditions.** Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, 1998.
- VAN HEES, Rob P. J.; NALDINI, Silvia; RODRIGUES, Jose Delgado. **Plasters and renders for salt laden substrates.** Construction and Building Materials. V.23, 2009. p. 1714-1718.
- VERDUCH, Antonio García; SOLANA, Vicente Sanz. **Velos, Florescencias y Manchas en Obras de Ladrillo.** Castellón: Faenza Editrice Ibérica, 1999. 301 p.
- _____. **Formação de eflorescências na Superfície dos tijolos.** Cerâmica Industrial, 5, 2000. p. 38-46.
- VICKERS, Thomas.; MOUKWA, Mosongo. **Evaluation of test methods and environmental conditions to promote efflorescence formation under laboratory conditions.** Journal of Testing and Evaluation, v.24, nr. 2, 1996. p. 80-83.
- WEST, Ian M. **Geology of Brownsea Island in Poole Harbour – Geological Field Guide.** 2009. Disponível em: <http://www.soton.ac.uk/~imw/brownsea.htm>. Acesso em: 21 jun. 2009.
- WIJFFELS, Tomas J.; GROOT, C. J. W. P.; VAN HEES, Rob P. J. **Performance of restoration plasters.** In Proc. 11th Int. Brick/Block Masonry Conference, 1997, Shanghai, Tongji University, Department of Structural Engineering. p. 1050-1062.
- WINKLER, Erhard M.; SINGER, Philip C. **Crystallization pressure of salt in stone and concrete.** The Geological Society of America Bulletin, v.83, nr. 11, 1972. p. 3509-3514.
- YOUNG, J. E. **Backup materials as a source of efflorescence.** American Ceramic Society Bulletin, v.40, 1957. p. 240-243.

APÊNDICE A

Caracterização granulométrica dos agregados empregados



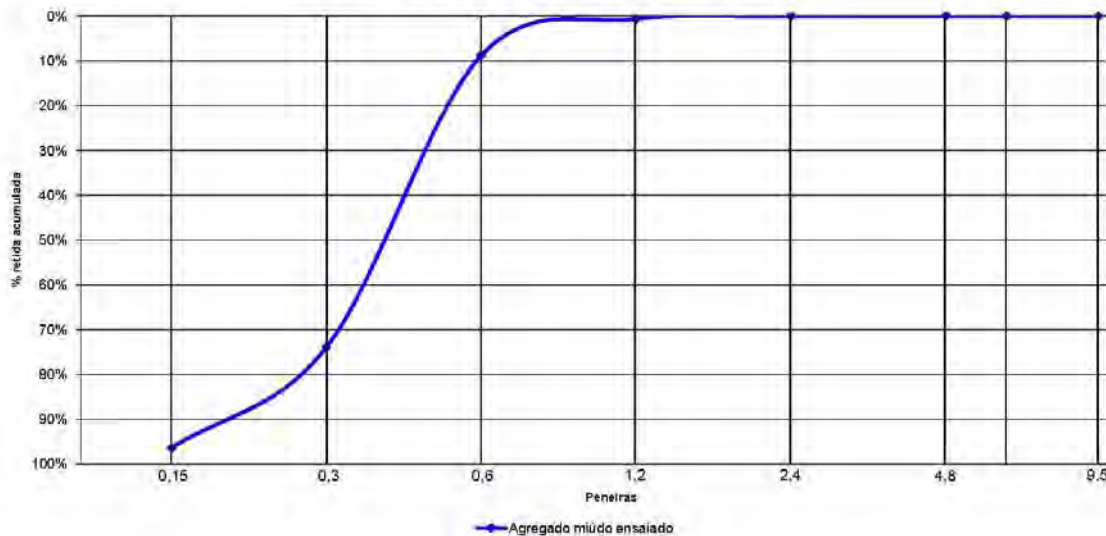
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBRNM248/2003)

Material	Data
Areia M.F. 1,80 - Mineração Capital (antes do peneiramento)	01/10/2008

Peneiras (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual Média	% Retida Acumulada Média
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
9,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,8	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2,4	0,5	0,1%	0,1%	0,8	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%
1,2	2,3	0,5%	0,6%	3	0,6%	0,8%	0,5%	0,7%
0,6	41,3	8,3%	8,8%	40	8,0%	8,8%	8,1%	8,8%
0,3	325,4	65,1%	73,9%	325,8	65,2%	73,9%	65,1%	73,9%
0,15	116,3	23,3%	97,2%	108,4	21,7%	95,6%	22,5%	96,4%
Fundo	14,7	2,9%	100,1%	22,7	4,5%	100,1%	3,7%	100,1%
Total	500,5	100,1%	280,6%	500,7	100,1%	279,3%	100,1%	280,0%
Dif. Amost	0,1%	O.K.		0,1%	O.K.		Validação:	O.K.
Módulo de Finura	1,81			1,79			Validação:	O.K.

Módulo de finura médio:	1,80
Dimensão máxima característica (mm):	1,2

Agregado miúdo - distribuição granulométrica



Nota:

1. A diferença do somatório do material retido total não deve diferir mais do que 0,3% da massa seca de amostra.
2. As percentagens retidas individualmente não devem diferir mais do que 4% para amostras da mesma origem.
3. Os módulos de finura não devem variar mais do que 0,2 para o material de uma mesma origem.
4. Módulo de finura determinado com aproximação de 0,01.



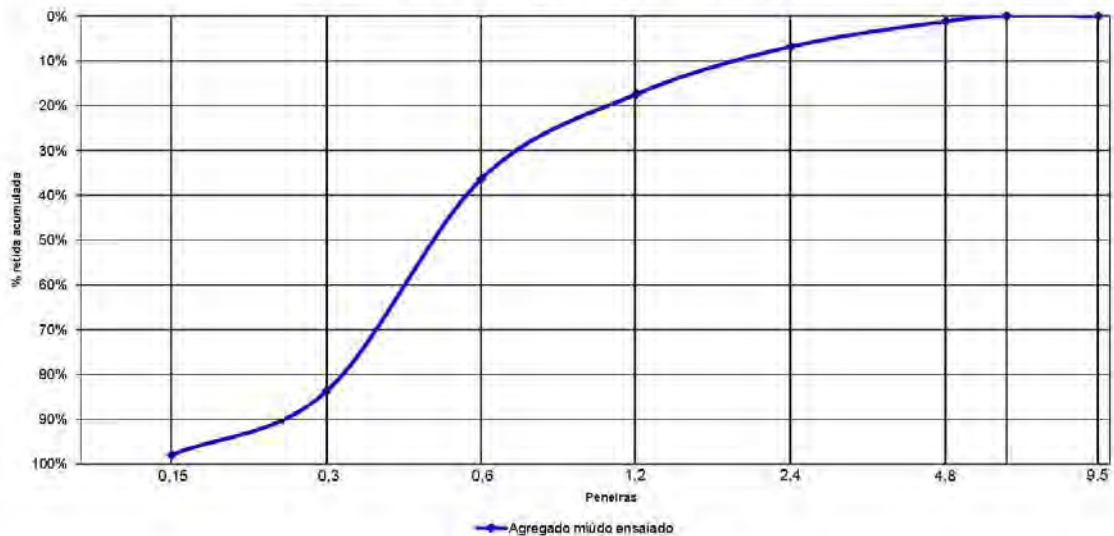
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBRNM248/2003)

Material	Data
Areia M.F. 2,44 - Mineração Capital (antes do peneiramento)	01/10/2008

Peneiras (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual Média	% Retida Acumulada Média
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
9,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,8	4,9	1,0%	1,0%	7	1,4%	1,4%	1,2%	1,2%
2,4	29	5,8%	6,8%	27,6	5,5%	6,9%	5,7%	6,9%
1,2	49,1	9,8%	16,6%	57	11,4%	18,3%	10,6%	17,5%
0,6	94,2	18,8%	35,4%	95,2	19,0%	37,4%	18,9%	36,4%
0,3	237,5	47,5%	82,9%	236	47,2%	84,6%	47,4%	83,8%
0,15	75,6	15,1%	98,1%	66,9	13,4%	97,9%	14,3%	98,0%
Fundo	9,9	2,0%	100,0%	10,6	2,1%	100,1%	2,1%	100,1%
Total	500,2	100,0%	340,8%	500,3	100,1%	346,6%	100,1%	343,7%
Dif. Amost	0,0%	O.K.		0,1%	O.K.		Validação:	O.K.
Módulo de Finura	2,41			2,47			Validação:	O.K.

Módulo de finura médio:	2,44
Dimensão máxima característica (mm):	4,8

Agregado miúdo - distribuição granulométrica



Nota:

1. A diferença do somatório do material retido total não deve diferir mais do que 0,3% da massa seca de amostra.
2. As porcentagens retidas individualmente não devem diferir mais do que 4% para amostras de mesma origem.
3. Os módulos de finura não devem variar mais do que 0,2 para o material de uma mesma origem.
4. Módulo de finura determinado com aproximação de 0,01.



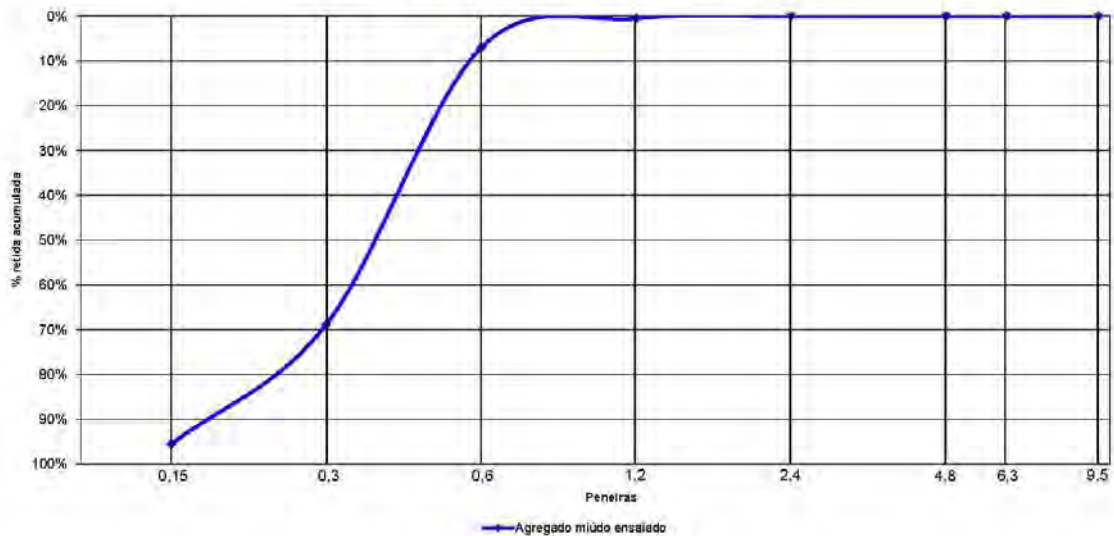
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBRNM248/2003)

Material	Data
Areia M.F. 1,72 - Mineração Capital (final peneirada)	04/01/2010

Peneiras (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual Média	% Retida Acumulada Média
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
9,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,8	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2,4	0	0,0%	0,0%	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1,2	2,6	0,5%	0,5%	2,7	0,5%	0,6%	0,5%	0,6%
0,6	34,3	6,9%	7,4%	30,8	6,2%	6,7%	6,5%	7,1%
0,3	305,3	61,1%	68,4%	311,8	62,4%	69,1%	61,7%	68,8%
0,15	136,5	27,3%	95,7%	130,9	26,2%	95,3%	26,7%	95,5%
Fundo	22,2	4,4%	100,2%	23,9	4,8%	100,1%	4,6%	100,1%
Total	500,9	100,2%	272,3%	500,3	100,1%	271,8%	100,1%	272,0%
Dif. Amost	0,2%	O.K.		0,1%	O.K.		Validação:	O.K.
Módulo de Finura	1,72			1,72			Validação:	O.K.

Módulo de finura médio:	1,72
Dimensão máxima característica (mm):	1,2

Agregado miúdo - distribuição granulométrica



Nota:

1. A diferença do somatório do material retido total não deve diferir mais do que 0,3% da massa seca de amostra.
2. As percentagens retidas individualmente não devem diferir mais do que 4% para amostras de mesma origem.
3. Os módulos de finura não devem variar mais do que 0,2 para o material de uma mesma origem.
4. Módulo de finura determinado com aproximação de 0,01.



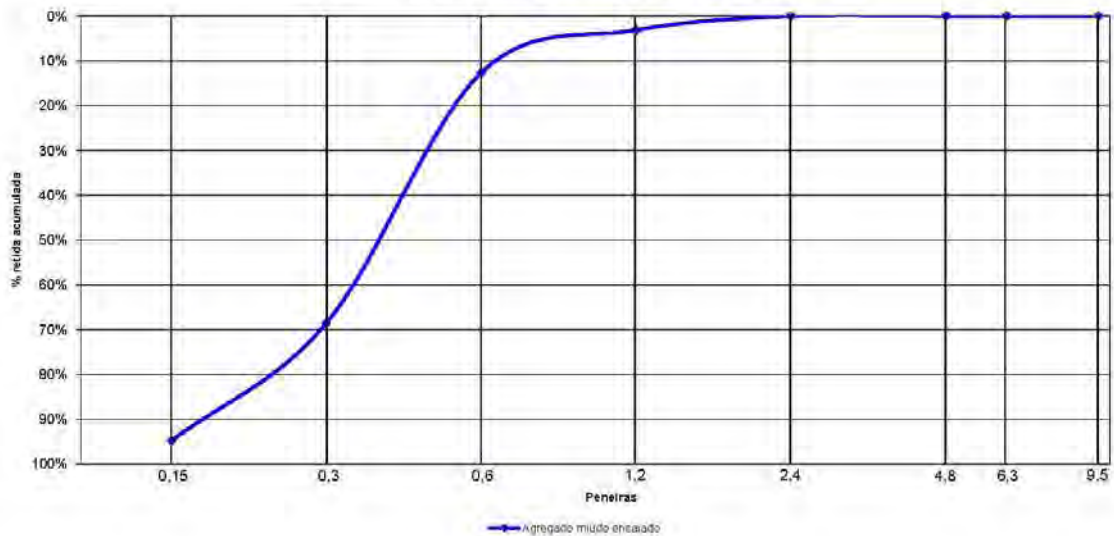
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBRNM248/2003)

Material	Data
Areia M.F. 1.79 - Mineração Capital (final peneirada)	04/01/2010

Peneiras (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual Média	% Retida Acumulada Média
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
9,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,8	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2,4	0,2	0,0%	0,0%	0,3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
1,2	14,5	2,9%	2,9%	16,3	3,3%	3,3%	3,1%	3,1%
0,6	48,2	9,6%	12,6%	46,9	9,4%	12,7%	9,5%	12,6%
0,3	275,5	55,1%	67,7%	283,8	56,8%	69,5%	55,9%	68,6%
0,15	136	27,2%	94,9%	126	25,2%	94,7%	26,2%	94,8%
Fundo	26	5,2%	100,1%	27	5,4%	100,1%	5,3%	100,1%
Total	500,4	100,1%	278,2%	500,3	100,1%	280,3%	100,1%	279,2%
Dif. Amost.	0,1%	O.K.		0,1%	O.K.		Validação:	O.K.
Módulo de Finura	1,78			1,80			Validação:	O.K.

Módulo de finura médio:	1,79
Dimensão máxima característica (mm):	1,2

Agregado miúdo - distribuição granulométrica



Nota:

1. A diferença do somatório do material retido total não deve diferir mais do que 0,3% da massa seca de amostra.
2. As percentagens retidas individualmente não devem diferir mais do que 4% para amostras da mesma origem.
3. Os módulos de finura não devem variar mais do que 0,2 para o material de uma mesma origem.
4. Módulo de finura determinado com aproximação de 0,01.



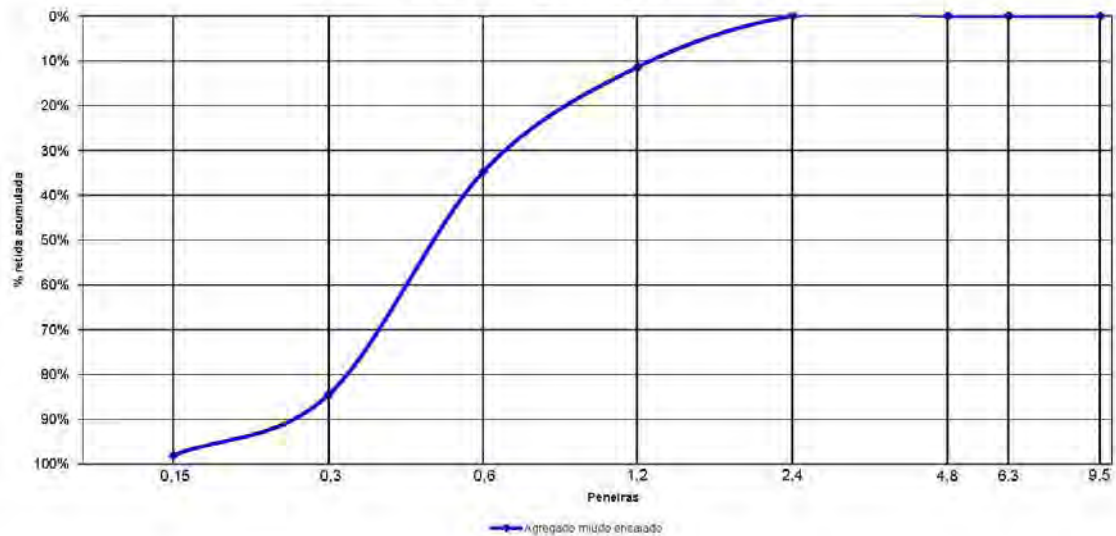
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO (NBRNM248/2003)

Material	Data
Areia M.F. 2.29 - Mineração Capital (final peneirada)	04/01/2010

Peneiras (mm)	1ª Determinação			2ª Determinação			% Retida Individual Média	% Retida Acumulada Média
	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada	Massa Retida (g)	% Retida Individual	% Retida Acumulada		
9,5	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,8	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2,4	0	0,0%	0,0%	0,2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1,2	48	9,6%	9,6%	65,2	13,0%	13,1%	11,3%	11,3%
0,6	111,4	22,3%	31,9%	122,8	24,6%	37,6%	23,4%	34,8%
0,3	257,7	51,5%	83,4%	239,9	48,0%	85,6%	49,8%	84,5%
0,15	73,9	14,8%	98,2%	61,5	12,3%	97,9%	13,5%	98,1%
Fundo	9,3	1,9%	100,1%	10,6	2,1%	100,0%	2,0%	100,1%
Total	500,3	100,1%	323,2%	500,2	100,0%	334,3%	100,1%	328,8%
Dif. Amost	0,1%	O.K.		0,0%	O.K.		Validação:	O.K.
Módulo de Finura	2,23			2,34			Validação:	O.K.

Módulo de finura médio:	2,29
Dimensão máxima característica (mm):	2,4

Agregado miúdo - distribuição granulométrica



Nota:

1. A diferença do somatório do material retido total não deve diferir mais do que 0,3% da massa seca de amostra.
2. As percentagens retidas individualmente não devem diferir mais do que 4% para amostras da mesma origem.
3. Os módulos de finura não devem variar mais do que 0,2 para o material de uma mesma origem.
4. Módulo de finura determinado com aproximação de 0,01.

