

EFEITO DAS SOLUÇÕES AQUOSAS SALINAS NOS PROCESSOS DE EMBEBIÇÃO E CINÉTICA DE SECAGEM DE MATERIAIS POROSOS

TIAGO RAFAEL OLIVEIRA MOURA PINTO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Ana Sofia Moreira dos Santos
Guimarães Teixeira

Coorientador: Professor Doutor João Manuel do Paço Quesado
Delgado

JULHO DE 2013

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais Angélica e Bernardino
e ao meu irmão Manuel

Ninguém vale pelo que sabe, mas pelo que faz com aquilo que sabe
Leonardo Boff

AGRADECIMENTOS

Quero deixar aqui uma palavra de agradecimento a todos que contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação:

À Professora Ana Sofia Guimarães, minha orientadora, pelo tempo despendido na passagem de conhecimentos, pelo acompanhamento firme na instrução e orientação e pela amabilidade e força que transmitia em cada palavra;

Ao Professor João Delgado, meu coorientador, pelos conselhos dados durante a dissertação e pela atenção disponibilizada;

Às companheiras de laboratório, Mariana Cunha e Joana Azevedo agradeço pelo tempo passado, pelo apoio mútuo na realização das dissertações, pela simpatia e pela boa disposição;

A todos os meus colegas e amigos que me acompanharam e ajudaram nos últimos cinco anos de curso;

Aos meus pais, irmão e namorada pelo apoio incontestável e amor transmitido todos os dias.

RESUMO

A cristalização de sais é um dos principais mecanismos de degradação de alguns materiais de construção, nomeadamente os materiais porosos devido à sua porometria e porosidade. Os sais aparecem devido a fenómenos de humidade ascensional provenientes das águas pluviais e das águas dos lençóis freáticos que trazem consigo sais que migram pelos materiais porosos. A degradação resulta da pressão exercida pelos sais, que quando aumentam o volume excedem a força interna do material e desgastam o material. A flutuação da humidade e da temperatura leva os sais a variarem em ciclos de cristalização e dissolução sucessivos provocando a detioração dos materiais.

Para tal desenvolveu-se um trabalho experimental utilizando três materiais porosos, o tijolo, a argamassa e o betão e vários sais que permite estudar a variação do coeficiente de absorção de água com e sem sais solúveis e em concentrações diferentes, e estudar a secagem dos materiais sob a influência dos sais.

PALAVRAS-CHAVE: Humidade, sais, embebição, secagem, materiais porosos

ABSTRACT

The crystallization of salts is one of the main mechanisms of degradation of some building materials, including porous materials due to their porosity and porometry. Salts appear due to phenomena of rising damp from the rain water and water from groundwater that can bring salts migrate through porous materials. The degradation resulting from the pressure exerted by the salts, which increase when the volume exceeds the internal strength of the material and the material wears. The fluctuation of humidity and temperature leads to the salts vary in cycles of crystallization and dissolution of consecutive triggering deterioration materials.

For this developed an experimental study using three porous materials, brick, mortar and concrete and various salts which allows studying the variation of the absorption coefficient of water with and without soluble salts and at different concentrations and studying the drying of materials under the influence of the salts.

KEYWORDS: HUMIDITY, SALTS, SOAKING, DRYING, POROUS MATERIALS

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA	2
2. OS MATERIAIS, A HUMIDADE E OS SAIS	3
2.1. MATERIAIS POROSOS	3
2.2. TIJOLO	3
2.2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA	4
2.2.3. PROCESSO DE FABRICO	4
2.3. BETÃO	5
2.3.1. INTRODUÇÃO	5
2.3.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA	6
2.3.3. PROCESSO DE FABRICO	7
2.4. ARGAMASSA	7
2.4.1. INTRODUÇÃO	7
2.4.1.1. Cal hidráulica	7
2.4.1.2. Cal aérea	8
2.4.1.3. Gesso	8
2.4.1.4. Cimento	8
2.4.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA	9
2.4.3. FABRICO	9
2.5. A HUMIDADE NOS EDIFÍCIOS	10
2.5.1. INTRODUÇÃO	10
2.5.1.1. Higroscopicidade dos materiais	11
2.5.1.2. Condensações superficiais	11