APÊNDICE B

Caracterização da absorção de água dos substratos cerâmicos

Tabela B.1 – Índice de absorção inicial de água livre dos substratos cerâmicos

CP	Absorção inicial de água livre - AAI	
	Face destinada ao assentamento	Face exposta às soluções em estudo
1	$(8,59\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(6,61\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
2	$(9,23\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,50\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
3	$(10,17\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(8,57\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
4	$(11,58\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(9,89\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
5	$(8,53\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,29\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
6	$(10,58\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(8,49\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
7	$(8,20\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(6,44\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
8	$(8,40\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,01\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
9	$(10,29\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(8,14\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
10	$(9,74\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,48\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
11	$(10,95\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(9,12\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
12	$(9,49\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(8,78\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
13	$(9,96\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(9,05\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
14	$(10,13\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(8,32\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
15	$(8,68\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,16\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
16	$(8,33\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,10\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
17	$(7,14\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(6,34\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
18	$(9,18\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,25\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
19	$(9,09\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(5,95\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
20	$(6,87\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(6,60\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
21	$(9,07\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(6,73\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
22	$(10,29\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,85\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
23	$(6,44\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(5,74\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
24	$(7,99\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(6,66\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
25	$(10,17\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(8,67\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
26	$(10,07\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,97\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
27	$(9,12\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,81\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
28	$(9,74\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$	$(7,50\text{g}/193,55\text{ cm}^2)/\text{min}$
Coefficiente de variação	13,22 %	13,63 %

Tabela B.2 – Índice de absorção de água e absorvidade dos substratos cerâmicos

CP	Índice de absorção de água (NBR 15270-3, 2005)	Absorvidade - S
1	17,23 %	0,471 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
2	17,59 %	0,419 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
3	18,36 %	0,479 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
4	17,10 %	0,503 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
5	16,77 %	0,394 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
6	17,36 %	0,494 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
7	16,84 %	0,368 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
8	17,10 %	0,391 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
9	17,79 %	0,497 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
10	17,98 %	0,463 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
11	17,95 %	0,511 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
12	17,76 %	0,489 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
13	17,55 %	0,482 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
14	17,63 %	0,494 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
15	17,35 %	0,439 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
16	16,89 %	0,426 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
17	16,27 %	0,356 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
18	16,32 %	0,439 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
19	16,41 %	0,430 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
20	15,93 %	0,372 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
21	16,68 %	0,450 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
22	16,53 %	0,494 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
23	12,97 %	0,319 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
24	17,54 %	0,425 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
25	18,00 %	0,512 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
26	17,21 %	0,472 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
27	17,34 %	0,457 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
28	17,41 %	0,481 $\frac{\text{mm}}{\text{min}^{1/2}}$
Coefficiente de variação	5,86 %	11,53 %

Tabela B.3 – Volume de água absorvida por unidade de área dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 1 a 95 min (mm^3/mm^2) – i

CP	Tempo (minutos)											
	1	5	10	15	20	25	30	35	50	65	80	95
	Tempo ($\text{min}^{1/2}$)											
	1	2,2	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	7,1	8,1	8,9	9,7
1	0,45	1,20	1,55	1,96	2,29	2,39	2,55	2,72	3,12	3,37	3,58	3,69
2	0,47	0,99	1,37	1,66	1,90	2,11	2,30	2,49	2,86	3,23	3,52	3,74
3	0,51	1,06	1,49	1,85	2,16	2,44	2,65	2,87	3,30	3,63	3,91	4,16
4	0,59	1,20	1,65	1,99	2,31	2,56	2,79	2,97	3,37	3,67	3,95	4,17
5	0,42	0,89	1,23	1,48	1,74	1,97	2,18	2,35	2,80	3,14	3,39	3,63
6	0,53	1,13	1,58	1,96	2,23	2,49	2,75	2,95	3,35	3,66	3,92	4,18
7	0,38	0,80	1,14	1,45	1,70	1,86	2,04	2,18	2,53	2,84	3,10	3,35
8	0,39	0,81	1,18	1,49	1,75	1,96	2,17	2,35	2,77	3,15	3,51	3,75
9	0,53	1,14	1,57	1,95	2,23	2,50	2,77	2,98	3,38	3,77	4,08	4,35
10	0,52	1,08	1,47	1,76	2,06	2,29	2,55	2,77	3,27	3,59	3,86	4,09
11	0,56	1,17	1,69	2,07	2,35	2,63	2,85	3,01	3,39	3,67	3,94	4,16
12	0,55	1,14	1,54	1,89	2,21	2,46	2,71	2,98	3,32	3,62	3,90	4,10
13	0,50	1,20	1,63	1,89	2,17	2,41	2,68	2,87	3,25	3,56	3,84	4,05
14	0,55	1,14	1,56	1,91	2,22	2,47	2,77	2,98	3,38	3,75	3,92	4,11
15	0,40	0,89	1,33	1,69	1,99	2,27	2,46	2,63	3,01	3,34	3,58	3,80
16	0,45	0,98	1,36	1,70	1,92	2,14	2,35	2,55	2,92	3,17	3,43	3,66
17	0,36	0,78	1,10	1,38	1,62	1,83	1,96	2,09	2,49	2,77	3,00	3,21
18	0,41	0,98	1,42	1,78	2,03	2,23	2,41	2,57	3,00	3,32	3,61	3,86
19	0,45	0,98	1,33	1,63	1,91	2,19	2,41	2,63	2,93	3,26	3,57	3,83
20	0,35	0,83	1,20	1,49	1,71	1,89	2,04	2,20	2,54	2,84	3,11	3,33
21	0,46	0,98	1,43	1,76	2,06	2,30	2,49	2,70	3,06	3,34	3,60	3,83
22	0,56	1,12	1,62	1,94	2,26	2,53	2,75	2,94	3,31	3,61	3,84	4,02
23	0,37	0,74	1,06	1,30	1,50	1,64	1,76	1,87	2,10	2,28	2,45	2,57
24	0,43	0,89	1,31	1,67	1,94	2,17	2,38	2,53	2,92	3,18	3,45	3,68
25	0,58	1,19	1,69	2,04	2,38	2,64	2,84	3,02	3,40	3,68	3,92	4,12
26	0,49	1,04	1,51	1,84	2,14	2,40	2,64	2,82	3,22	3,51	3,76	3,96
27	0,48	1,01	1,42	1,78	2,06	2,31	2,56	2,75	3,12	3,46	3,74	3,99
28	0,50	1,18	1,65	1,93	2,20	2,45	2,66	2,83	3,20	3,54	3,74	3,96

Tabela B.4 – Volume de água absorvida por unidade de área dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 110 a 2880 min (mm^3/mm^2) – i

CP	Tempo (minutos)					
	110	135	210	300	1440	2880
	Tempo ($\text{min}^{1/2}$)					
	10,5	11,6	14,5	17,3	37,9	53,7
1	3,80	3,89	4,03	4,15	4,58	4,68
2	3,95	4,17	4,66	4,94	5,17	5,22
3	4,36	4,63	4,91	5,07	5,26	5,28
4	4,36	4,61	5,00	5,20	5,55	5,60
5	3,84	4,12	4,68	4,94	5,16	5,24
6	4,37	4,55	4,81	4,90	4,98	5,03
7	3,57	3,89	4,50	4,84	5,31	5,36
8	3,98	4,24	4,76	4,96	5,40	5,46
9	4,58	4,80	5,39	5,53	5,70	5,76
10	4,28	4,46	4,91	5,09	5,38	5,45
11	4,35	4,56	4,84	5,05	5,28	5,38
12	4,27	4,46	4,73	4,84	4,93	4,97
13	4,28	4,46	4,77	4,92	4,98	5,02
14	4,27	4,37	4,60	4,76	4,87	4,95
15	4,00	4,26	4,48	4,67	4,85	4,94
16	3,84	4,11	4,46	4,70	4,91	4,98
17	3,49	3,81	4,49	4,87	5,34	5,39
18	4,04	4,20	4,73	4,85	4,90	4,96
19	4,04	4,25	4,70	4,87	5,13	5,19
20	3,52	3,69	4,33	4,58	4,70	4,76
21	4,05	4,29	4,79	5,16	5,36	5,38
22	4,18	4,39	4,67	4,83	4,91	4,93
23	2,70	2,86	3,04	3,18	3,38	3,44
24	3,87	4,13	4,43	4,61	4,97	5,05
25	4,29	4,51	4,70	4,79	5,00	5,03
26	4,12	4,33	4,53	4,65	4,73	4,76
27	4,19	4,42	4,68	4,80	4,89	4,92
28	4,10	4,27	4,61	4,81	4,90	4,94

Tabela B.5 – Teor de umidade dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 1 a 95 min (%)

CP	Tempo (minutos)											
	1	5	10	15	20	25	30	35	50	65	80	95
	Tempo (min ^{1/2})											
	1	2,2	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	7,1	8,1	8,9	9,7
1	1,65	4,42	5,72	7,23	8,46	8,81	9,41	10,02	11,51	12,42	13,19	13,62
2	1,61	3,41	4,70	5,70	6,53	7,26	7,90	8,56	9,85	11,12	12,11	12,89
3	1,73	3,60	5,04	6,28	7,31	8,25	8,98	9,71	11,17	12,30	13,23	14,07
4	1,99	4,03	5,54	6,67	7,77	8,60	9,35	9,98	11,31	12,33	13,27	13,99
5	1,45	3,04	4,22	5,09	5,96	6,76	7,49	8,07	9,61	10,76	11,65	12,45
6	1,87	3,95	5,54	6,87	7,82	8,70	9,61	10,31	11,71	12,80	13,72	14,63
7	1,27	2,70	3,85	4,89	5,75	6,29	6,87	7,37	8,52	9,60	10,48	11,31
8	1,31	2,69	3,89	4,95	5,78	6,48	7,17	7,77	9,17	10,44	11,61	12,42
9	1,74	3,71	5,11	6,37	7,26	8,15	9,03	9,72	11,02	12,27	13,30	14,19
10	1,72	3,61	4,90	5,90	6,89	7,65	8,53	9,27	10,92	12,01	12,93	13,67
11	1,92	4,02	5,78	7,08	8,04	9,02	9,76	10,31	11,60	12,57	13,50	14,25
12	1,94	4,03	5,47	6,69	7,83	8,72	9,60	10,58	11,79	12,84	13,84	14,55
13	1,76	4,20	5,72	6,64	7,61	8,46	9,39	10,06	11,40	12,47	13,47	14,21
14	1,95	4,01	5,51	6,74	7,82	8,70	9,79	10,51	11,93	13,23	13,83	14,51
15	1,40	3,13	4,68	5,93	6,97	7,98	8,64	9,22	10,55	11,72	12,55	13,31
16	1,57	3,38	4,70	5,86	6,62	7,39	8,12	8,81	10,06	10,95	11,84	12,62
17	1,14	2,51	3,53	4,44	5,21	5,87	6,28	6,70	7,98	8,89	9,63	10,30
18	1,44	3,43	4,95	6,21	7,05	7,77	8,38	8,94	10,44	11,56	12,56	13,43
19	1,57	3,40	4,58	5,64	6,61	7,57	8,32	9,09	10,11	11,26	12,32	13,21
20	1,22	2,88	4,20	5,18	5,95	6,60	7,10	7,68	8,85	9,91	10,83	11,62
21	1,55	3,27	4,78	5,90	6,88	7,70	8,33	9,03	10,25	11,16	12,05	12,82
22	1,97	3,91	5,69	6,81	7,93	8,88	9,64	10,3%	11,62	12,66	13,48	14,09
23	1,28	2,56	3,66	4,52	5,19	5,68	6,10	6,48	7,29	7,91	8,48	8,92
24	1,44	3,02	4,43	5,66	6,59	7,37	8,07	8,57	9,90	10,79	11,70	12,47
25	2,03	4,14	5,90	7,13	8,30	9,22	9,90	10,55	11,88	12,86	13,69	14,37
26	1,76	3,74	5,43	6,60	7,70	8,63	9,49	10,13	11,55	12,62	13,50	14,23
27	1,65	3,50	4,91	6,16	7,12	7,99	8,83	9,49	10,79	11,96	12,92	13,78
28	1,75	4,15	5,78	6,78	7,70	8,59	9,34	9,93	11,23	12,41	13,10	13,88

Tabela B.6 – Teor de umidade dos substratos cerâmicos ao longo do tempo – 110 a 2880 min (%)

CP	Tempo (minutos)					
	110	135	210	300	1440	2880
	Tempo (min ^{1/2})					
	10,5	11,6	14,5	17,3	37,9	53,7
1	14,00	14,35	14,86	15,31	16,88	17,26
2	13,60	14,34	16,04	17,00	17,80	17,97
3	14,77	15,69	16,62	17,18	17,81	17,88
4	14,65	15,48	16,79	17,45	18,64	18,80
5	13,17	14,15	16,08	16,95	17,72	18,00
6	15,28	15,92	16,81	17,16	17,44	17,59
7	12,05	13,13	15,19	16,35	17,91	18,10
8	13,16	14,03	15,76	16,41	17,87	18,07
9	14,94	15,65	17,57	18,02	18,58	18,78
10	14,30	14,91	16,41	17,02	18,00	18,22
11	14,88	15,62	16,58	17,27	18,07	18,40
12	15,13	15,83	16,77	17,18	17,47	17,61
13	15,00	15,65	16,75	17,26	17,47	17,63
14	15,06	15,41	16,21	16,79	17,19	17,48
15	14,02	14,93	15,71	16,37	17,02	17,32
16	13,24	14,17	15,40	16,21	16,95	17,18
17	11,19	12,22	14,40	15,61	17,13	17,29
18	14,06	14,63	16,48	16,88	17,05	17,25
19	13,95	14,67	16,22	16,81	17,72	17,93
20	12,28	12,85	15,11	15,96	16,39	16,58
21	13,54	14,37	16,03	17,25	17,91	18,01
22	14,65	15,41	16,38	16,93	17,23	17,30
23	9,34	9,92	10,55	11,02	11,71	11,92
24	13,11	13,99	15,01	15,62	16,83	17,11
25	14,97	15,74	16,40	16,72	17,45	17,58
26	14,79	15,53	16,27	16,71	16,98	17,11
27	14,49	15,26	16,18	16,57	16,88	17,00
28	14,37	14,98	16,17	16,88	17,19	17,34

APÊNDICE C

Caracterização da absorção de água ao longo do tempo dos corpos-de-prova

Tabela C.1 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 1 a 95 min (%)

CP	Tempo (minutos)											
	1	5	10	15	20	25	30	35	50	65	80	95
	Tempo (min ^{1/2})											
	1	2,2	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	7,1	8,1	8,9	9,7
ADG1SB	0,19	0,42	0,64	0,84	1,02	1,17	1,32	1,46	1,81	2,08	2,30	2,50
ADG2SB	0,28	0,59	0,86	1,09	1,30	1,46	1,61	1,76	2,16	2,45	2,70	2,92
ADG3SB	0,31	0,72	0,96	1,18	1,35	1,52	1,70	1,85	2,14	2,68	2,67	2,89
ADG1CB	0,21	0,53	0,76	0,96	1,14	1,28	1,42	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46
ADG2CB	0,23	0,52	0,72	0,90	1,06	1,19	1,31	1,45	1,69	1,96	2,16	2,36
ADG3CB	0,20	0,46	0,68	0,91	1,10	1,26	1,42	1,63	1,92	2,17	2,41	2,61
NAG1SB	0,26	0,57	0,84	1,06	1,27	1,46	1,70	1,92	2,20	2,45	2,68	2,92
NAG2SB	0,17	0,40	0,57	0,76	0,92	1,12	1,26	1,40	1,64	1,85	2,00	2,17
NAG3SB	0,20	0,53	0,76	1,00	1,23	1,38	1,52	1,63	1,89	2,09	2,27	2,46
NAG1CB	0,18	0,41	0,66	0,85	1,03	1,14	1,24	1,34	1,54	1,73	1,91	2,08
NAG2CB	0,28	0,65	0,94	1,16	1,33	1,52	1,67	1,78	2,08	2,32	2,58	2,81
NAG3CB	0,27	0,67	0,99	1,22	1,45	1,64	1,78	1,93	2,24	2,50	2,73	2,94

Tabela C.2 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 110 a 2880 min (%)

CP	Tempo (minutos)					
	110	135	210	300	1440	2880
	Tempo (min ^{1/2})					
	10,5	11,6	14,5	17,3	37,9	53,7
ADG1SB	2,70	2,97	3,62	4,10	6,76	8,12
ADG2SB	3,12	3,41	4,07	4,65	7,40	8,67
ADG3SB	3,09	3,38	3,98	4,51	6,73	7,72
ADG1CB	2,66	2,96	3,60	4,05	6,76	8,12
ADG2CB	2,59	2,86	3,42	3,91	6,59	7,74
ADG3CB	2,78	3,02	3,62	4,06	6,72	7,72
NAG1SB	3,12	3,39	3,95	4,26	7,03	8,38
NAG2SB	2,35	2,57	3,16	3,66	6,60	7,81
NAG3SB	2,61	2,83	3,43	3,87	6,33	7,33
NAG1CB	2,21	2,41	2,95	3,38	6,12	7,48
NAG2CB	3,01	3,27	3,64	4,32	7,11	8,32
NAG3CB	3,13	3,38	3,62	4,33	6,78	7,77

Tabela C.3 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo - média por tipo de argamassa – 1 a 95 min (%)

Argamassa	Tempo (minutos)											
	1	5	10	15	20	25	30	35	50	65	80	95
	Tempo (min ^{1/2})											
	1	2,2	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	7,1	8,1	8,9	9,7
Com areia MF 1,72	0,21	0,48	0,72	0,93	1,12	1,27	1,42	1,56	1,84	2,07	2,28	2,49
Com areia MF 1,79	0,24	0,54	0,77	0,98	1,15	1,32	1,46	1,60	1,89	2,14	2,36	2,57
Com areia MF 2,29	0,25	0,59	0,85	1,08	1,28	1,45	1,60	1,76	2,05	2,36	2,52	2,73

Tabela C.4 – Teor de umidade dos corpos-de-prova ao longo do tempo - média por tipo de argamassa – 110 a 2880 min (%)

Argamassa	Tempo (minutos)					
	110	135	210	300	1440	2880
	Tempo (min ^{1/2})					
	10,5	11,6	14,5	17,3	37,9	53,7
Com areia MF 1,72	2,67	2,93	3,53	3,95	6,67	8,02
Com areia MF 1,79	2,77	3,03	3,57	4,13	6,93	8,14
Com areia MF 2,29	2,90	3,15	3,66	4,20	6,64	7,63

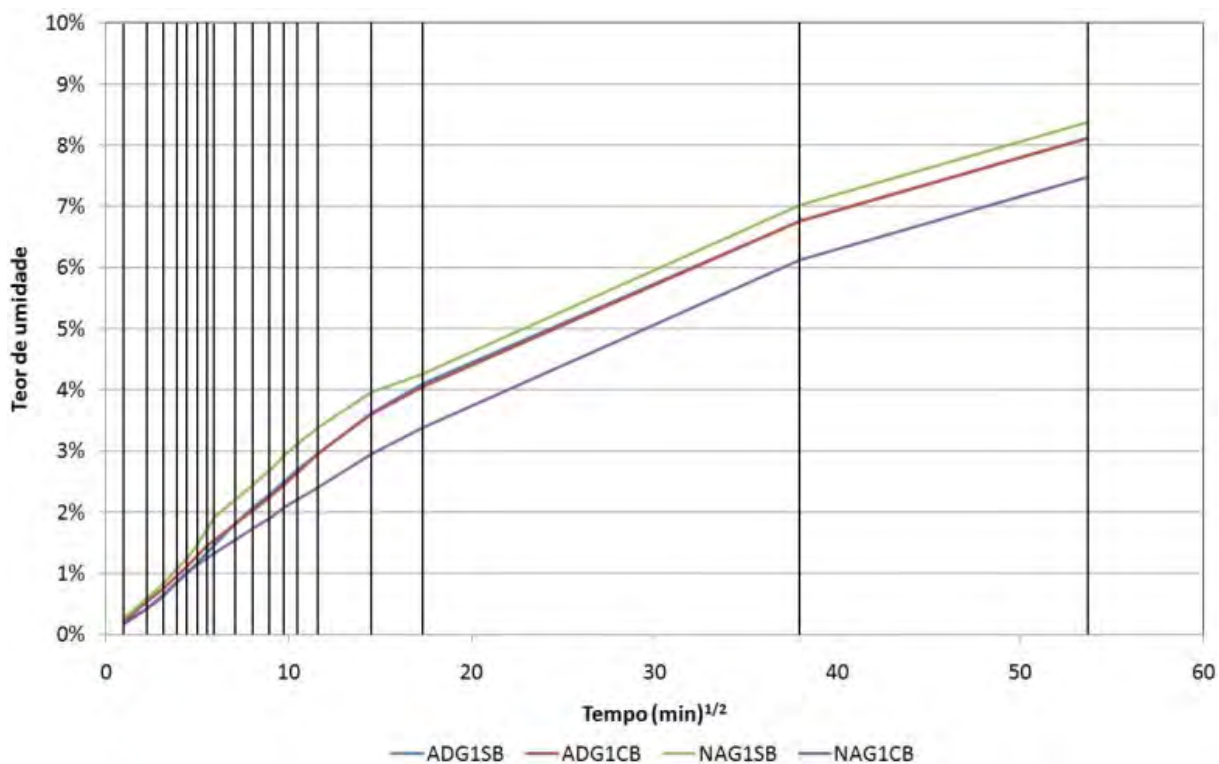


Figura C.1 – Absorção de água ao longo do tempo – argamassa MF 1,72

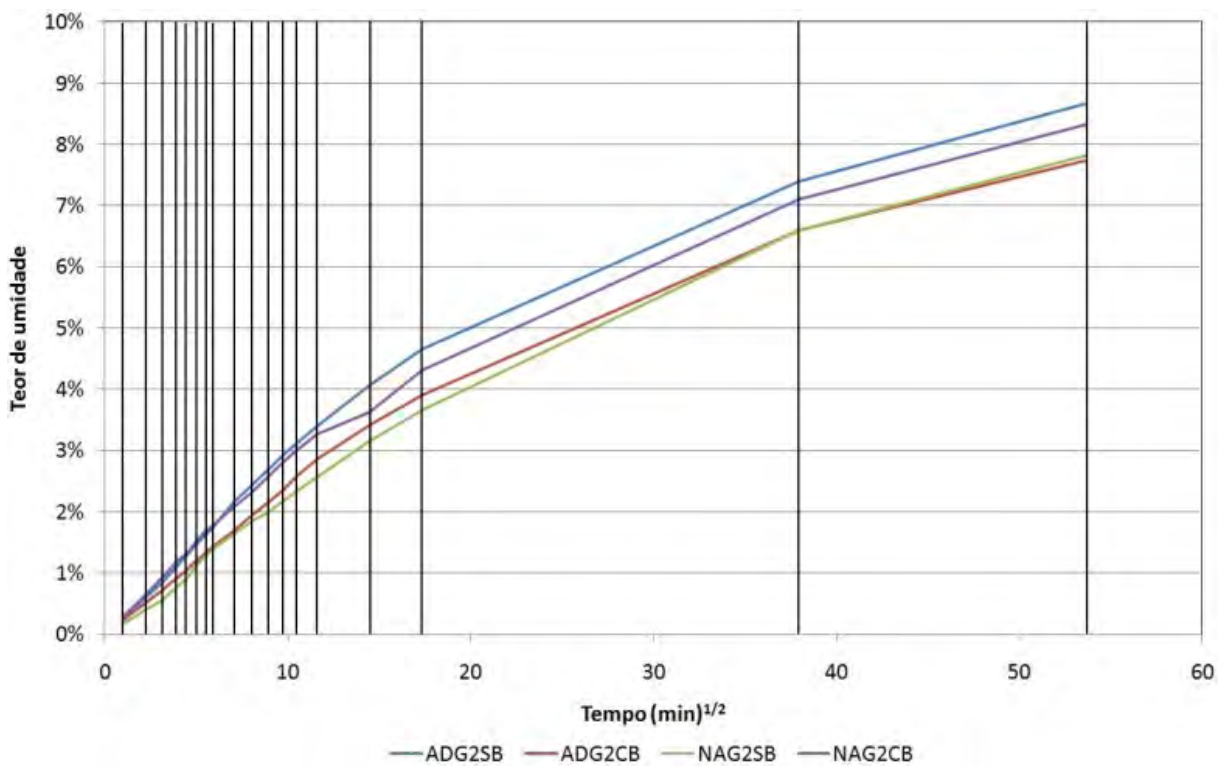


Figura C.2 – Absorção de água ao longo do tempo – argamassa MF 1,79

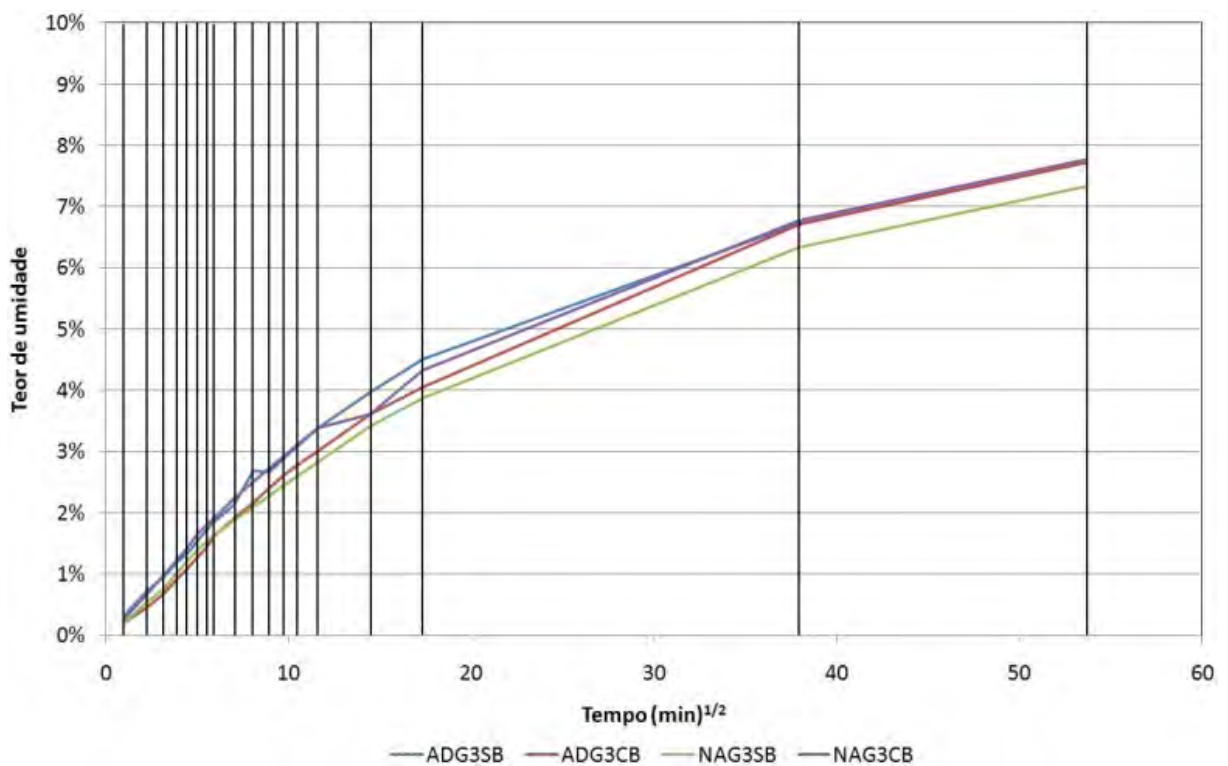


Figura C.3 - Absorção de água ao longo do tempo – argamassa MF 2,29

Tabela C.5 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 1 a 95 min

CP	Eletrodo	Tempo (minutos)											
		1	5	10	15	20	25	30	35	50	65	80	95
		Tempo (min ^{1/2})											
		1	2,2	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	7,1	8,1	8,9	9,7
ADG1SB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ADG2SB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ADG3SB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ADG1CB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ADG2CB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ADG3CB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NAG1SB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NAG2SB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NAG3SB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NAG1CB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NAG2CB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NAG3CB	Inferior (15mm) ¹	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Superior (24mm) ²	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Eletrodo localizado na argamassa, a 15mm de altura do substrato cerâmico.

² Eletrodo localizado na argamassa, a 24mm de altura do substrato cerâmico.

Tabela C.6 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 110 a 2880 minutos

CP	Eletrodo	Tempo (minutos)													
		110	135	210	300	330	360	390	420	450	480	510	540	1440	2880
		Tempo (min ^{1/2})													
		10,5	11,6	14,5	17,3	18,2	19,0	19,7	20,5	21,2	21,9	22,6	23,2	37,9	53,7
ADG1SB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,10	0,11	0,20	0,94	1,51
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,10	0,11	0,75	1,50
ADG2SB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,12	0,17	0,20	1,05	1,70
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,10	0,95	1,60
ADG3SB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,13	0,17	0,23	1,04	1,93
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,95	1,41
ADG1CB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,09	0,10	0,16	0,88	1,45
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,07	0,10	0,78	1,40
ADG2CB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10	0,15	0,20	1,08	1,81
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,15	1,01	1,75
ADG3CB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,11	0,16	0,22	0,26	1,10	1,95
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,87	1,23
NAG1SB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,11	0,12	0,18	0,92	1,50
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09	0,11	0,79	1,34
NAG2SB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,14	0,18	0,22	1,08	1,79
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,12	0,97	1,63
NAG3SB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,10	0,15	0,19	0,24	1,05	1,93
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,92	1,30
NAG1CB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,12	0,13	0,18	0,95	1,42
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,07	0,09	0,90	1,41
NAG2CB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,12	0,16	0,22	0,25	1,11	1,82
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,13	1,01	1,79
NAG3CB	Inferior (15mm)1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,14	0,17	0,22	1,06	1,87
	Superior (24mm)2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,10	0,99	1,32

¹ Eletrodo localizado na argamassa, a 15mm de altura do substrato cerâmico.

² Eletrodo localizado na argamassa, a 24mm de altura do substrato cerâmico.

APÊNDICE D

Relatórios de ensaio de caracterização da argamassa – resistência à tração na flexão (NBR 13279, 2005)

APÊNDICE E

**Relatórios de ensaio de caracterização da argamassa – resistência à tração por
compressão diametral (NBR 7222, 1994)**

APÊNDICE F

**Relatórios de ensaio de caracterização da argamassa – resistência à compressão
(NBR 13279, 2005)**

APÊNDICE G

**Ensaio de caracterização da argamassa – absorção de água por capilaridade
(NBR 9778, 2005)**

Tabela G.1 – Absorção de água por capilaridade – resultados individuais (NBR 9779, 1995)

CP	Argamassa	Absorção de água por capilaridade					Máxima altura da ascensão capilar interna
		Após 3h	Após 6h	Após 24h	Após 48h	Após 72h	
1	MF 1,72	1,1g/cm ²	1,4g/cm ²	2,4g/cm ²	2,7g/cm ²	2,8g/cm ²	10,0cm
2	MF 1,72	1,1g/cm ²	1,5g/cm ²	2,6g/cm ²	2,8g/cm ²	2,8g/cm ²	10,0cm
3	MF 1,72	0,8g/cm ²	1,2g/cm ²	2,3g/cm ²	2,7g/cm ²	2,8g/cm ²	10,0cm
Coeficiente de variação		14,96%	10,48%	5,98%	0,93%	0,65%	0,00%
4	MF 1,79	0,9g/cm ²	1,2g/cm ²	2,2g/cm ²	2,6g/cm ²	2,6g/cm ²	10,0cm
5	MF 1,79	0,9g/cm ²	1,3g/cm ²	2,3g/cm ²	2,6g/cm ²	2,7g/cm ²	10,0cm
6	MF 1,79	0,8g/cm ²	1,2g/cm ²	2,2g/cm ²	2,6g/cm ²	2,7g/cm ²	10,0cm
Coeficiente de variação		4,50%	4,23%	3,13%	1,77%	1,25%	0,00%
7	MF 2,29	0,7g/cm ²	1,0g/cm ²	1,9g/cm ²	2,4g/cm ²	2,6g/cm ²	10,0cm
8	MF 2,29	0,9g/cm ²	1,2g/cm ²	2,1g/cm ²	2,5g/cm ²	2,6g/cm ²	10,0cm
9	MF 2,29	0,9g/cm ²	1,2g/cm ²	2,2g/cm ²	2,6g/cm ²	2,6g/cm ²	10,0cm
Coeficiente de variação		11,36%	9,26%	6,62%	3,41%	1,02%	0,00%

Tabela G.2 – Absorção de água por capilaridade – média dos CPs (NBR 9779, 1995)

Argamassa	Absorção de água por capilaridade					Máxima altura da ascensão capilar interna
	Após 3h	Após 6h	Após 24h	Após 48h	Após 72h	
MF 1,72	1,0g/cm ²	1,4g/cm ²	2,4g/cm ²	2,7g/cm ²	2,8g/cm ²	10,0cm
MF 1,79	0,9g/cm ²	1,2g/cm ²	2,2g/cm ²	2,6g/cm ²	2,7g/cm ²	10,0cm
MF 2,29	0,8g/cm ²	1,2g/cm ²	2,1g/cm ²	2,5g/cm ²	2,6g/cm ²	10,0cm

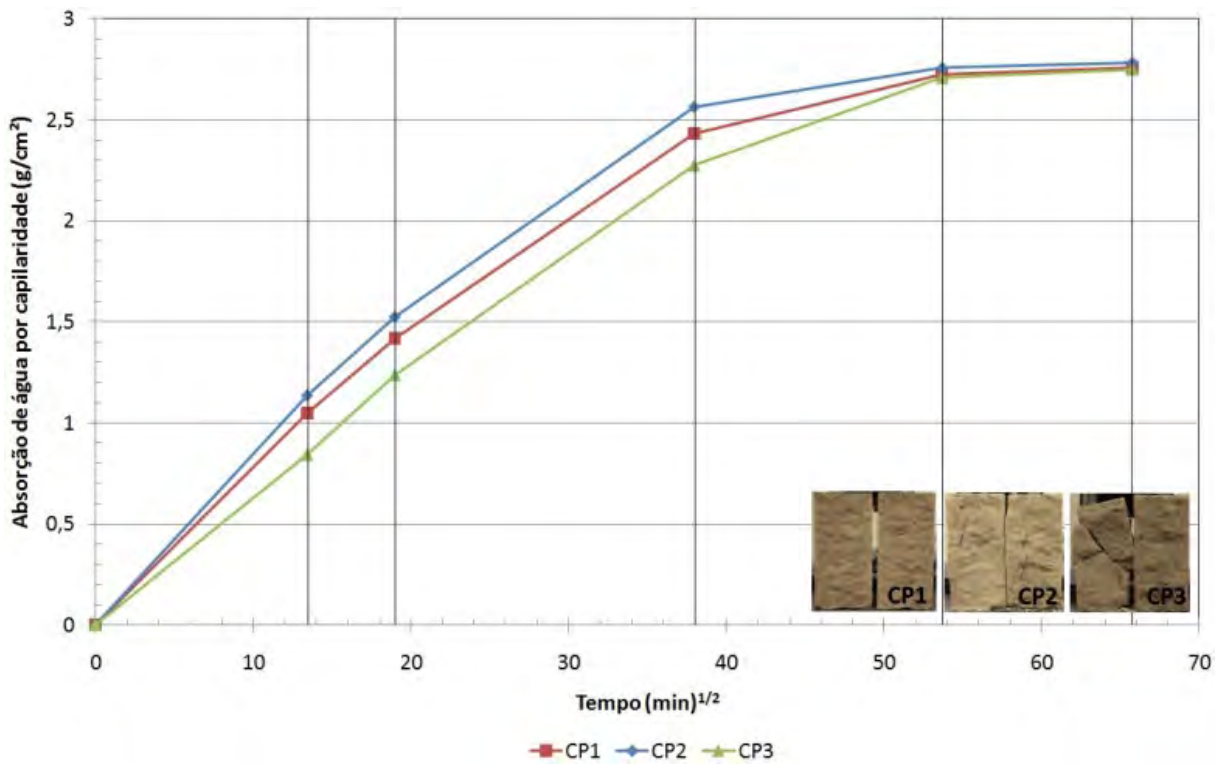


Figura G.1 – Absorção de água por capilaridade – série confeccionada com argamassa MF 1,72

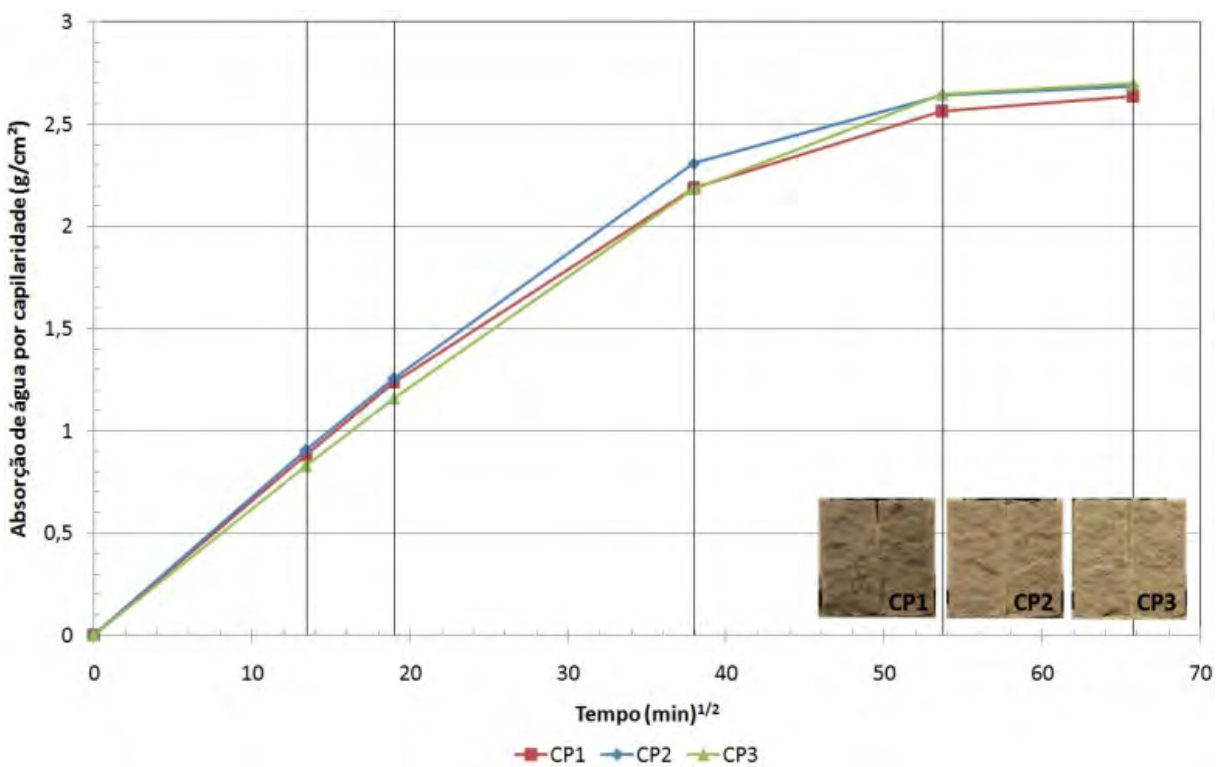


Figura G.2 – Absorção de água por capilaridade – série confeccionada com argamassa MF 1,79