2.5.1.3. Condensações internas.....	11
2.5.1.4. Humidade na construção	11
2.5.1.5. Infiltrações	12
2.5.1.6. Fuga na canalização	12
2.6. HUMIDADE ASCENSIONAL	12
2.6.1. INTRODUÇÃO	12
2.6.2. FATORES QUE CONDICIONAM A HUMIDADE ASCENSIONAL	14
2.6.2.1. Condições climáticas do ambiente	14
2.6.2.2. Insolação	14
2.6.2.3. Presença de sais	15
2.6.2.4. Porosidade e porometria	15
2.6.2.5. Espessura da parede e natureza dos materiais de revestimento.....	15
2.6.3. MECANISMOS DE FIXAÇÃO DA HUMIDADE	16
2.6.3.1. Higrscopicidade	16
2.6.3.2. Condensação	17
2.6.3.3. Capilaridade	18
2.7. TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA	20
2.7.1. SECAGEM	20
2.8. CRISTALIZAÇÃO DE SAIS	22
2.8.1. INTRODUÇÃO	22
2.8.2. HISTÓRIA.....	22
2.8.3. PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO	23
2.8.3.1. Influência da humidade relativa e da temperatura	24
2.8.3.2. Eflorescências e cripto-eflorescências.....	25
2.8.3.3. Influência da humidade relativa e da temperatura.....	26
2.8.4. PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO.....	26
2.8.4.1. Expansão devido à variação da temperatura	26
2.8.4.2. Pressão de cristalização	26
2.8.4.3. Hidratação	26
2.8.5. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SAIS	26

3. EFEITO DAS SOLUÇÕES AQUOSAS SALINAS NA ABSORÇÃO E EVAPORAÇÃO DE ÁGUA – ESTUDO EXPERIMENTAL EM PROVETES	29
3.1. INTRODUÇÃO	29
3.2. ENSAIO DE CAPILARIDADE	31
3.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS.....	31
3.2.2. PROVETES.....	31
3.2.2.1. Tijolo	33
3.2.2.2. Betão	34
3.2.2.3. Argamassa	35
3.2.3. SAIS.....	37
3.2.4. PREPARAÇÃO DOS PROVETES.....	39
3.2.5. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO CAPILAR.....	41
3.2.5.1. Procedimento experimental.....	41
3.2.6. ANALISE DOS RESULTADOS.....	44
3.2.6.1. Introdução	44
3.2.6.2. Absorção do tijolo	45
3.2.6.3. Absorção do betão	54
3.2.6.4. Absorção da argamassa	62
3.2.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO	70
3.2.7.1. Coeficiente de absorção de água nos materiais	70
3.2.7.2. Permeabilidade dos materiais	70
3.2.7.3. Influência dos sais na velocidade de absorção	72
3.2.7.4. Relação entre a velocidade de absorção e a curva de absorção	72
3.2.7.5. Massa dos provetes ao longo do processo de absorção.....	73
3.3. ENSAIO DE SECAGEM	75
3.3.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	75
3.3.2. ANALISE DOS RESULTADOS.....	77
3.3.2.1. Introdução	77
3.3.2.2. Resultados do ensaio de secagem da água	78
3.3.2.3. Resultados do ensaio de secagem com cloreto de sódio sobressaturado.....	80

3.3.2.4. Resultados do ensaio de secagem com cloreto de sódio com um terço da saturação.....	81
3.3.2.5. Resultados do ensaio de secagem com nitrato de sódio sobressaturado	83
3.3.2.6. Resultados do ensaio de secagem com nitrato de sódio com um terço da saturação.....	84
3.3.2.7. Resultados do ensaio de secagem com sulfato de potássio sobressaturado	86
3.3.2.8. Resultados do ensaio de secagem com sulfato de potássio com um terço da saturação	87
3.3.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO	90

4. CONCLUSÕES	93
4.1. SUMÁRIO	93
4.2. CONCLUSÕES GERAIS	93
4.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	94

Referências bibliográficas.....	97
--	-----------

Anexo I.....	III
Anexo II.....	V
Anexo III.....	VII

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 2.1 – Porosidade aberta e porosidade fechada	3
Figura 2.2 – Processo de fabrico do tijolo	5
Figura 2.3 – Processo de fabrico da argamassa.	9
Figura 2.4 – Humidificação por águas freáticas e superficiais.....	12
Figura 2.5 – Água freática	13
Figura 2.6 – Água superficial.....	14
Figura 2.7 – Altura atingida pela água nas paredes, de acordo com as condições de evaporação	14
Figura 2.8 – Comportamento higroscópico de materiais em função da humidade	16
Figura 2.9 – Ocorrência de condensações	17
Figura 2.10 – Fenómeno de capilaridade	17
Figura 2.11 – Representação de uma superfície hidrófila, e de uma superfície hidrófuga	18
Figura 2.12 – Gráfico tipo da absorção capilar	19
Figura 2.13 – Fases no processo de secagem	20
Figura 2.14 – Curva de secagem de materiais porosos	21
Figura 2.15 – Trabalho experimentado por Taber	22
Figura 2.16 – Eflorescência provocada por humidade ascensional	25
Figura 2.17 – Distribuição dos sais numa parede.....	26