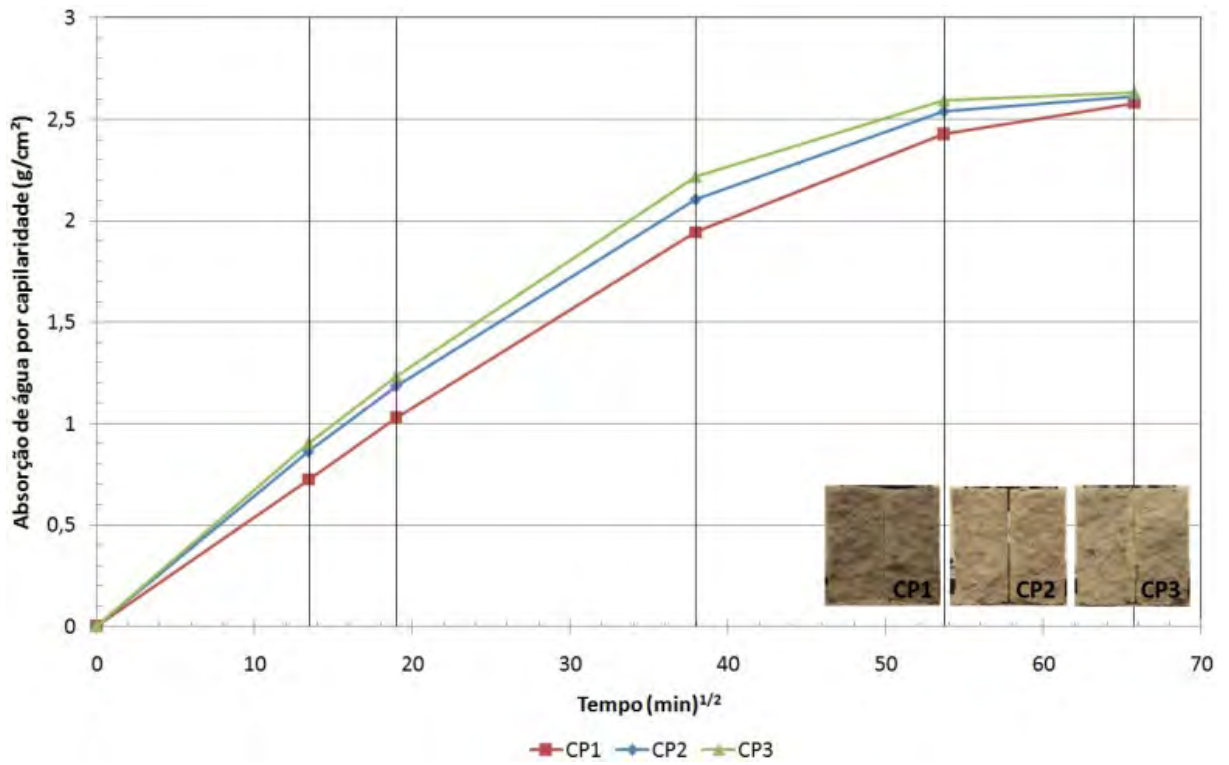







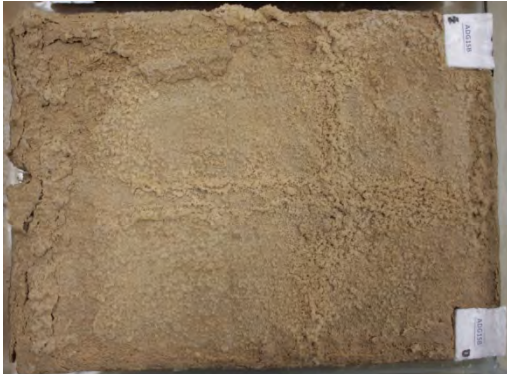


Figura G.3 – Absorção de água por capilaridade – série confeccionada com argamassa MF 2,29

APÊNDICE H

Evolução da superfície eflorescida dos corpos-de-prova ao longo do tempo

Tabela H.1 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG1SB

<p>ADG1SB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG1SB – 75min Área eflorescida: 11,86%</p> 
<p>ADG1SB – 150min Área eflorescida: 46,97%</p> 	<p>ADG1SB – 240min Área eflorescida: 63,16%</p> 
<p>ADG1SB – 300min Área eflorescida: 75,49%</p> 	<p>ADG1SB – 990min Área eflorescida: 100%</p> 
<p>ADG1SB – 1125min Área eflorescida: 100%</p> 	<p>ADG1SB – 1440min Área eflorescida: 100%</p> 

ADG1SB – 1700min
Área eflorescida: 100%



ADG1SB – 2550min
Área eflorescida: 100%



ADG1SB – 3020min
Área eflorescida: 100%



ADG1SB – 3825min
Área eflorescida: 100%



ADG1SB – 4620min
Área eflorescida: 100%



ADG1SB – 5910min
Área eflorescida: 100%





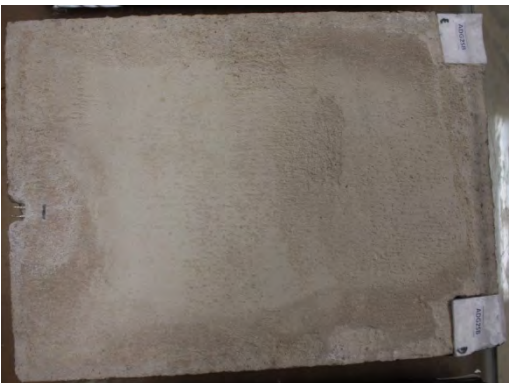
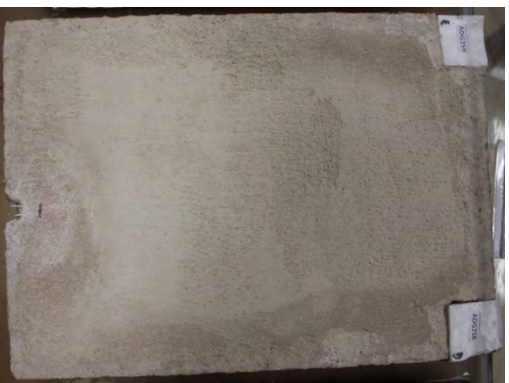
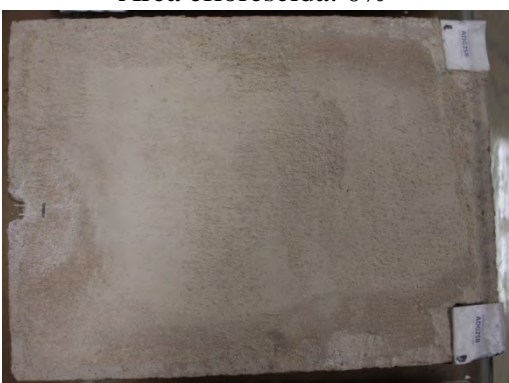



ADG1SB – 7200min
Área eflorescida: 100%



ADG1SB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.2 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG2SB

<p>ADG2SB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG2SB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG2SB – 150min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG2SB – 240min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG2SB – 300min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG2SB – 990min Área eflorescida: 26,23%</p> 
<p>ADG2SB – 1125min Área eflorescida: 45,28%</p> 	<p>ADG2SB – 1440min Área eflorescida: 67,50%</p> 

ADG2SB – 1700min
Área eflorescida: 81,98%



ADG2SB – 2550min
Área eflorescida: 85,48%



ADG2SB – 3020min
Área eflorescida: 85,48%



ADG2SB – 3825min
Área eflorescida: 85,48%



ADG2SB – 4620min
Área eflorescida: 100%



ADG2SB – 5910min
Área eflorescida: 100%



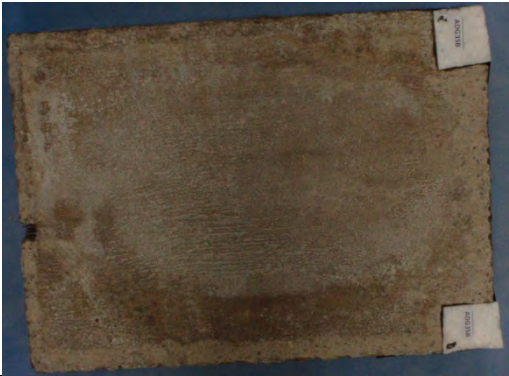
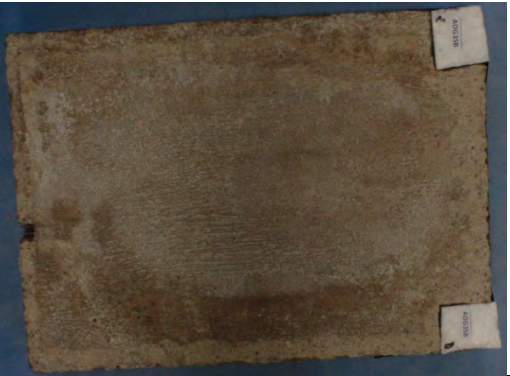



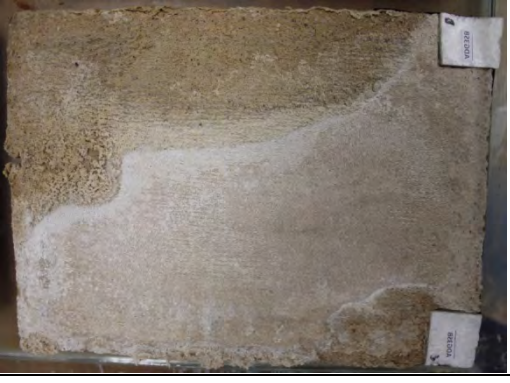


ADG2SB – 7200min
Área eflorescida: 100%



ADG2SB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.3 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG3SB

<p>ADG3SB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG3SB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG3SB – 150min Área eflorescida: 0,83%</p> 	<p>ADG3SB – 240min Área eflorescida: 1,30%</p> 
<p>ADG3SB – 300min Área eflorescida: 3,74%</p> 	<p>ADG3SB – 990min Área eflorescida: 48,20%</p> 
<p>ADG3SB – 1125min Área eflorescida: 49,89%</p> 	<p>ADG3SB – 1440min Área eflorescida: 63,14%</p> 

ADG3SB – 1700min
Área eflorescida: 78,07%



ADG3SB – 2550min
Área eflorescida: 100%



ADG3SB – 3020min
Área eflorescida: 100%



ADG3SB – 3825min
Área eflorescida: 100%



ADG3SB – 4620min
Área eflorescida: 100%



ADG3SB – 5910min
Área eflorescida: 100%





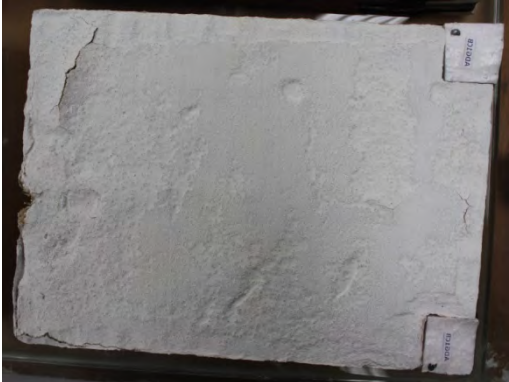
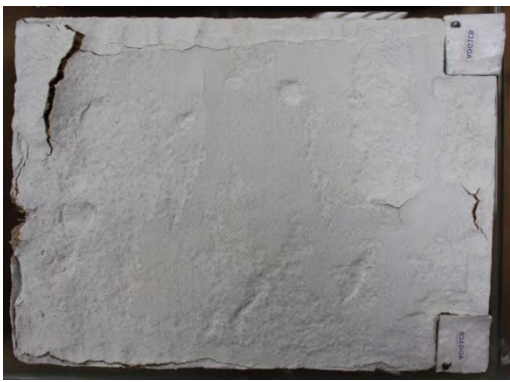
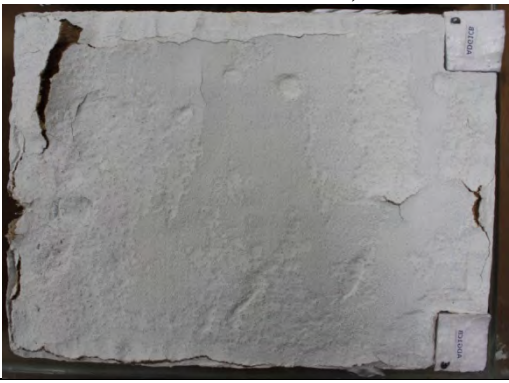



ADG3SB – 7200min
Área eflorescida: 100%



ADG3SB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.4 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG1CB

<p>ADG1CB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG1CB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG1CB – 150min Área eflorescida: 1,61%</p> 	<p>ADG1CB – 240min Área eflorescida: 4,47%</p> 
<p>ADG1CB – 300min Área eflorescida: 21,72%</p> 	<p>ADG1CB – 990min Área eflorescida: 68,26%</p> 
<p>ADG1CB – 1125min Área eflorescida: 77,04%</p> 	<p>ADG1CB – 1440min Área eflorescida: 92,10%</p> 

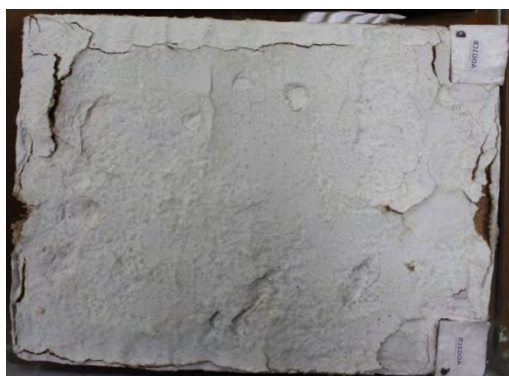
ADG1CB – 1700min
Área eflorescida: 97,25%



ADG1CB – 2550min
Área eflorescida: 100%



ADG1CB – 3020min
Área eflorescida: 100%



ADG1CB – 3825min
Área eflorescida: 100%



ADG1CB – 4620min
Área eflorescida: 100%



ADG1CB – 5910min
Área eflorescida: 100%



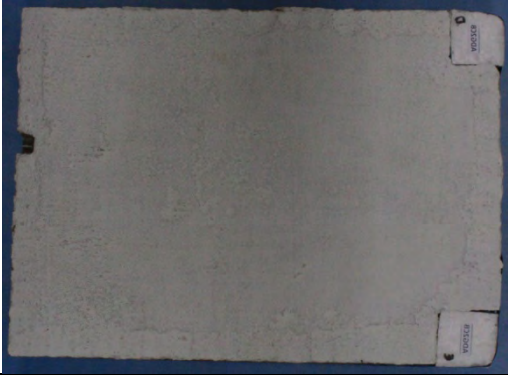
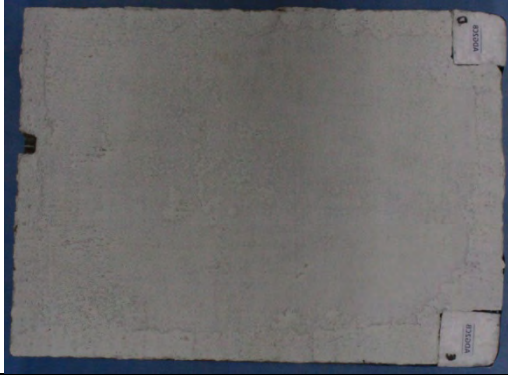
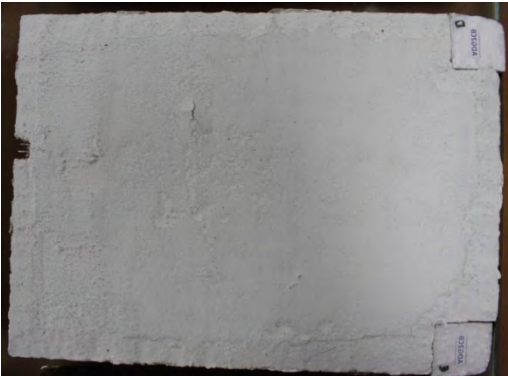
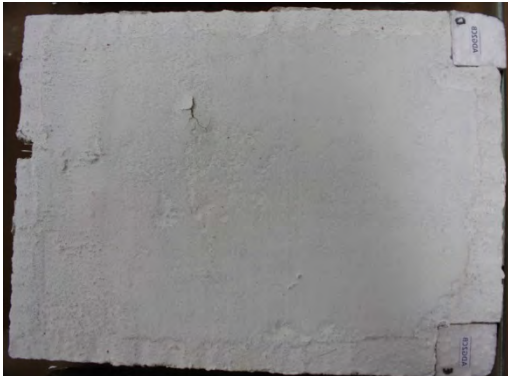
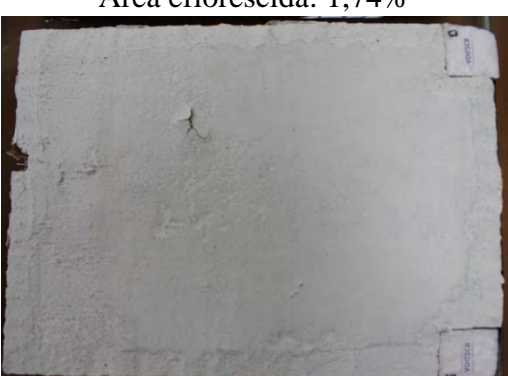



ADG1CB – 7200min
Área eflorescida: 100%



ADG1CB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.5 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG2CB

<p>ADG2CB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG2CB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG2CB – 150min Área eflorescida: 0,10%</p> 	<p>ADG2CB – 240min Área eflorescida: 0,67%</p> 
<p>ADG2CB – 300min Área eflorescida: 1,74%</p> 	<p>ADG2CB – 990min Área eflorescida: 56,68%</p> 
<p>ADG2CB – 1125min Área eflorescida: 64,00%</p> 	<p>ADG2CB – 1440min Área eflorescida: 75,01%</p> 

ADG2CB – 1700min
Área eflorescida: 85,60%



ADG2CB – 2550min
Área eflorescida: 98,10%



ADG2CB – 3020min
Área eflorescida: 100%



ADG2CB – 3825min
Área eflorescida: 100%



ADG2CB – 4620min
Área eflorescida: 100%



ADG2CB – 5910min
Área eflorescida: 100%











ADG2CB – 7200min
Área eflorescida: 100%



ADG2CB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.6 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo ADG3CB

<p>ADG3CB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG3CB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG3CB – 150min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>ADG3CB – 240min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>ADG3CB – 300min Área eflorescida: 0,14%</p> 	<p>ADG3CB – 990min Área eflorescida: 27,79%</p> 
<p>ADG3CB – 1125min Área eflorescida: 39,86%</p> 	<p>ADG3CB – 1440min Área eflorescida: 88,78%</p> 

ADG3CB – 1700min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 2550min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 3020min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 3825min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 4620min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 5910min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 7200min
Área eflorescida: 100%



ADG3CB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.7 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG1SB

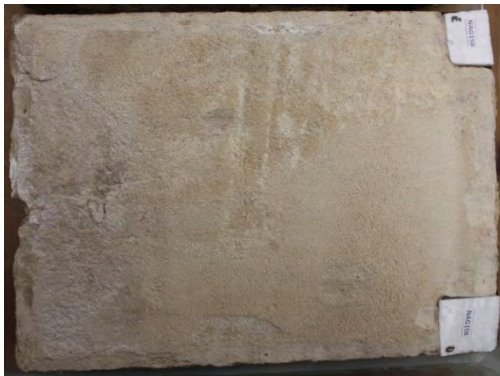
NAG1SB – 0min
Área eflorescida: 0%



NAG1SB – 75min
Área eflorescida: 0%



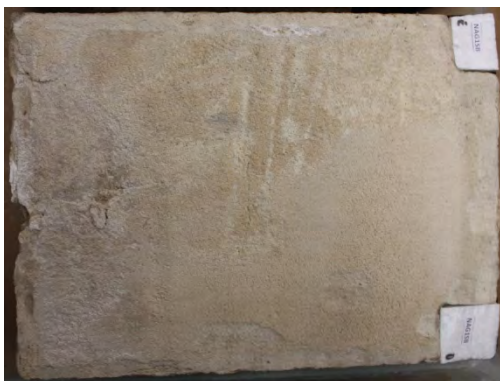
NAG1SB – 150min
Área eflorescida: 0%



NAG1SB – 240min
Área eflorescida: 0%



NAG1SB – 300min
Área eflorescida: 0,12%



NAG1SB – 990min
Área eflorescida: 97,91%



NAG1SB – 1125min
Área eflorescida: 100%



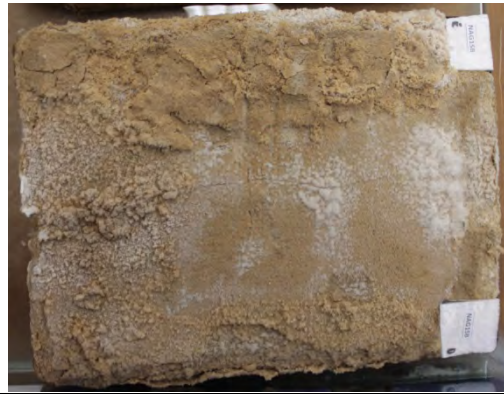
NAG1SB – 1440min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 1700min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 2550min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 3020min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 3825min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 4620min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 5910min
Área eflorescida: 100%