CAPITULO 3

Figura 3.1 – Provetes de betão com presença de tinta na face superior	32
Figura 3.2 – Provetes de tijolo com irregularidades, provenientes da desagregação de um vértice	32
Figura 3.3 – Faces rugosas do provete	32
Figura 3.4 – Presença de manchas de humidade em alguns provetes de argamassa.....	32
Figura 3.5 – Numeração dos provetes.....	33
Figura 3.6 – Provetes de tijolo antes dos ensaios	34
Figura 3.7 – Provetes de betão com bolhas de ar	35
Figura 3.8 – Provetes de argamassa antes dos ensaios.....	35
Figura 3.9 – Material auxiliar necessário à sua conceção: moldes, peneiros	36
Figura 3.10 – Adição dos constituintes nas porções exatas	36

Figura 3.11 – Homogeneização dos constituintes	36
Figura 3.12 – Adição de água	36
Figura 3.13 – Formação da argamassa	37
Figura 3.14 – Colocação da argamassa nos moldes	37
Figura 3.15 – Secagem da argamassa	37
Figura 3.16 – Provetes no estado final	37
Figura 3.17 – Embalagens dos sais	38
Figura 3.18 – Pesagem da concentração	39
Figura 3.19 – Recipientes com as concentrações aquosas salinas	39
Figura 3.19 – Componente A e B da resina	40
Figura 3.20 – Pesagem dos componentes	40
Figura 3.21 – Papel de pintor de parede das faces inferior e superior	40
Figura 3.22 – Secagem dos provetes	41
Figura 3.23 – Pintura das faces do provete com o rolo de pintor	41
Figura 3.24 – Material auxiliar de pintura	41
Figura 3.25 – Provetes acondicionados em estufa	41
Figura 3.26 – Representação do ensaio de absorção capilar	42
Figura 3.27 – Provetes acondicionados em estufa	42
Figura 3.28 – Pesagem do provete	42
Figura 3.29 – Provetes no decorrer dos ensaios de absorção	43
Figura 3.30 – Gráfico tipo dos ensaios de absorção capilar	44
Figura 3.31 – Absorção capilar do tijolo imerso em água	43
Figura 3.32 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturado	47
Figura 3.33 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio	48
Figura 3.34 – Ilustração da gama possível para o coeficiente de capilaridade de um terço da saturação do sal	48
Figura 3.35 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado	49
Figura 3.36 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio	50
Figura 3.37 – Ilustração da gama possível para o coeficiente de capilaridade da solução sobressaturada do nitrato de sódio	51

Figura 3.38 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturado	52
Figura 3.39 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio.....	53
Figura 3.40 – Absorção capilar do betão imerso em água	54
Figura 3.41 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturado	55
Figura 3.42 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio	56
Figura 3.43 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado	58
Figura 3.44 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio	59
Figura 3.45 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturado	60
Figura 3.46 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio.....	61
Figura 3.47 – Absorção capilar da argamassa imersa em água	62
Figura 3.48 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturado	64
Figura 3.49 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa da quantidade de saturação do cloreto de sódio.....	65
Figura 3.50 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado	66
Figura 3.51 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio.....	67
Figura 3.52 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturado	68
Figura 3.53 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio	69
Figura 3.54 – Tempos aproximados em que a curva entrou em patamar	73
Figura 3.55 – Variação média do peso do provete	74
Figura 3.56 – Quantidade de água absorvida em percentagem.....	74
Figura 3.57 – Ilustração do ensaio de secagem	75
Figura 3.58 – Gráfico obtido do ensaio de secagem	76
Figura 3.59 – Pesagem dos provetes isolados na balança	77
Figura 3.60 – Provetes durante o ensaio de secagem	77
Figura 3.61 – Secagem da água no tijolo, betão e argamassa.....	78

Figura 3.62 – Secagem da solução aquosa do cloreto de sódio sobressaturado	80
Figura 3.63 – Evolução das manifestações do cloreto de sódio sobressaturado nos materiais	81
Figura 3.64 – Secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio	81
Figura 3.65 – Evolução das manifestações do cloreto de sódio dissolvido em menores quantidades nos materiais	82
Figura 3.66 – Secagem da solução aquosa do nitrato de sódio sobressaturado	83
Figura 3.67 – Evolução das manifestações do nitrato de sódio sobressaturado nos materiais	84
Figura 3.68 – Secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do nitrato de sódio	85
Figura 3.69 – Evolução das manifestações do nitrato de sódio dissolvido em menores quantidades nos materiais	86
Figura 3.70 – Secagem da solução aquosa do sulfato de potássio sobressaturado	87
Figura 3.71 – Evolução das manifestações do sulfato de potássio sobressaturado nos materiais	88
Figura 3.72 – Secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do sulfato de potássio	88
Figura 3.73 – Evolução das manifestações do sulfato de potássio dissolvido em menores quantidades nos materiais	90

ÍNDICE DE QUADROS

CAPITULO 2

Quadro 2.1 – Tipos de manifestações da água	10
Quadro 2.2 – HR de equilíbrio para os sais estudados a 20°C	25
Quadro 2.3 – Sais comuns nas paredes de edifícios.....	27

CAPITULO 3

Quadro 3.1 – Sequência de operações efetuadas para os ensaios realizados	30
Quadro 3.2 – Características das amostras.....	33
Quadro 3.3 – Características do betão	34
Quadro 3.4 – Concentrações de sais utilizadas.....	38
Quadro 3.5 – Listagem dos provetes em função do sal	39
Quadro 3.6 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso em água	46
Quadro 3.7 – Quadro de valores do coeficiente de absorção capilar do LFC - Tijolo	46
Quadro 3.8 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturado	47
Quadro 3.9 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio	48
Quadro 3.10 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado	50
Quadro 3.11 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do nitrato de sódio.....	51
Quadro 3.12 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturado	52
Quadro 3.13 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do sulfato de potássio	53
Quadro 3.14 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso em água.....	54
Quadro 3.15 – Quadro de valores do coeficiente de absorção capilar do LFC - Betão	55
Quadro 3.16 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturado	56
Quadro 3.17 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio	57
Quadro 3.18 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado	58

Quadro 3.19 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio	59
Quadro 3.20 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturado	60
Quadro 3.21 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio	61
Quadro 3.22 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa em água	62
Quadro 3.23 – Quadro de valores do coeficiente de absorção capilar do LFC - Argamassa	63
Quadro 3.24 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturado	64
Quadro 3.25 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio	65
Quadro 3.26 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado	66
Quadro 3.27 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio	67
Quadro 3.28 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturado	68
Quadro 3.29 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio	69
Quadro 3.30 – Coeficiente de absorção capilar da água.....	70
Quadro 3.31 – Caracterização das amostras segundo a norma utilizada na Alemanha.....	70
Quadro 3.32 – Tipos de sucção obtidos nos ensaios segundo a norma alemã.....	71
Quadro 3.33 – Caracterização do coeficiente de absorção de materiais	71
Quadro 3.34 – Quadro resumo do efeito dos sais no processo de absorção capilar	72
Quadro 3.35 – Índice de secagem da água no tijolo, betão e argamassa	79
Quadro 3.36 – Valores do índice de secagem	79
Quadro 3.37 – Índice de secagem da solução aquosa do cloreto de sódio sobressaturado	80
Quadro 3.38 – Índice de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio	82
Quadro 3.39 – Índice de secagem da solução aquosa do nitrato de sódio sobressaturado	83
Quadro 3.40 – Índice de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do nitrato de sódio	85
Quadro 3.41 – Índice de secagem da solução aquosa do sulfato de potássio sobressaturado	87
Quadro 3.42 – Índice de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do sulfato de potássio	88
Quadro 3.43 – Quadro resumo do efeito dos sais no processo de secagem.....	91