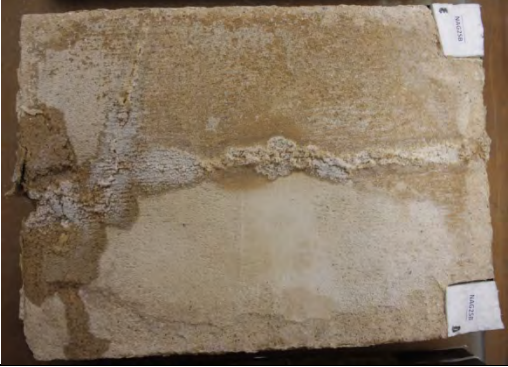




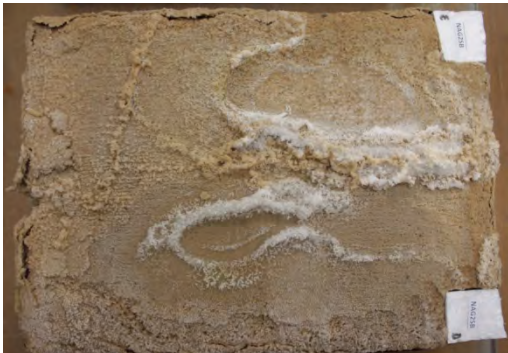
NAG1SB – 7200min
Área eflorescida: 100%



NAG1SB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.8 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG2SB

<p>NAG2SB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG2SB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG2SB – 150min Área eflorescida: 21,91%</p> 	<p>NAG2SB – 240min Área eflorescida: 62,43%</p> 
<p>NAG2SB – 300min Área eflorescida: 70,70%</p> 	<p>NAG2SB – 990min Área eflorescida: 93,12%</p> 
<p>NAG2SB – 1125min Área eflorescida: 97,95%</p> 	<p>NAG2SB – 1440min Área eflorescida: 100%</p> 

NAG2SB – 1700min
Área eflorescida: 100%



NAG2SB – 2550min
Área eflorescida: 100%



NAG2SB – 3020min
Área eflorescida: 100%



NAG2SB – 3825min
Área eflorescida: 100%



NAG2SB – 4620min
Área eflorescida: 100%



NAG2SB – 5910min
Área eflorescida: 100%





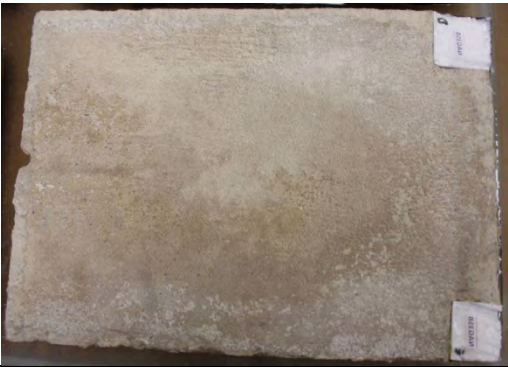
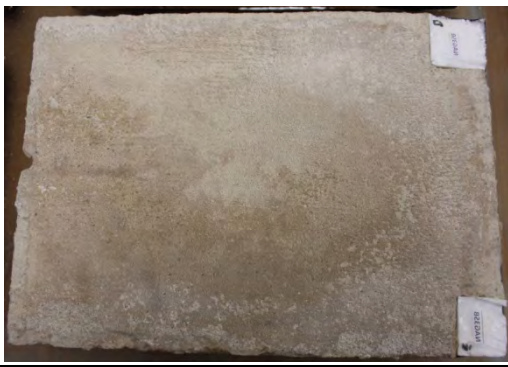
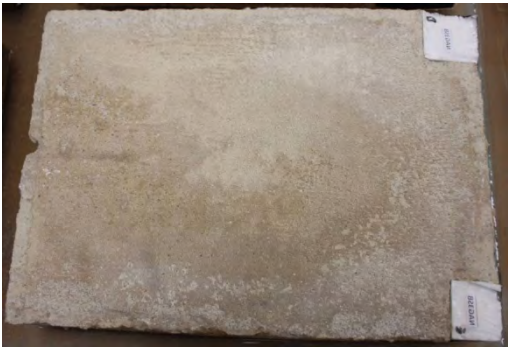



NAG2SB – 7200min
Área eflorescida: 100%



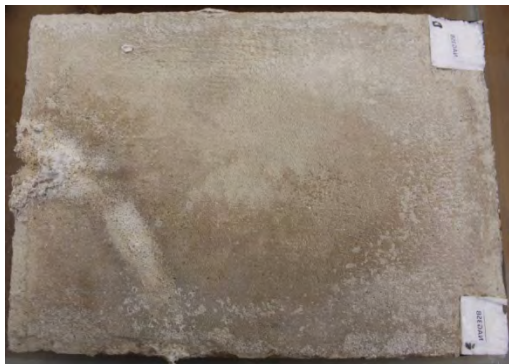
NAG2SB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.9 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG3SB

<p>NAG3SB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG3SB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG3SB – 150min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG3SB – 240min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG3SB – 300min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG3SB – 990min Área eflorescida: 4,97%</p> 
<p>NAG3SB – 1125min Área eflorescida: 6,12%</p> 	<p>NAG3SB – 1440min Área eflorescida: 6,52%</p> 

NAG3SB – 1700min
Área eflorescida: 9,87%



NAG3SB – 2550min
Área eflorescida: 32,39%



NAG3SB – 3020min
Área eflorescida: 70,16%



NAG3SB – 3825min
Área eflorescida: 94,40%



NAG3SB – 4620min
Área eflorescida: 99,29%



NAG3SB – 5910min
Área eflorescida: 100%



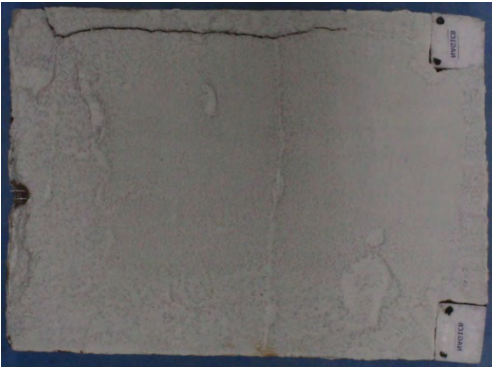
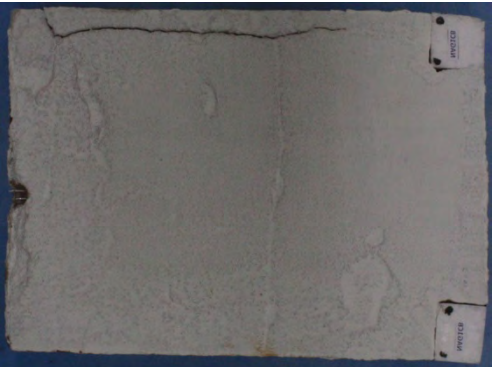
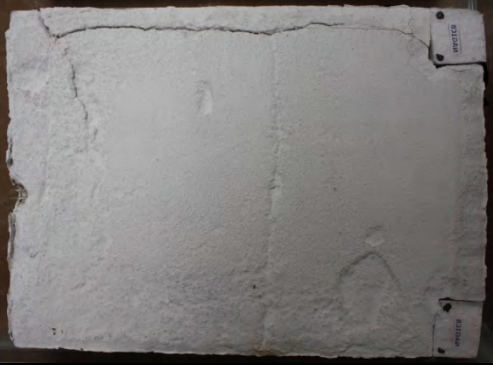





NAG3SB – 7200min
Área eflorescida: 100%



NAG3SB – 8640min
Área eflorescida: 100%



Tabela H.10 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG1CB

<p>NAG1CB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG1CB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG1CB – 150min Área eflorescida: 0,96%</p> 	<p>NAG1CB – 240min Área eflorescida: 1,53%</p> 
<p>NAG1CB – 300min Área eflorescida: 8,83%</p> 	<p>NAG1CB – 990min Área eflorescida: 34,29%</p> 
<p>NAG1CB – 1125min Área eflorescida: 48,88%</p> 	<p>NAG1CB – 1440min Área eflorescida: 50,57%</p> 

NAG1CB – 1700min
Área eflorescida: 55,27%



NAG1CB – 2550min
Área eflorescida: 70,51%



NAG1CB – 3020min
Área eflorescida: 88,19%



NAG1CB – 3825min
Área eflorescida: 92,80%



NAG1CB – 4620min
Área eflorescida: 93,10%



NAG1CB – 5910min
Área eflorescida: 93,10%



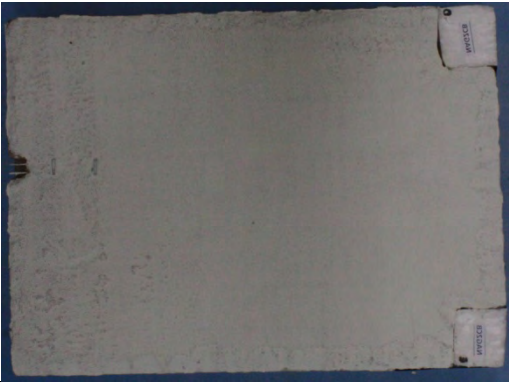
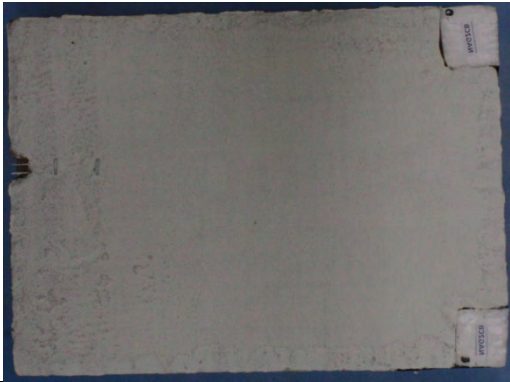
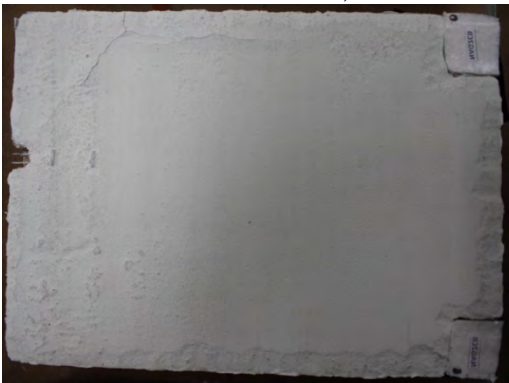

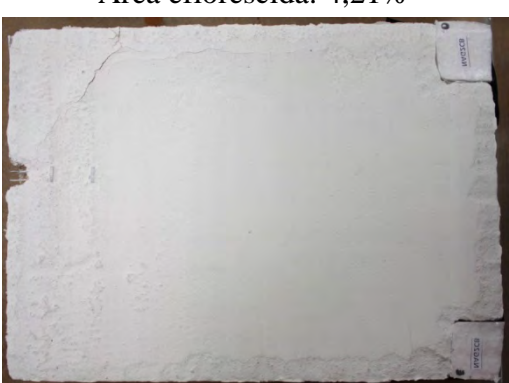



NAG1CB – 7200min
Área eflorescida: 93,53%



NAG1CB – 8640min
Área eflorescida: 93,53%



Tabela H.11 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG2CB

<p>NAG2CB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG2CB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG2CB – 150min Área eflorescida: 0,72%</p> 	<p>NAG2CB – 240min Área eflorescida: 1,39%</p> 
<p>NAG2CB – 300min Área eflorescida: 4,21%</p> 	<p>NAG2CB – 990min Área eflorescida: 13,20%</p> 
<p>NAG2CB – 1125min Área eflorescida: 13,67%</p> 	<p>NAG2CB – 1440min Área eflorescida: 18,56%</p> 

NAG2CB – 1700min
Área eflorescida: 20,35%



NAG2CB – 2550min
Área eflorescida: 28,96%



NAG2CB – 3020min
Área eflorescida: 31,92%



NAG2CB – 3825min
Área eflorescida: 39,10%



NAG2CB – 4620min
Área eflorescida: 39,10%



NAG2CB – 5910min
Área eflorescida: 40,05%



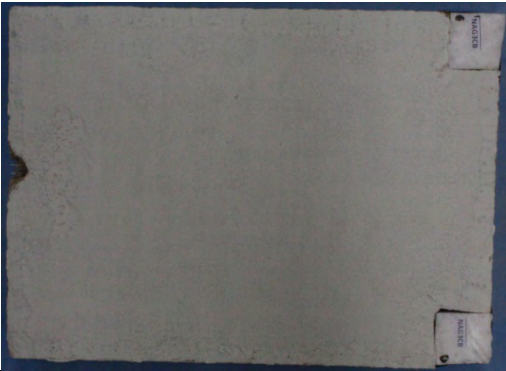
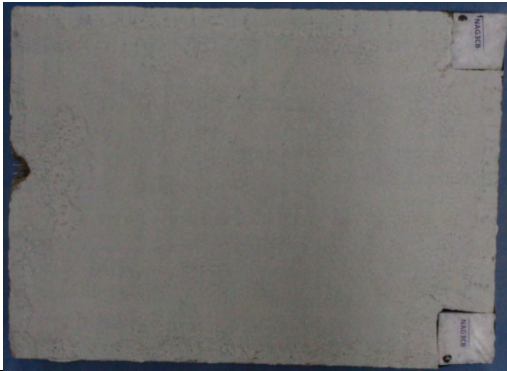






NAG2CB – 7200min
Área eflorescida: 40,05%



NAG2CB – 8640min
Área eflorescida: 42,03%



Tabela H.12 – Ciclo de exposição final - área eflorescida ao longo do tempo NAG3CB

<p>NAG3CB – 0min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG3CB – 75min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG3CB – 150min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG3CB – 240min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG3CB – 300min Área eflorescida: 0%</p> 	<p>NAG3CB – 990min Área eflorescida: 0%</p> 
<p>NAG3CB – 1125min Área eflorescida: 0,09%</p> 	<p>NAG3CB – 1440min Área eflorescida: 4,86%</p> 

NAG3CB – 1700min
Área eflorescida: 9,09%



NAG3CB – 2550min
Área eflorescida: 37,22%



NAG3CB – 3020min
Área eflorescida: 43,48%



NAG3CB – 3825min
Área eflorescida: 43,48%



NAG3CB – 4620min
Área eflorescida: 43,48%



NAG3CB – 5910min
Área eflorescida: 46,75%



NAG3CB – 7200min
Área eflorescida: 52,72%



NAG3CB – 8640min
Área eflorescida: 54,30%



APÊNDICE I

Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo

Tabela I.1 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 5 a 360 min

CP	Eletrodo	Tempo (minutos)								
		5	30	45	75	150	240	300	330	360
		Tempo (min ^{1/2})								
		2,2	5,5	6,7	8,7	12,2	15,5	17,3	18,2	19,0
ADG1SB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	1,48	25,7	21,5
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	1,24	13,1	23,3
ADG2SB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0,816	0,9	3
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0,959	0,93	0,9
ADG3SB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	1,555
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0	0	1,603
ADG1CB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0,026	15	20,8
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0,034	8,81	17,1
ADG2CB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0,004	13,6	15	21
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0,005	0,02	5,35	16
ADG3CB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	2,06
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NAG1SB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	2,2	5,1	15,3
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	1,33	1,9	4,5
NAG2SB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0,611	23,3	34,4
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0,935	10,1	18,3
NAG3SB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	2,46
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0	0	2,26
NAG1CB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0,004	12,05	17,9
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0,002	5,4	8,1
NAG2CB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0,003	7,27	15,7	22,9
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0,005	0,006	0,4	4,2
NAG3CB	Inferior (15mm) ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004
	Superior (24mm) ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006

¹ Eletrodo localizado na argamassa, a 15mm de altura do substrato cerâmico.

² Eletrodo localizado na argamassa, a 24mm de altura do substrato cerâmico.

Tabela I.2 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 390 a 1440 min

CP	Eletrodo	Tempo (minutos)				
		390	420	990	1125	1440
		Tempo (min ^{1/2})				
		19,7	20,5	31,5	33,5	37,9
ADG1SB	Inferior (15mm) ¹	21,6	24,2	40	41	41,2
	Superior (24mm) ²	25,4	24,1	34	34	34,3
ADG2SB	Inferior (15mm) ¹	4,6	6	12	12,3	12,7
	Superior (24mm) ²	0,9	0,9	10,1	10,3	13,7
ADG3SB	Inferior (15mm) ¹	11,8	13,5	18,8	19	17,6
	Superior (24mm) ²	5,3	7,2	14,9	15,2	16,4
ADG1CB	Inferior (15mm) ¹	20,6	20,9	26,6	27,2	28,3
	Superior (24mm) ²	17,3	18,2	25,2	25,8	26,4
ADG2CB	Inferior (15mm) ¹	21,4	22,8	26,9	27,5	27,5
	Superior (24mm) ²	18,8	20,4	29,2	30,1	28,9
ADG3CB	Inferior (15mm) ¹	12,8	18	21,8	22	23,7
	Superior (24mm) ²	0,002	3,3	12,4	22,9	25,5
NAG1SB	Inferior (15mm) ¹	25,4	26,4	43,3	44	46,3
	Superior (24mm) ²	12,1	13,8	36,2	34,4	34,9
NAG2SB	Inferior (15mm) ¹	42,8	42,6	43,6	42,2	43,9
	Superior (24mm) ²	40	40	43,1	38	39,2
NAG3SB	Inferior (15mm) ¹	8,71	14,6	20,8	21,5	22,1
	Superior (24mm) ²	5,55	11,6	16,7	16,7	16,8
NAG1CB	Inferior (15mm) ¹	27,6	33,5	47,3	40,1	39,8
	Superior (24mm) ²	11,2	16,7	29,1	29,5	31,7
NAG2CB	Inferior (15mm) ¹	24,6	29	35,4	35,8	35,3
	Superior (24mm) ²	8	9	28,3	27	26,6
NAG3CB	Inferior (15mm) ¹	13,4	20,3	35	35,6	34
	Superior (24mm) ²	4,3	7,8	28	26,6	25,9

¹ Eletrodo localizado na argamassa, a 15mm de altura do substrato cerâmico.

² Eletrodo localizado na argamassa, a 24mm de altura do substrato cerâmico.

Tabela I.3 – Monitoramento da corrente dos corpos-de-prova ao longo do tempo – 1700 a 8640 min

CP	Eletrodo	Tempo (minutos)						
		1700	2550	3020	3825	4620	5910	8640
		Tempo (min ^{1/2})						
		41,2	50,5	55,0	61,8	68,0	76,9	93,0
ADG1SB	Inferior (15mm) ¹	41,7	43,1	43,5	44	35	36	42
	Superior (24mm) ²	34,2	34,7	35	31	28,5	26,8	31,5
ADG2SB	Inferior (15mm) ¹	13,7	15,3	15,3	15,9	14,8	13,8	16,1
	Superior (24mm) ²	14,7	19,3	19,1	20,6	17,1	15,8	21,8
ADG3SB	Inferior (15mm) ¹	16	16,7	17,4	18,8	15,3	17	20,2
	Superior (24mm) ²	15,4	16,5	17,1	18,5	17,3	16,8	20,9
ADG1CB	Inferior (15mm) ¹	29	30,8	31,2	34	27,1	28	32,2
	Superior (24mm) ²	27,7	28,2	28,8	28,5	26,7	27	30,5
ADG2CB	Inferior (15mm) ¹	26,3	29,7	28,2	29,4	26,7	29,2	34,8
	Superior (24mm) ²	26	28,4	28,4	27,2	27,7	28	31,7
ADG3CB	Inferior (15mm) ¹	22,7	23,5	23,6	29,2	22,9	24	30,9
	Superior (24mm) ²	24,8	25,6	25,4	31,5	23,3	23,2	33
NAG1SB	Inferior (15mm) ¹	48,1	51,8	55	55,7	54	50,6	70
	Superior (24mm) ²³	***	***	***	***	***	***	***
NAG2SB	Inferior (15mm) ¹	42,1	50,5	47,2	49,2	47,6	52,3	69
	Superior (24mm) ²	38,5	43,3	46,2	48,9	47,4	48,6	59,4
NAG3SB	Inferior (15mm) ¹	22,9	21,3	20,3	20,6	20,2	20	21,7
	Superior (24mm) ²	17,5	17,7	18	18,6	17,7	17,5	20,2
NAG1CB	Inferior (15mm) ¹	37,2	40,6	47,5	52,4	47,3	41,5	58
	Superior (24mm) ²	27,8	30,6	34,5	36	36	33,5	47
NAG2CB	Inferior (15mm) ¹	34,6	36,6	39,2	39,3	39,2	38,7	48
	Superior (24mm) ²	28	29,6	34	35,5	36,2	34,1	44,3
NAG3CB	Inferior (15mm) ¹	30,5	32,4	36	36,5	37,6	37	45,2
	Superior (24mm) ²	23,5	25,4	28,5	28,8	26,4	25,4	46

¹ Eletrodo localizado na argamassa, a 15mm de altura do substrato cerâmico.