SÍMBOLOS

θ_{si} – Temperatura superficial interior (C°);
 θ_i – Temperatura interior (C°);
 U – Coeficiente de transmissão térmica (W/(m².C°));
 R_{si} – Resistência superficial interior (m².C°/W);
 θ_e – Temperatura exterior (C°).
 σ – Tensão superficial entre a água e o ar (N.m⁻¹);
 r – Raio do capilar (m);
 θ – Ângulo de contacto da água com o material (°).
 M – Quantidade de água absorvida (kg/m²);
 T – Tempo decorrido (s);
 C – Coeficiente de absorção (kg/(m².s^{0,5})).
 M_w – Quantidade de água absorvida ao longo do tempo t_i (kg/m²);
 M – Massa do provete no instante t_i (kg);
 M_o – Massa do provete seco (kg);
 S – Área do provete em contato com a água (m²).
 W_i – Teor de água no provete ao longo do tempo t_i [%];
 m_i – Massa do provete no instante t_i (g);
 m_{seca} – Massa do provete seco (g).
 $f(w)$ – Teor de água do provete (%);
 w_0 – Teor de água inicial (%);
 t_i – Tempo do ensaio (h).
 $f(w)$ – Teor de água do provete (%);
 w_0 – Teor de água inicial (%);
 t_i – Tempo do ensaio (h).
 m_o – Massa (g) do provete no tempo t_0 (h);
 m_{i-1} – Massa (g) do provete no tempo m_{i-1} (%);
 m_i – Massa (g) do provete no tempo t_i (h).

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Nas últimas décadas verifica-se um elevado crescimento da engenharia civil com a construção intensa e nova que se fez notar por todo o país e que impulsionou a evolução e a melhoria das condições de vida dos portugueses. Esse auge da construção em Portugal levou a engenharia civil a um nível efusivo e desmedido de produção. A procura de investimento não sustentado e a falta de contenção das empresas e câmaras municipais levou ao desgaste, sobrelotação e à criação de “uma bolha” no sector da construção civil. O país entrou numa recessão uma vez que as pequenas obras que ainda se requerem já não são suficientes para os grandes monopólios das empresas. Todo o império se desmoronou levando as empresas à falência ou à procura de outros mercados [1].

Após vinte a trinta anos as “construções antigas” começam a precisar de reabilitação e manutenção para resistirem e não serem destruídas ou demolidas. Com a crescente importância que tem sido atribuída à reabilitação e manutenção dos edifícios e com o panorama referido, as empresas ainda existentes orientam-se para uma área da qual têm pouco conhecimento e para qual existem poucos estudos e normas, a reabilitação e manutenção de obras em Portugal.

A reabilitação e manutenção de edifícios abrange diversas vertentes como a caracterização e estratégias de reabilitação de edifícios antigos, exigências regulamentares aplicáveis à reabilitação de edifícios bem como diagnósticos e metodologias de intervenção. Acresce o conhecimento aprofundado relativo às patologias dos edifícios, onde é necessário elaborar o diagnóstico, interpretar as causas e procurar as soluções mais adequadas para cada patologia.

Uma das principais causas de muitas patologias é o problema da humidade nas edificações. É uma das ações mais gravosas e simultaneamente mais correntes que afeta os edifícios. A maior parte das construções antigas, devido às tecnologias e técnicas utilizadas e ao passar do tempo, com materiais com uma estrutura porosa são alvo de fácil infiltração de água. A humidade ocorre devido a vários fatores como infiltrações, fugas de canalização, humidade ascensional, higroscopicidade e humidade de condensações, estes dois últimos fatores com a água sob a forma de vapor.

Neste trabalho, o tema em estudo é a humidade ascensional. A humidade ascensional é proveniente do solo que por capilaridade é absorvida pelos materiais porosos constituintes dos edifícios. Esta absorção provoca a degradação, perda do desempenho dos elementos construtivos e a deterioração dos revestimentos.

Um dos agentes que agrava as patologias associadas à humidade ascensional são os sais dissolvidos na água que muito contribuíram para a degradação quer a nível estético, quer a nível estrutural. São pequenos cristais que cristalizam e se dissolvem com a variação da humidade do ar e provocam

degradação dos materiais porosos. Tanto perto da costa marítima como até nos solos, os sais provocam a deterioração e degradação do material em contato. O caso mais comum da humidade ascensional é a ascensão capilar da água por via do terreno e dos lençóis freáticos, ambos ricos em sais. Procura-se assim interpretar e estudar o efeito dos sais dissolvidos em água nos materiais porosos.

Para combater as patologias dos edifícios antigos sujeitos à humidade ascensional, construídos com recurso a técnicas tradicionais e com um reduzido número de materiais, optou-se por estudar a argamassa de cal e o tijolo cerâmico. O betão é um material mais recente que também é estudado neste trabalho.

Com o objetivo de compreender a influência dos sais na absorção capilar, efetuou-se o ensaio de absorção de água por capilaridade e obtiveram-se as curvas de absorção bem como o coeficiente de absorção capilar de cada material. Para compreender a influência dos sais na evaporação da água, efetuou-se o ensaio de secagem e obtiveram-se as curvas de secagem bem como índice de secagem dos materiais. Estes ensaios foram realizados de acordo com a norma sugerida pelo LNEC, da RILEM [2].