² Eletrodo localizado na argamassa, a 24mm de altura do substrato cerâmico.

³ O eletrodo superior do corpo-de-prova NAG1SB rompeu aos 1700 minutos.

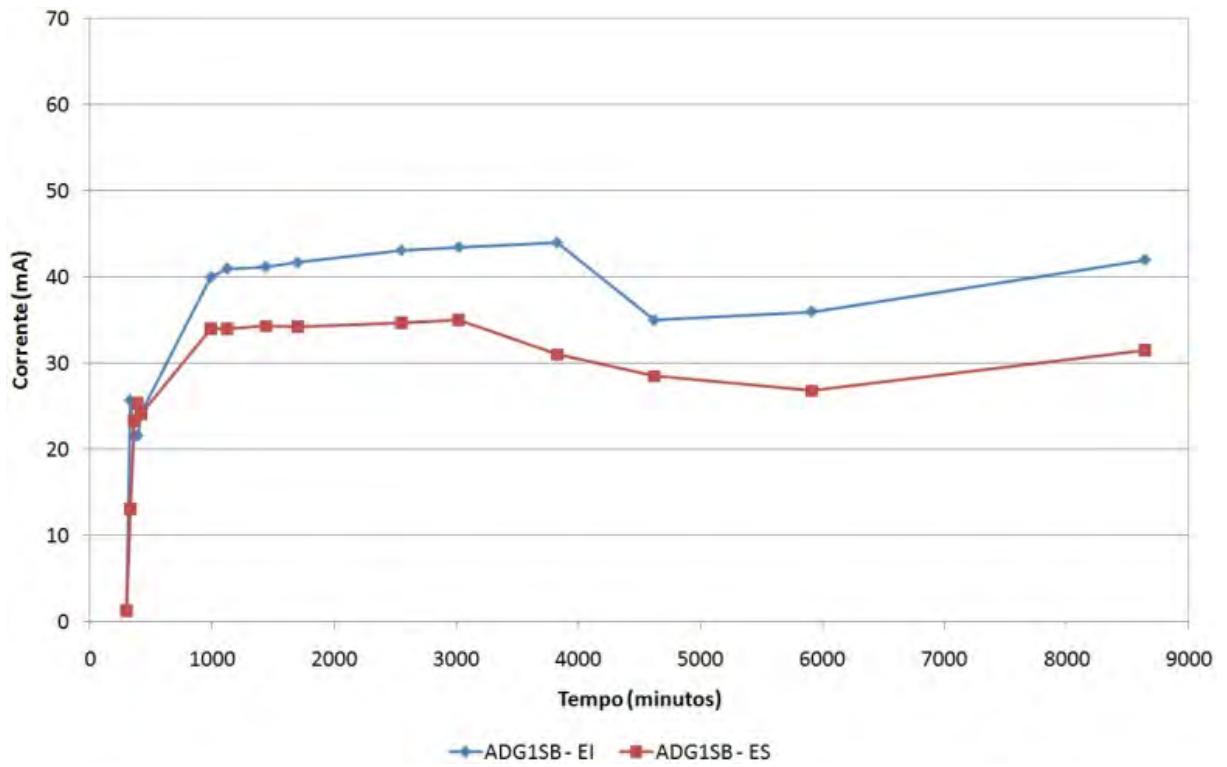


Figura I.1 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG1SB

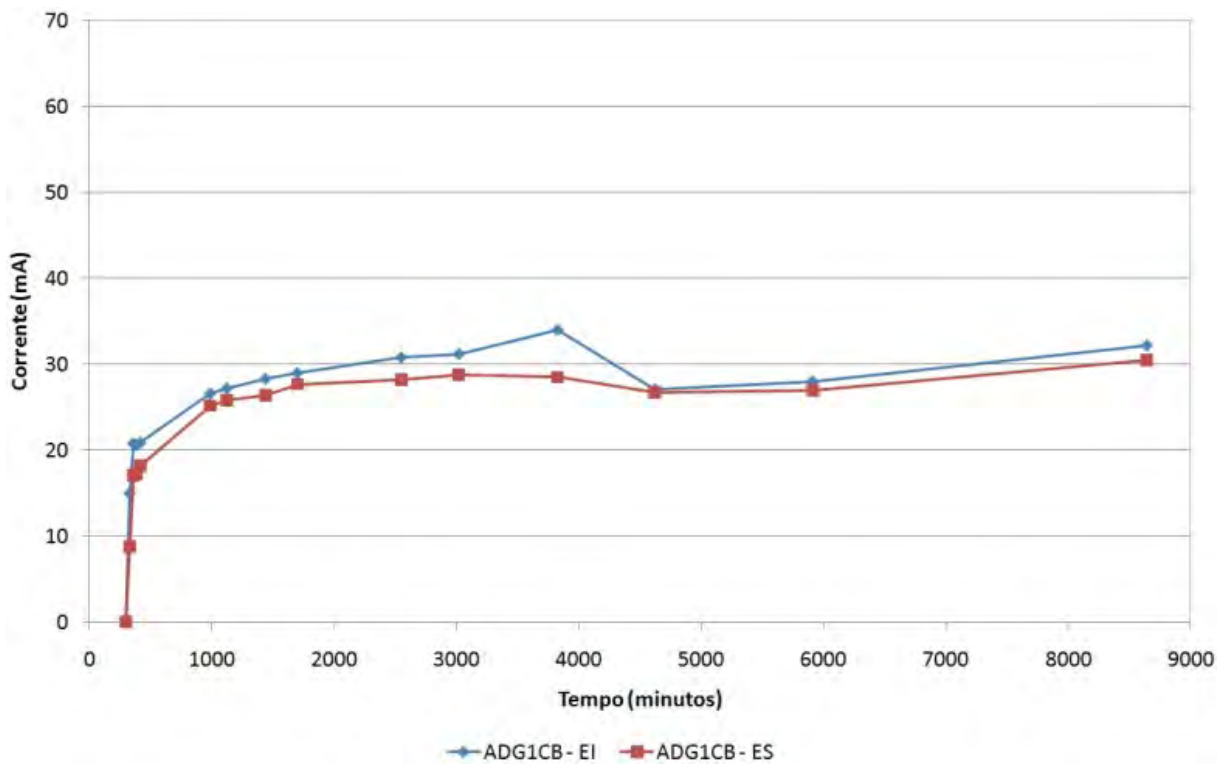


Figura I.2 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG1CB

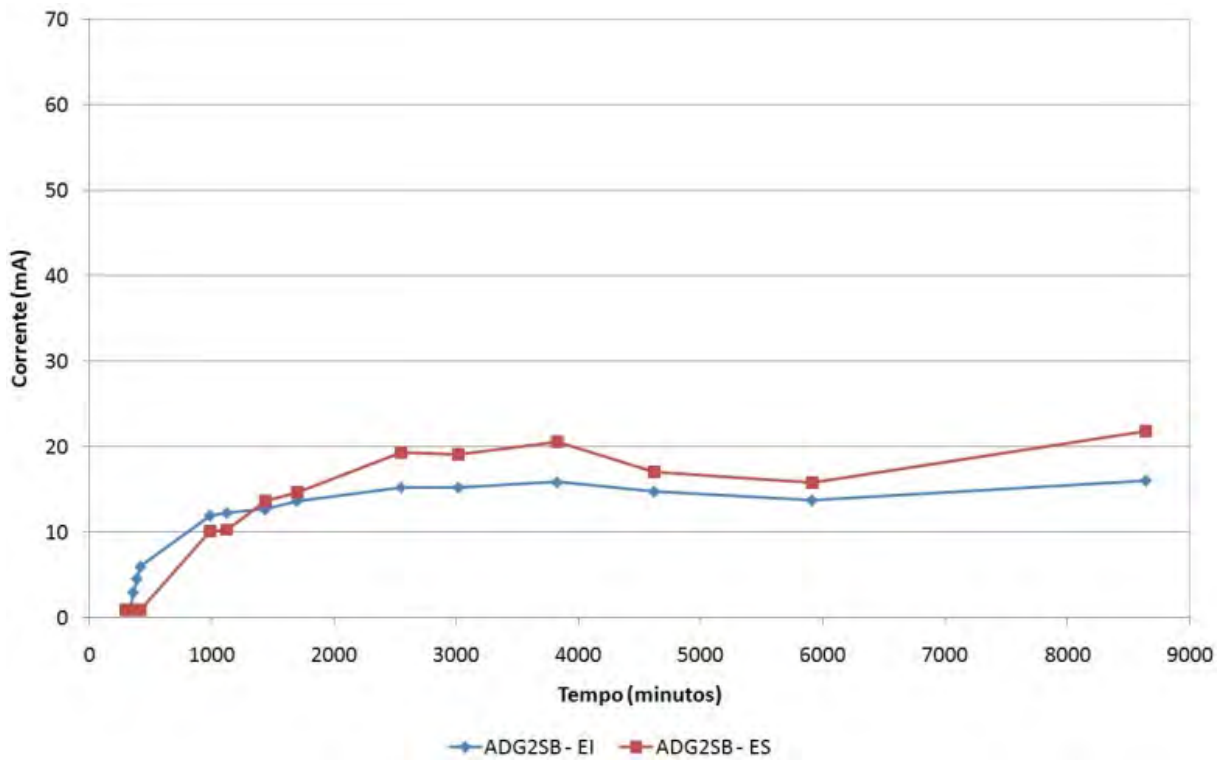


Figura I.3 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG2SB

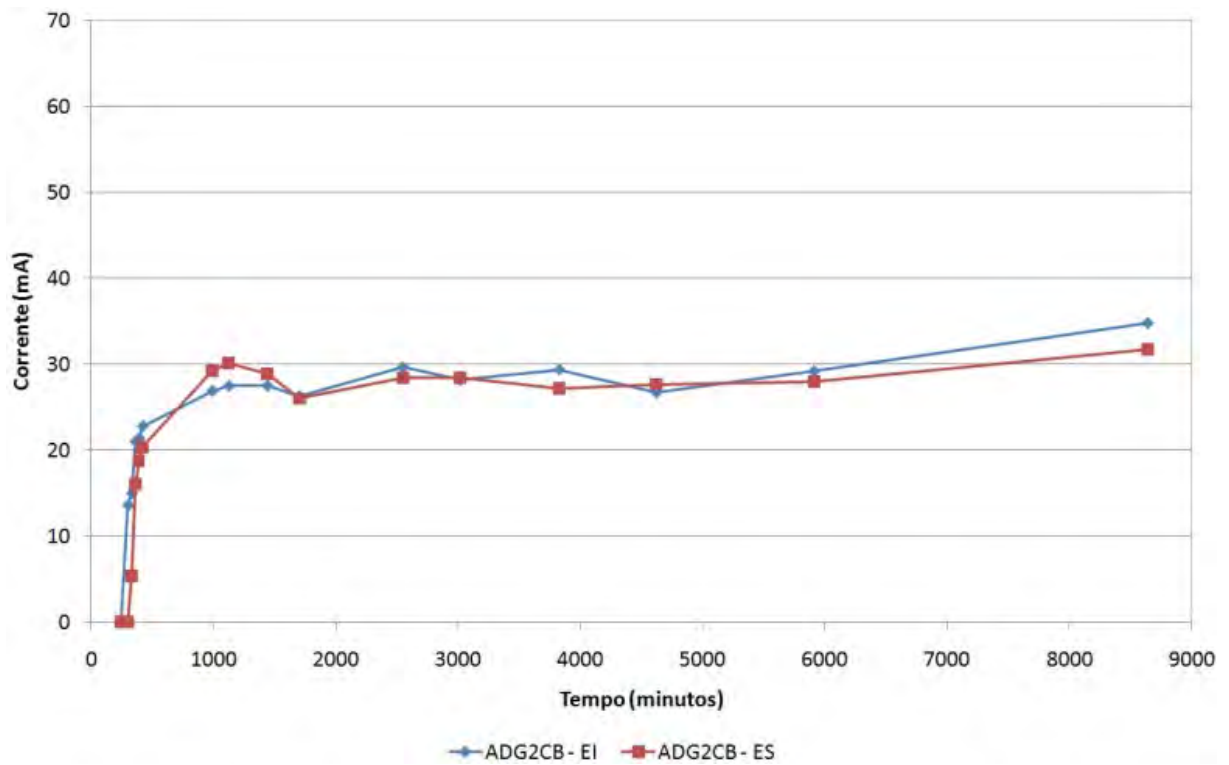


Figura I.4 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG2CB

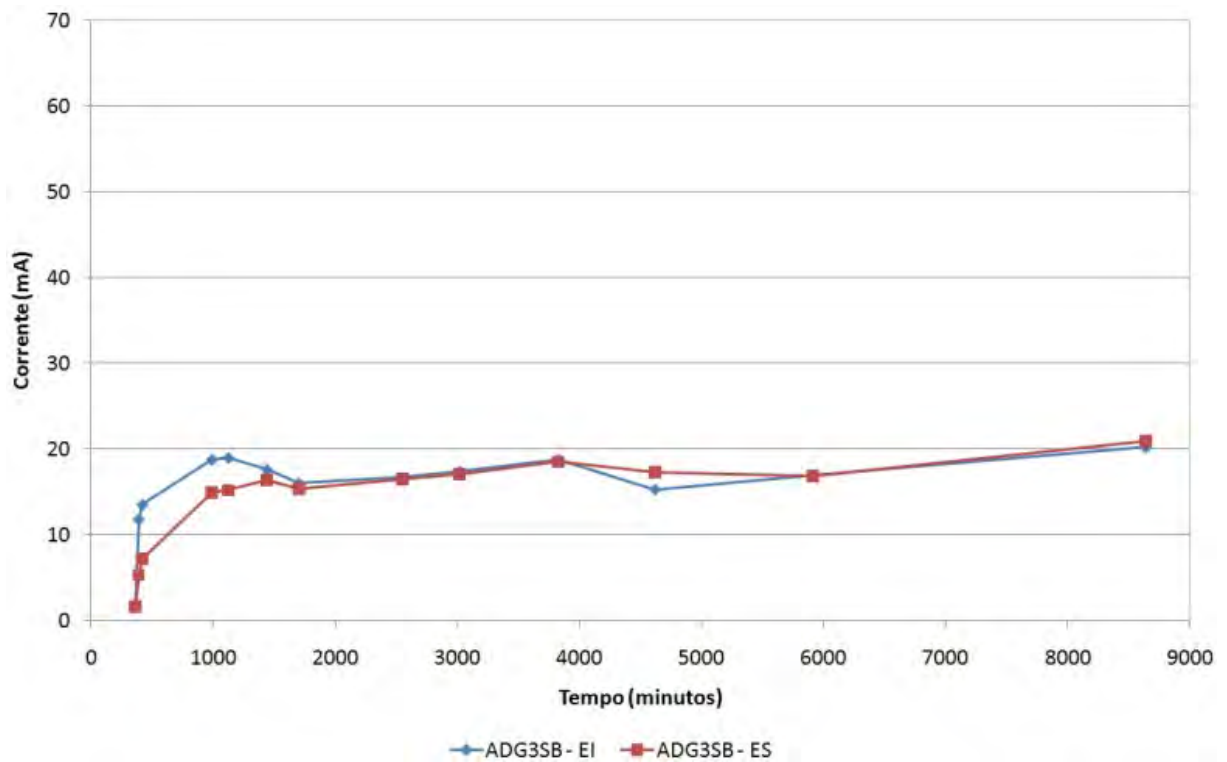


Figura I.5 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG3SB

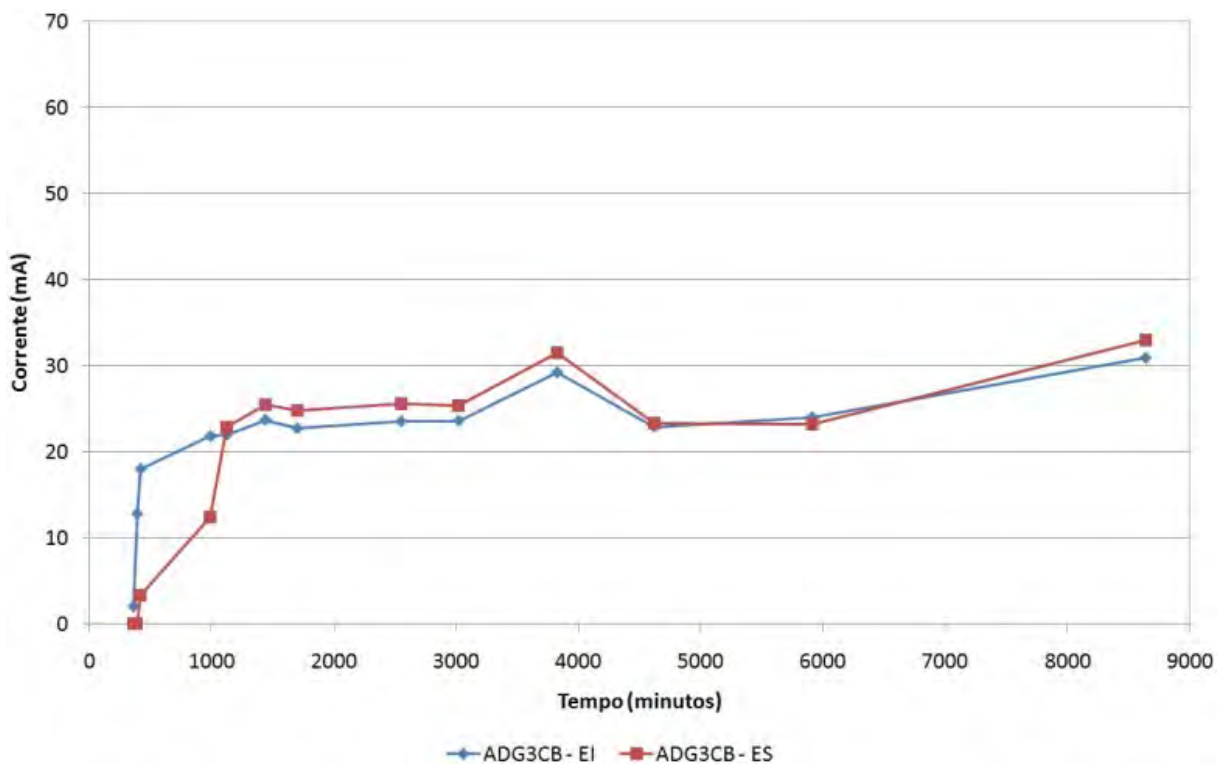


Figura I.6 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – ADG3CB

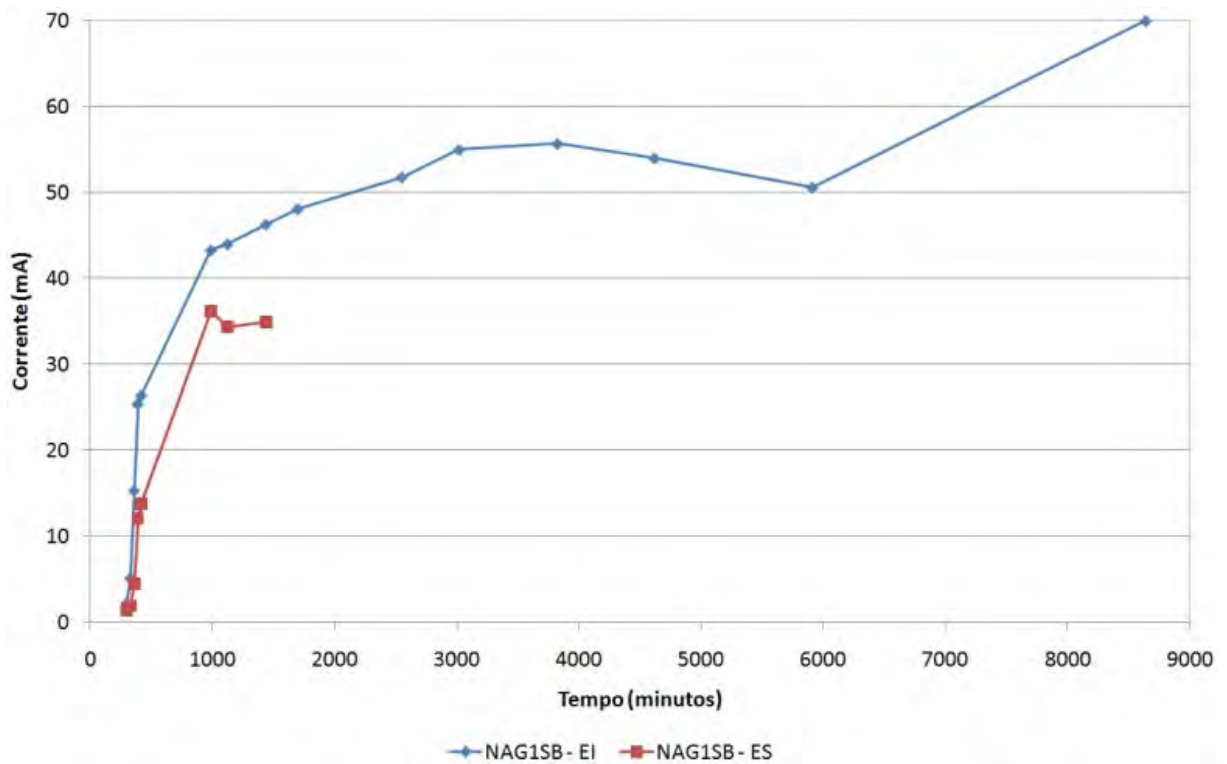


Figura I.7 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG1SB

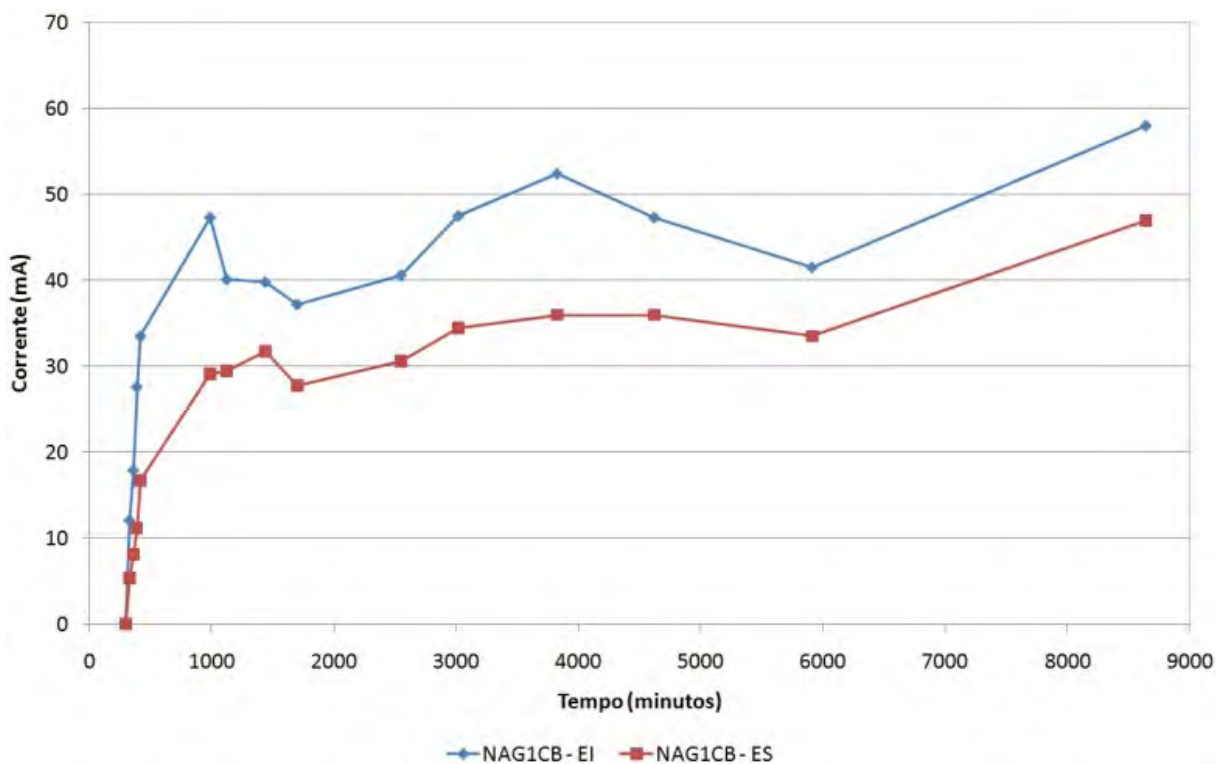


Figura I.8 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG1CB