Com o objetivo de melhor compreender o efeito da humidade ascensional na presença de sais dissolvidos na água e de melhorar o conhecimento e interpretação das patologias na reabilitação e manutenção de edifícios a presente dissertação baseia-se num conjunto de ensaios de capilaridade e de secagem que procuram demonstrar o efeito das soluções aquosas salinas nos processos de embebição e cinética de secagem de materiais porosos.

1.2. OBJETIVOS

A dissertação tem como principal objetivo compreender a ação dos sais em materiais porosos, através da elaboração de um estudo experimental realizado no Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia do Porto que consiste em:

- Determinar o valor do coeficiente de absorção de água na presença e ausência de sais solúveis com diferentes concentrações de três diferentes materiais de construção;
- Determinar o efeito das soluções aquosas salinas no processo de secagem e respetivo índice de secagem dos materiais.

Para além destes objetivos procurou-se estudar as propriedades e as características dos materiais porosos utilizados no ensaio.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação apresenta-se organizada da seguinte forma.

O capítulo 1 está reservado à descrição dos objetivos e da estrutura que constitui o presente trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se uma descrição de cada material poroso, que inclui a sua história e processo de fabrico, da humidade ascensional, dos ensaios de absorção e de secagem e do processo de cristalização dos sais.

No capítulo 3 descreve-se a metodologia adotada na parte experimental relativa ao ensaio de capilaridade e de secagem assim como os resultados obtidos e respetivas conclusões.

No capítulo 4 apresentam-se as conclusões tiradas no âmbito do presente trabalho e futuras ações de interesse para desenvolver este tema.

2

OS MATERIAIS, A HUMIDADE E OS SAIS

2.1. MATERIAIS POROSOS

A maioria dos materiais de construção porosos possui características higroscópicas, ou seja, têm a capacidade de absorver a água que fica em contacto com a superfície e com os poros dos materiais. O transporte de fluidos ocorre por esta rede interna de poros. [3]

Materiais de construção comuns como o tijolo, a argamassa e o betão, são referidos como materiais de construção porosos. Esta denominação provem do facto destes materiais terem poros, ou seja, espaços vazios no seu interior que são ocupados por um fluido (ar, água ou vapor de água). Se os poros estiverem interligados entre si formam uma rede contínua de poros, chamada porosidade aberta, como indica a figura 2.1. Se os poros estiverem isolados e dispersos pelo material poroso sem se interligarem designa-se por porosidade fechada (figura 2.1).

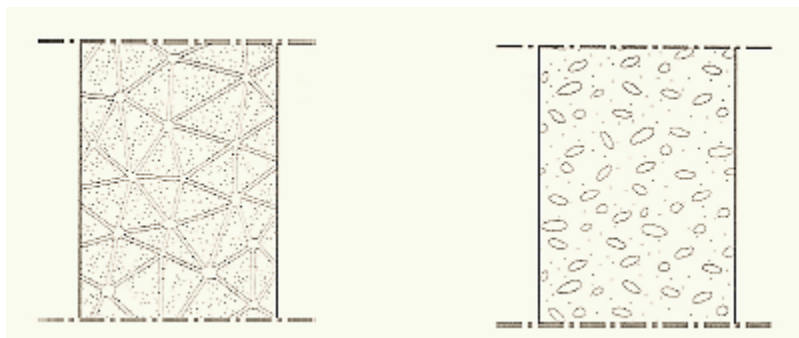


Figura 2.1 – Porosidade aberta e porosidade fechada [4]

Os poros com diâmetros menores conduzem mais água que os poros com diâmetros maiores. Os materiais com porosidade fechada absorvem menos água. [5]

2.2. TIJOLO

2.2.1. INTRODUÇÃO

O tijolo é um material cerâmico utilizado desde longa data pelos nossos antepassados. A produção deste material cerâmico é considerada uma das mais antigas do mundo. Materiais tradicionais na nossa

construção como tijolos, telhas ou azulejos são já fabricados e aplicados há muitos anos na construção. Os materiais cerâmicos apresentam propriedades variáveis de acordo com a matéria-prima e o processo de fabrico utilizado, nomeadamente a temperatura de cozedura.