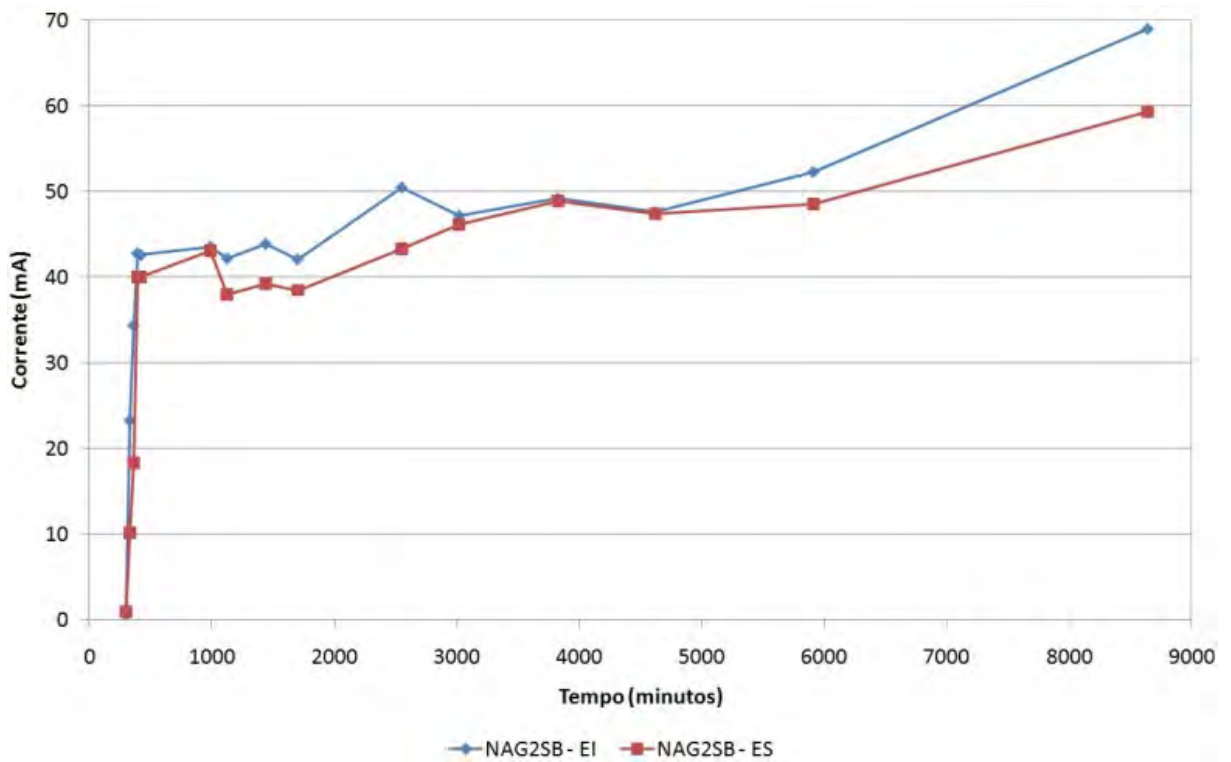


Figura I.9 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG2SB

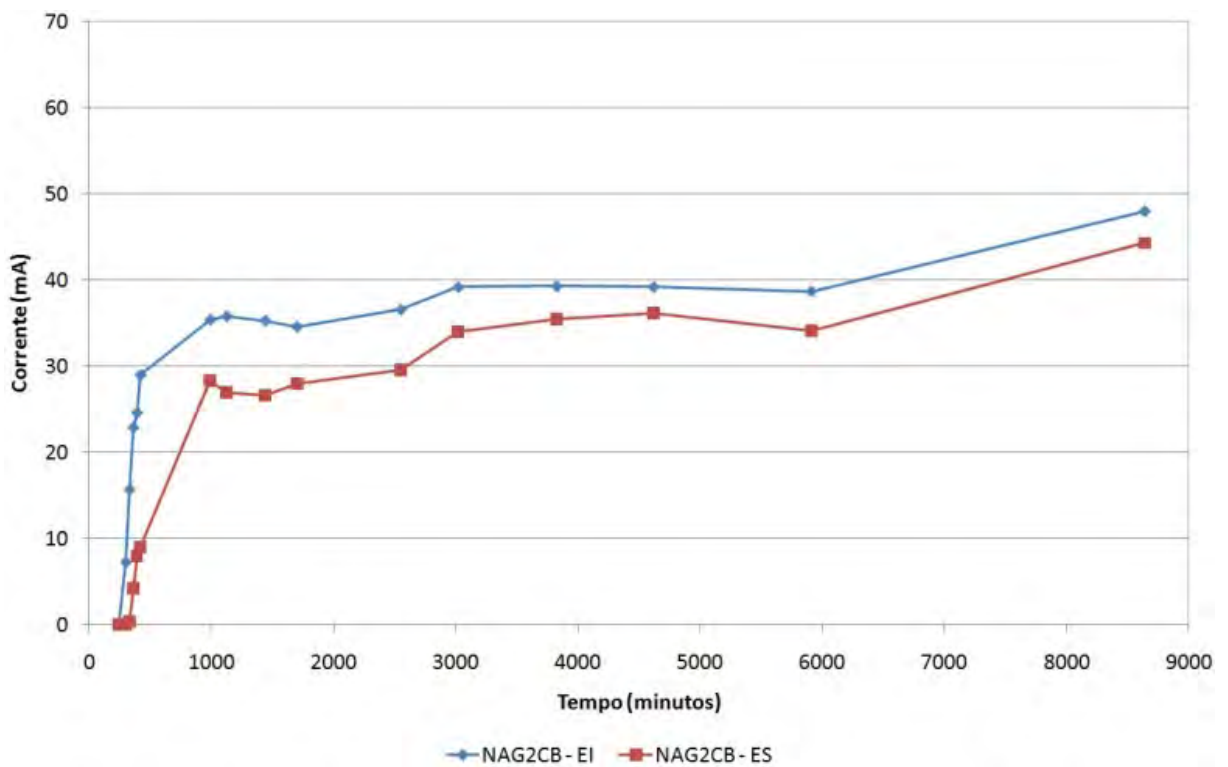


Figura I.10 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG2CB

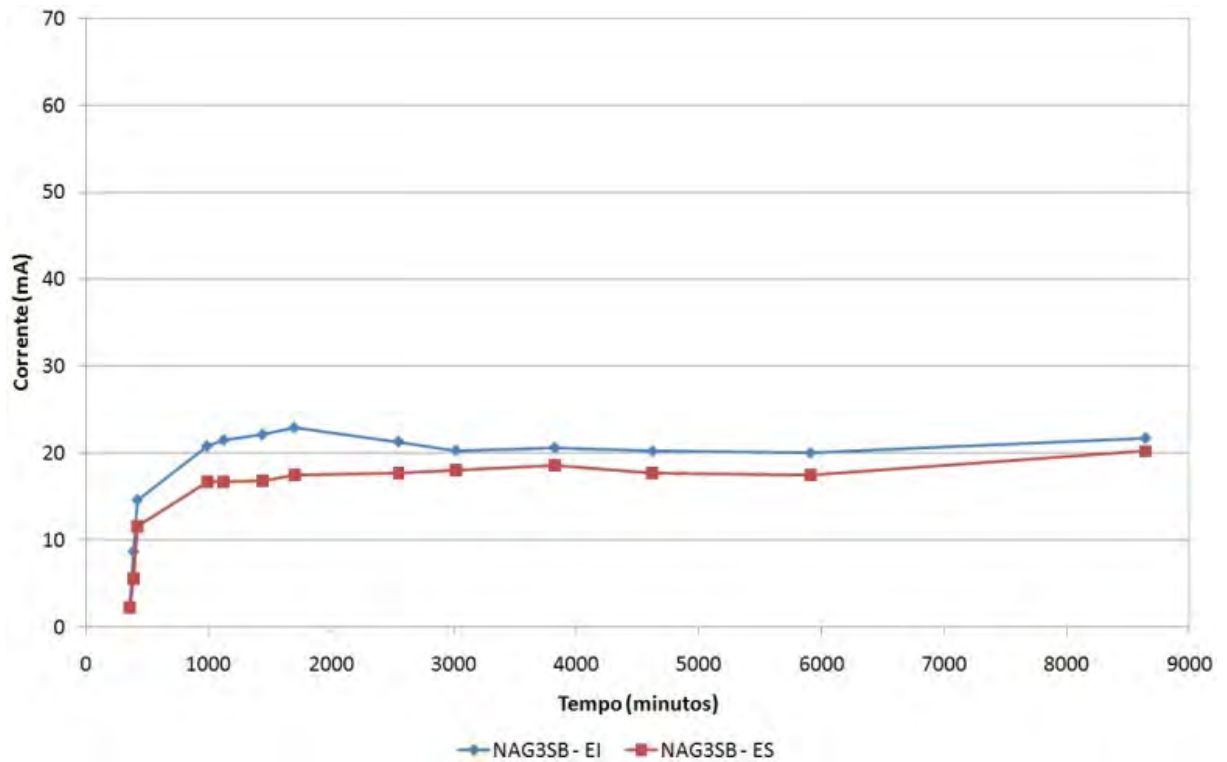


Figura I.11 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG3SB

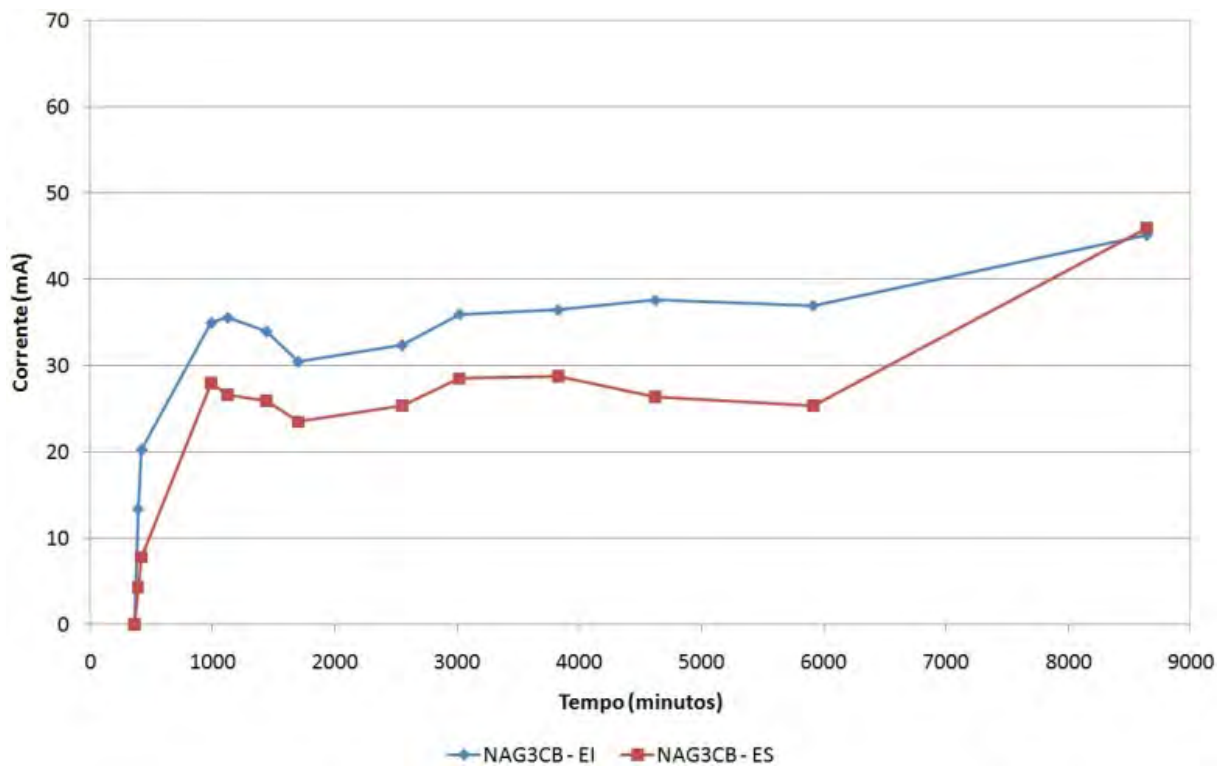


Figura I.12 – Variação da corrente elétrica durante o ciclo de exposição final – NAG3CB

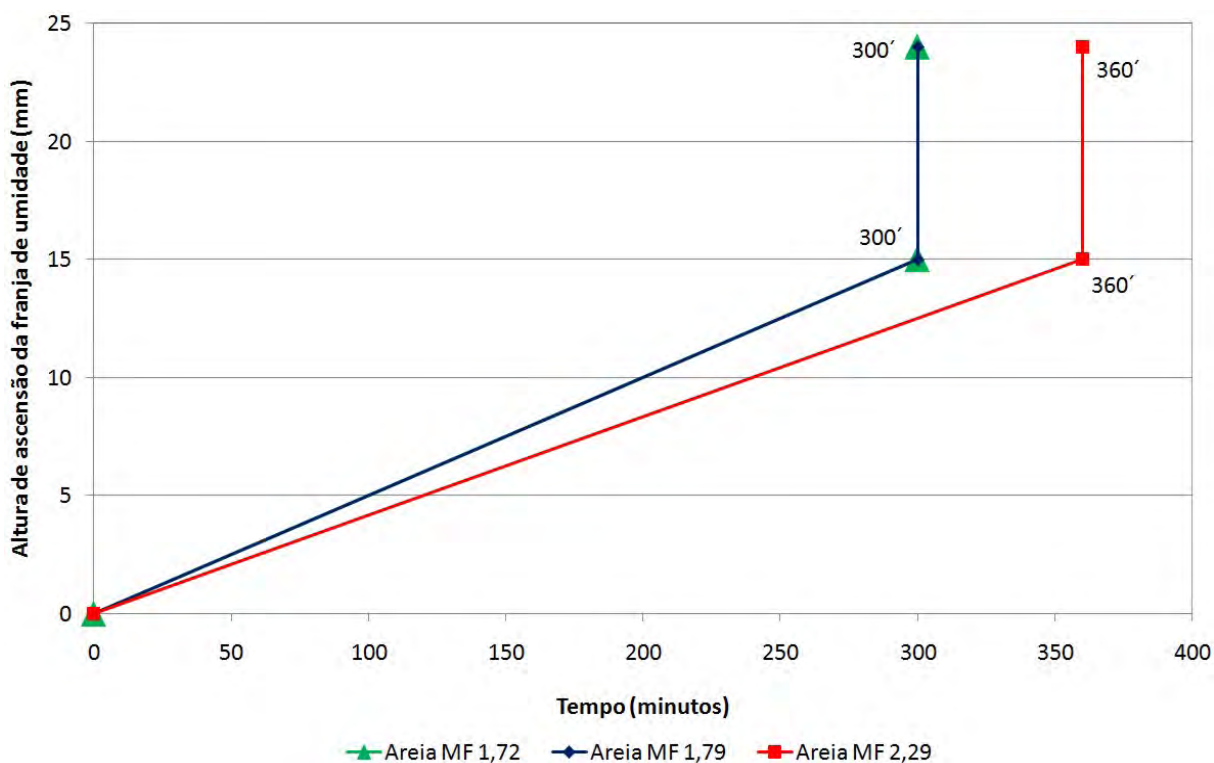


Figura I.13 – Monitoramento das franjas de umidade durante o ciclo de exposição final, por argamassa

Durante o ciclo de exposição final foi observada uma elevada agressividade do sulfato de sódio nos eletrodos de aço inoxidável dos sensores, com a cristalização desagregando a argamassa na região próxima e desencadeando o processo de corrosão dos mesmos, acarretando inclusive na interrupção parcial das leituras de um dos corpos-de-prova (eletrodo superior do NAG1SB). A Figura I.14 ilustra este contexto.



Figura I.14 – Corrosão dos sensores de aço inox no ciclo de exposição final

APÊNDICE J

Monitoramento do teor de sulfato

Tabela J.1 – Teor de sulfatos - substrato

CP	Antes da moldagem	Após a moldagem	Após a exposição inicial	Após a exposição final
ADG1SB	0,005%	0,011 %	6,960 %	1,573 %
ADG2SB	0,032 %	0,027 %	5,990 %	2,130 %
ADG3SB	0,022 %	0,021 %	4,749 %	1,037 %
ADG1CB	0,002 %	0,002 %	5,649 %	1,767 %
ADG2CB	0,017 %	0,005 %	4,549 %	1,045 %
ADG3CB	0,022 %	0,026 %	6,351 %	2,694 %
NAG1SB	0,003 %	0,011 %	6,700 %	2,799 %
NAG2SB	0,033 %	0,002 %	4,197 %	2,708 %
NAG3SB	0,003 %	0,029 %	4,731 %	2,609 %
NAG1CB	0,002 %	0,014 %	6,943 %	3,491 %
NAG2CB	0,004 %	0,007 %	4,949 %	3,197 %
NAG3CB	0,014 %	0,001 %	5,136 %	3,584 %

Tabela J.2 – Teor de sulfatos – argamassa – terço próximo ao substrato (T1)

CP	Antes da moldagem	Após a moldagem	Após a exposição inicial	Após a exposição final
ADG1SB	0,188 %	0,219 %	2,856 %	2,076 %
ADG2SB	0,156 %	0,183 %	2,094 %	1,779 %
ADG3SB	0,148 %	0,177 %	2,485 %	2,002 %
ADG1CB	0,188 %	0,077 %	2,932 %	1,495 %
ADG2CB	0,156 %	0,126 %	2,301 %	2,280 %
ADG3CB	0,148 %	0,095 %	2,917 %	2,108 %
NAG1SB	0,188 %	0,021 %	1,850 %	4,193 %
NAG2SB	0,156 %	0,188 %	2,181 %	3,459 %
NAG3SB	0,148 %	0,223 %	2,032 %	2,823 %
NAG1CB	0,188 %	0,068 %	2,235 %	4,129 %
NAG2CB	0,156 %	0,162 %	3,116 %	3,323 %
NAG3CB	0,148 %	0,140 %	1,840 %	4,293 %

Tabela J.3 – Teor de sulfatos – argamassa – terço médio (T2)

CP	Antes da moldagem	Após a moldagem	Após a exposição inicial	Após a exposição final
ADG1SB	0,188 %	0,260 %	1,722 %	1,521 %
ADG2SB	0,156 %	0,112 %	2,507 %	1,101 %
ADG3SB	0,148 %	0,150 %	2,279 %	0,945 %
ADG1CB	0,188 %	0,140 %	1,523 %	1,555 %
ADG2CB	0,156 %	0,056 %	3,048 %	1,930 %
ADG3CB	0,148 %	0,075 %	1,438 %	0,816 %
NAG1SB	0,188 %	0,058 %	1,368 %	2,169 %
NAG2SB	0,156 %	0,292 %	2,073 %	2,727 %
NAG3SB	0,148 %	0,202 %	2,475 %	3,046 %
NAG1CB	0,188 %	0,078 %	2,198 %	2,881 %
NAG2CB	0,156 %	0,099 %	2,090 %	2,580 %
NAG3CB	0,148 %	0,106 %	1,359 %	2,747 %

Tabela J.4 – Teor de sulfatos – argamassa – terço próximo à superfície (T3)

CP	Antes da moldagem	Após a moldagem	Após a exposição inicial	Após a exposição final
ADG1SB	0,188 %	0,181 %	3,897 %	1,790 %
ADG2SB	0,156 %	0,114 %	3,429 %	1,210 %
ADG3SB	0,148 %	0,079 %	3,508 %	2,149 %
ADG1CB	0,188 %	0,095 %	2,440 %	2,406 %
ADG2CB	0,156 %	0,079 %	3,948 %	2,372 %
ADG3CB	0,148 %	0,092 %	2,707 %	2,303 %
NAG1SB	0,188 %	0,038 %	4,218 %	4,133 %
NAG2SB	0,156 %	0,157 %	3,410 %	4,496 %
NAG3SB	0,148 %	0,174 %	2,741 %	3,059 %
NAG1CB	0,188 %	0,090 %	3,044 %	4,369 %
NAG2CB	0,156 %	0,102 %	2,977 %	3,864 %
NAG3CB	0,148 %	0,136 %	2,251 %	3,747 %

Tabela J.5 – Teor de sulfatos – argamassa – média T1, T2 e T3

CP	Antes da moldagem	Após a moldagem	Após a exposição inicial	Após a exposição final
ADG1SB	0,188 %	0,220 %	2,825 %	1,795 %
ADG2SB	0,156 %	0,136 %	2,677 %	1,364 %
ADG3SB	0,148 %	0,135 %	2,757 %	1,699 %
ADG1CB	0,188 %	0,104 %	2,298 %	1,819 %
ADG2CB	0,156 %	0,087 %	3,099 %	2,194 %
ADG3CB	0,148 %	0,087 %	2,354 %	1,742 %
NAG1SB	0,188 %	0,039 %	2,479 %	3,498 %
NAG2SB	0,156 %	0,212 %	2,555 %	3,561 %
NAG3SB	0,148 %	0,199 %	2,416 %	2,976 %
NAG1CB	0,188 %	0,079 %	2,492 %	3,793 %
NAG2CB	0,156 %	0,121 %	2,728 %	3,256 %
NAG3CB	0,148 %	0,128 %	1,817 %	3,596 %

APÊNDICE K

Boletim Técnico Tintas Renner - Aquabloc®

Aquabloc

Composição Básica

Resina acrílica, pigmentos inorgânicos, cargas minerais, aguarrás e aditivos.

Descrição

Revestimento impermeabilizante com alto poder de bloqueio de umidade e eflorescência para concreto e reboco. Possui excelentes propriedades anti-fungos.

Recomendado para uso externo ou interno sem a necessidade de aplicação de acabamento.

Não necessita aguardar a cura completa do concreto para pintura.

Possui alto poder de bloqueio de umidade de dentro para fora da parede.

Cores

Branca.

Textura

Lisa e fosca.

Rendimento Referencial

20-25m²/galão*/demão

*galão de 3,6L.

Variável de acordo com a diluição, rugosidade e absorção do substrato, preparação da superfície, método e técnicas de aplicação.

Observações:

1) Para obter um rendimento mais preciso, para fins de orçamento e de acordo com o sistema de pintura a ser utilizado, solicitamos manter contato com o departamento técnico da empresa.

2) Considerar nas aplicações à pistola um fator adicional de perda.

Prazo de Armazenagem

36 meses a partir da data de fabricação, em local coberto, à sombra, seco e ventilado, desde que a embalagem não tenha sido aberta, danificada por ação química, física ou outros agentes externos.

Métodos de Aplicação e Diluição

Pincel / Rolo de lã: Como Acabamento = diluir com 10% de Aguarrás 2.2.002
Como Selador = diluir com 30% de Aguarrás 2.2.002

Pistola Diluir com 20% de Aguarrás 2.2.002.

Observações:

Recomenda-se não aplicar a primeira demão à pistola, preferencialmente utilize pincel diluindo o produto como selador, forçando para que penetre perfeitamente nos poros e reentrâncias do substrato.

Secagem

Completa: 4 horas

Intervalo entre demãos: 4 horas

A 25°C e 60% de umidade relativa do ar.

Preparação da Superfície

Todas as superfícies a serem pintadas deverão estar corretamente preparadas, observando as condições abaixo:

Perfeitamente limpa, isenta de partículas soltas, óleos, graxas, ceras, mofo ou qualquer outra sujidade;

O pó originado pelo lixamento de massa, pinturas antigas, etc., deve ser completamente removido com pano umedecido no solvente recomendado para diluição da tinta a ser utilizada;

Com textura e grau de absorção uniformes;

Livre de calcinação, sais solúveis, eflorescência, trincas, fissuras, descascamento ou sangramento;

Não recomendamos pintura sobre superfícies tratadas com produtos água repelente da concorrência ;

Para superfícies com sujeira, mofo/algas ou degradadas pela intempérie, realizar a limpeza utilizando uma solução de água clorada a 1% de cloro ativo (mistura de água sanitária com água 1:1), aguardar 15 minutos para a solução agir, lavar para remover a solução e os resíduos, e aguardar secagem completa para executar a pintura. Em caso de grandes extensões, utilizar hidro-jato. Em caso de superfícies muito contaminadas com fungos, algas e mofo, repetir este processo após 15 dias para evitar o reaparecimento do problema

Superfícies vitrificadas, muito lisas, com brilho, ou com baixa porosidade, devem ser lixadas até criar uma boa condição de ancoragem/aderência;

Em caso de superfícies de cimento queimado, fibrocimento ou com eflorescência, estas devem ser lavadas com ácido muriático a 10% em água, para abertura dos poros ou eliminação dos sais solúveis. Deixar a solução agir por 40 minutos e logo após enxaguar com água em abundância. Aguardar secagem completa (72 horas) para executar a pintura;

Eliminar sujeiras e incrustações aderentes por meio mecânico, verificando a existência de descascamento, deslocamento ou falta de aderência, promovendo a sua remoção e correção;

Micro fissuras passivas/estáveis (até 0,2mm) podem ser corrigidas aplicando-se diretamente o Aquabloc. Trincas e fissuras maiores que 0,2mm devem ser corrigidos por obra civil antes de aplicar o Aquabloc, pois caso a superfície apresente fissuras a umidade não será bloqueada. O produto Frentes & Fachadas não é indicado para tal fim.

Não é necessário aguardar a cura do concreto/reboco (28 dias) Aquabloc poderá ser aplicado após 10 dias da execução da obra.

A superfície pode estar levemente úmida antes da pintura. Não pintar se a superfície estiver saturada de água.

Para o máximo desempenho e garantia do sistema, a pintura antiga existente deve ser totalmente eliminada (raspagem, lixamento, lavagem, ...) para que a tinta Aquabloc entre em contato direto com o concreto/reboco. Caso o Aquabloc seja aplicado sobre outra tinta e esta não tenha boa resistência à umidade, poderá gerar a formação de bolhas e posterior descascamento.

OBS:

Superfícies em locais críticos de umidade onde possa existir o início da formação de eflorescência (que é muito difícil de ser observado visualmente) e/ou em superfícies muito lisas (feltradas, queimadas, polidas ou de baixa absorção) ou com traço de cimento muito forte, para evitar o problema de falta de aderência e descascamento do Aquabloc, recomendamos proceder sempre uma lavagem com ácido muriático, conforme descrito acima. Em caso de dúvida manter contato com nosso departamento técnico.

Produtos Auxiliares e/ou Acabamentos

MASSAS:

Massa Acrílica 4686

Massa Corrida Extravinil 2.5.110 (uso somente interno).

Multimassa Tapa Tudo 4680 (uso para correções localizadas).

TEXTURAS:

Textura Acrílica 4687 e 3580

Textura Acrílica Quartzo 305110 e 3510

Adornare Milano 3560

ACABAMENTOS:

Frete & Fachadas Semibrilho

Frete & Fachadas Fosco

Rekolor Acrílico Semibrilho

Rekolor Acrílico Acetinado

Rekolor Acrílico Fosco

Renner Látex

Extravinil Acrílico Fosco

Extravinil Super

Ducryl Semibrilho

Ducryl Fosco

Tinta Acrílica Profissional
Polipar

Sistemas de Pintura

Após a correta preparação da superfície, aplicar:

1 demão do Aquabloc diluído como selador + 3 demãos do Aquabloc como acabamento, ou aplicar;

1 demão do Aquabloc diluído como selador + 2 demãos do Aquabloc + 1 demão de Massa/Textura indicadas nos "Produtos Auxiliares" + 1 demão do acabamento, diluído com 30 a 40% de água, como selador + 2 ou 3 demãos do acabamento, ou aplicar;

1 demão do Aquabloc diluído como selador + 2 demãos do Aquabloc + 2 a 3 demãos de um dos acabamentos indicados nos "Acabamentos Recomendados".

Observações

Em paredes onde exista umidade constante e que tenham funções estruturais, não recomendamos a aplicação em todas as suas faces, para evitar o aprisionamento da umidade no interior da parede e degradação da estrutura.

Em áreas críticas de umidade, o Aquabloc somente obterá o seu máximo desempenho, quando aplicado diretamente sobre o reboco/concreto e sem aplicação de qualquer acabamento sobre ele.

Para bloquear a umidade ascendente, o Aquabloc deve ser aplicado em no mínimo 1 metro além da área atingida, verificando a necessidade de aplicação em áreas adjacentes, pois a umidade poderá reaparecer em outras áreas.

Para uma maior uniformidade de aplicação, o Aquabloc pode ser aplicado em demãos cruzadas.

Em áreas críticas, para verificar a correta aplicação do Aquabloc e por conseqüência o bloqueio da umidade, recomendamos aguardar no mínimo 3 semanas antes de aplicar um outro acabamento sobre o Aquabloc.

Não dosar corantes ou concentrados de pigmento neste produto. Estes materiais são incompatíveis com o Aquabloc.

Recomendações para Manutenção de Pintura

Para garantir os benefícios de durabilidade, aguardar no mínimo 2 semanas para limpeza da superfície pintada.

Para a manutenção do aspecto estético da pintura, recomendamos que sejam feitas limpezas periódicas anuais da superfície pintada para a remoção de maresia, poluição, microorganismos e outros contaminantes/sujeiras;

Para limpeza da superfície pintada, usar detergente líquido neutro e esponja macia. A limpeza deverá ser efetuada de forma suave e homogênea, em toda a superfície pintada. Enxaguar com água limpa. O uso de produtos abrasivos pode danificar a superfície pintada; em caso de grandes extensões, utilizar o sabão líquido neutro, lavando com hidro-jato a baixa pressão.

Não limpar a pintura com pano seco, pois poderá ocorrer o polimento da superfície;

Não recomendamos o uso de equipamentos do tipo "Vaporetto" pois podem gerar manchamentos indesejáveis;

Para manchas mais agressivas, como caneta, lápis, gorduras, respingos de alimentos, etc., que não sejam removíveis utilizando o procedimento acima citado, deve ser realizada a repintura de toda a superfície atingida;

Quanto ao aparecimento de mofo, a superfície deve ser limpa utilizando uma solução de água sanitária e água na proporção de 1:1. Este procedimento deve ser repetido após 15 dias para evitar o reaparecimento do problema;

Caso necessário efetuar reparos/retoques de pintura, pintar a parede por inteiro até uma descontinuidade (como um canto), pois a tinta sofre um envelhecimento natural, e quando retocada somente em uma parte de uma parede, pode ocorrer diferença de aspecto, textura e cor;

Recomendações Gerais

A durabilidade e a integridade da pintura depende das condições e qualidade do substrato a ser pintado. Problemas de substrato ou de pinturas antigas, tais como: desagregação, deterioração, descascamento, infiltrações de umidade, deslocamento, fissuras, trincas, proliferação de microorganismos, sujeiras e outros contaminantes/problemas, comprometerão a integridade do acabamento bem como sua durabilidade e desempenho. Assim sendo, para evitar estes problemas, é fundamental a preparação da superfície, bem como seguir todos os procedimentos e recomendações descritos na embalagem, nesse boletim técnico e no Manual Prático de Aplicações;

Homogeneizar bem o produto antes de utilizá-lo;

Para um melhor nivelamento e acabamento final da pintura, utilizar um rolo de pêlo baixo;

Limpar gotas e respingos de tinta com os solventes recomendados para a diluição da tinta, enquanto ainda estiverem úmidos.

Os instrumentos e utensílios utilizados na pintura devem ser limpos com os solventes recomendados para a diluição da tinta, logo após o encerramento da jornada de trabalho;

Utilizar somente produtos recomendados pela empresa, tais como fundos, primers, seladores, solventes, massas, texturas, etc., para evitar problemas de compatibilidade entre os produtos e obter o máximo desempenho da pintura;

Para uma cobertura perfeita e uniforme da superfície, dependendo das condições de porosidade, uniformidade, textura, contraste e cor, poderá ser necessário maior número de demãos.

Este material foi desenvolvido com base no melhor do nosso conhecimento técnico, fornecendo informações gerais sobre nossos produtos e usos, não podendo ser consideradas como garantia de propriedades específicas de cada produto ou de suas aplicações. Desta forma, nos reservamos o direito de alterar estas informações sem aviso prévio, em função do aprimoramento e evolução contínua do conhecimento técnico.

As informações são válidas única e exclusivamente para as aplicações descritas neste BT. Para aplicações diferentes das especificadas ou outras recomendações, consulte nosso Serviço Direto ao Consumidor - SDC (0800-512380).

Condições Ambientais de Aplicação

Aplicar com temperatura entre 10 e 40° C., e com umidade relativa do ar entre 40 e 80%; pinturas fora destas condições, poderão apresentar problemas de secagem, aderência, corrugamento, marcas de rolo, manchas de brilho e cor, dentre outros problemas.

Aplicações dentro dos limites acima especificados, mas com temperatura superior a 30 °C e/ou com umidade relativa do ar próxima a 40%, provocam secagem muito rápida, podendo ocorrer problemas de falta de aderência, marcas de rolo, manchas de brilho e cor. Nestes casos recomendamos aplicar em horários de menor temperatura, sem incidência direta do sol.

A pintura sobre superfícies aquecidas e/ou com incidência direta do sol devem ser evitadas, pois caso contrário poderão ocorrer problemas de falta de aderência, corrugamento, marcas de rolo, manchas de brilho e cor;

Não aplicar em ambientes fechados sem circulação de ar, por questões de segurança, saúde e para que a tinta possa secar/curar adequadamente, sem deixar manchas ou pegajosidade.

Recomendações de Saúde e Segurança

Número ONU: 1263

Número de risco: 30

Cuidado! Produto inflamável, nocivo por contato com a pele ou olhos, inalação ou ingestão.

Manter a embalagem bem fechada, em lugar fresco e bem ventilado, afastada de chamas, faíscas ou outras fontes de ignição, fora do alcance de crianças e animais, longe de alimentos e bebidas. Produto irritante da pele, olhos e vias respiratórias. Não comer, beber ou fumar durante sua utilização. Evitar respirar os vapores do produto e o contato com a pele e os olhos. Usar luvas, óculos de segurança e máscara respiratória com filtro para vapores orgânicos. Se a inalação causar dificuldade respiratória, remover pessoa para local ventilado. Se necessário, aplicar respiração artificial. Em caso de contato com os olhos ou contato com a pele, lavar com água em abundância (15 min). Em caso de ingestão, lavar a boca da vítima com bastante água e não provocar vômito. Em todos estes casos, procurar auxílio médico levando esta embalagem. Pessoas que apresentaram anteriormente alergia a este produto não devem reutilizá-lo. Em caso de incêndio usar extintor de pó químico, gás carbônico ou espuma. Em caso de vazamento, sinalizar e isolar o local, eliminar todas as fontes de ignição, impedir faíscas ou chamas, não fumar. Absorver o material derramado com areia, terra seca ou outro material absorvente e não combustível. Utilizar ferramentas que não provoquem faísca. Não reutilizar a embalagem. Eliminar restos do produto e sua embalagem como resíduo perigoso. Nome apropriado para embarque: TINTA.

Data Revisão 27/07/2006 11:40:28