O tijolo é um material fabricado com argila, inorgânico, não-metálico que revela elevada dureza e resistência química. As argilas, matéria-prima dos tijolos, derivam da modificação dos feldspatos das rochas ígneas sendo estas de várias origens. Para caracterizar e identificar as argilas é possível comparar alguns parâmetros como: a plasticidade, as argilas quando misturadas com água possuem características plásticas, a contração, que pode variar com o tipo de argila e se manifesta por uma redução de volume devido à secagem ou à cozedura, e por fim o efeito de calor que ocorre durante a fase da cozedura, quando se dão as transformações de estrutura e composição responsáveis pelas propriedades finais do material cerâmico.

Este material é vulnerável às ações de agentes externos e internos. Os agentes como a humidade, os sais e os esforços mecânicos são os que provocam maiores estragos no tijolo.

Os sais podem-se encontrar na composição da argila ou nos solos e, quando em contacto com a água dissolvem-se e migram para a superfície do tijolo. No processo de evaporação de água os sais cristalizam e formam manchas brancas que aparecem na superfície do tijolo designadas por eflorescências.

O objetivo desta dissertação é o estudo do tijolo maciço. É um tijolo com elevada massa e densidade sendo uma solução tradicional utilizada em Portugal. Tem como principais benefícios, além do isolamento acústico, a facilidade de colocação, o poder ser utilizado como tijolo face-à-vista ou em pano rebocado, a sua resistência mecânica e o facto de ser extremamente resistente ao fogo. [6]

2.2.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O tijolo é um dos materiais de construção mais antigos do mundo. Remete-se para o Neolítico os primeiros vestígios deste material que, na altura era formado por argila amassada com palha. O processo de cozedura passava por secar essa mistura ao sol.

Rapidamente se percebeu a importância do tijolo na construção pois tanto na Mesopotâmia, com a utilização de moldes de fabrico rápido de tijolos regulares, como na Roma Antiga, com a adição de areia e o aparecimento de tamanhos distintos de forma a construir aquedutos, arcos ou abobadas impressionantes, este material adquiriu o seu espaço. Com estes últimos o tijolo tornou-se num produto comercializado fazendo parte de um negócio industrial.

No século XIX, com a revolução industrial a produção do tijolo passou a ser por máquinas tornando-se mais rápida e mais barata.

No século XX, com o aparecimento do aço e do betão, materiais mais resistentes e baratos, o tijolo entra em declínio. A própria arquitetura impulsiona o uso de materiais novos como o vidro, o aço e o betão, aplicando o tijolo só como material aparente (tijolo face-à-vista ou como alvenaria de preenchimento) [6].

2.2.3. PROCESSO DE FABRICO

O processo de fabrico do tijolo obteve a sua maior alteração com a revolução industrial aplicando-se máquinas na produção deste. Este processo está dividido em seis fases: pré-preparação, preparação, conformação, secagem, cozedura e embalagem como indica a figura 2.2. A qualidade do material cerâmico é dependente da natureza da argila utilizada no seu fabrico.

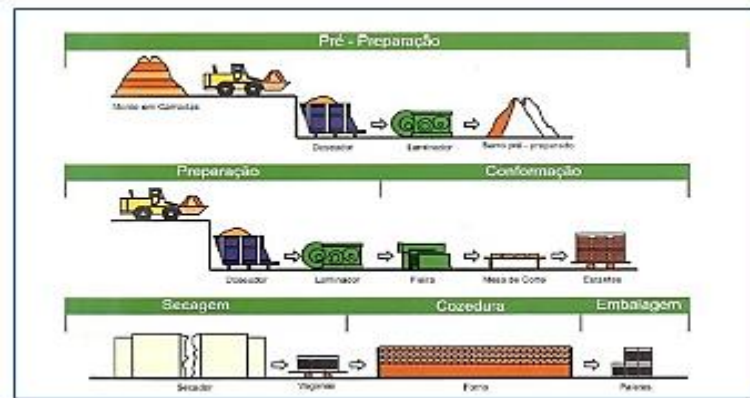


Figura 2.2 – Processo de fabrico do tijolo. [7]

A primeira fase, a fase de pré-preparação tem como objetivo garantir a homogeneização e redução da granulometria da matéria-prima. Os laminadores transformam o material depositado ao ar livre em camadas em pequenas lâminas de pasta que é armazenada e protegida das condições atmosféricas.

A preparação tem por finalidade garantir que a matéria-prima apresenta condições homogêneas de humidade e plasticidade. Os laminadores utilizam a pasta armazenada na fase anterior para criar lâminas de pasta mais homogêneas adicionando água de amassadura concedendo-lhe humidade e plasticidade.

A fase da conformação trata da moldagem da pasta para atingir a configuração do tijolo. Nesta fase o material é levado até fieiras que forçam a passagem da pasta através de moldes com a configuração do tijolo. Posteriormente o material é cortado em blocos com a dimensão pretendida.

Na fase de secagem o tijolo é seco em câmaras durante aproximadamente dezasseis horas sob temperaturas entre os 3°C e os 70°C. Assim o material perde a maior parte da água livre e adquire resistência mecânica. Em seguida os tijolos são submetidos a um processo de cozedura em fornos próprios com temperaturas entre os 800°C e os 1000°C durante vinte e quatro horas.

Após estes processos o tijolo é colocado em paletes e protegido, estando portanto pronto para ser comercializado. [8]

2.3. BETÃO

2.3.1. INTRODUÇÃO

A palavra “betão” deriva do francês “béton”, cuja origem resulta do latim bitumen. O betão é constituído por três elementos distintos: o ligante (cimento), o material inerte (partículas sólidas como o cascalho, a gravilha ou a brita e escória) e a água. Para moldar o betão conforme o objetivo e aplicação, são adicionados adjuvantes durante a amassadura na mistura para modificar as propriedades do betão. Os adjuvantes são classificados em função da sua atuação sobre o betão. Assim, há os redutores de água (plastificantes), os redutores de água de alta gama (superplastificantes), introdutórios de ar (para garantir a durabilidade do betão em temperaturas negativas), os retentores de água (reduzem a exsudação), os aceleradores de presa, os retardadores de presa, os aceleradores de endurecimento e os adjuvantes expansivos (fazem aumentar o volume quando o betão ainda está fresco e garante o endurecimento perfeito) [9].

Misturando estes componentes o betão torna-se uma pasta com consistência plástica, e atinge a resistência característica vinte e oito dias depois.

Para certificar e definir as características do betão a norma NP EN 206-1 [10] trata das especificações, desempenho, produção e conformidade do betão. A designação do betão de comportamento especificado deve incluir: referência à norma NP EN 206-1 [10]; classe de resistência à compressão, p.e.: C30/37; classe de exposição ambiental seguida do código do país, p.e.: XC3(P); classe de teor de cloretos, p.e.: Cl 0,20; máxima dimensão do agregado, p.e.: D_{max} 22; classe de consistência, p.e.: S3, ou valor pretendido [11].

A durabilidade é uma característica importante do betão quando este está sujeito a ambientes agressivos que o deterioram. De modo a garantir a sua durabilidade em ambientes agressivos, definiram-se classes de exposição ambiental e respetivos requisitos que o betão tem que ter. A classificação das ações ambientais tem em consideração os dois principais fatores de ataque ao betão armado ou pré-esforçado: o ataque químico sobre o betão e o ataque sobre as armaduras, baseado na corrosão induzida por carbonatação ou por iões cloreto.

O contato de sais com o betão resulta numa decomposição do betão devido à expansão cristalina de sais dissolvidos na água imediatamente abaixo da superfície do betão. Isto ocorre pois a água, rica em sais, é absorvida pelo betão e no processo de evaporação a água evapora e o sal deposita-se nos poros e na superfície. Nestas condições os cristais cristalizam-se nos poros, gerando tensões expansivas [12].

2.3.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O betão é um material recente e que é muito utilizado na construção hoje em dia. Os primeiros registos indicam que uma pasta, que se pode considerar uma espécie de betão, produzida pela mistura de argila, areia, cascalho e água era aplicada em pavimentos, paredes e fundações de casas arcaicas [13].

Contudo, só o Império Romano é que descobriu e explorou concretamente as características deste material aplicando-o em casas, templos, pontes e aquedutos. Consta que eles também tentaram armar o betão com cabos de bronze, experiências que não correram bem pois os materiais têm diferentes coeficientes de dilatação térmica.

Este material sempre teve uma utilização reduzida até ao século XVIII, data em que se desenvolveu o cimento Portland. A partir daí o betão começou a ganhar uma nova dinâmica aplicando-se não só em fundações como também em pavimentos térreos e paredes. Contudo o betão ainda era um material que não apresentava características que convencessem os engenheiros a utilizá-lo nas suas obras.

Data do século XIX, em França, a obra mais antiga de betão armado ainda existente. Nessa altura iniciou-se a aplicação de betão armado em construções como casas, tubagens, pontes em arco e principalmente em pavimentos de betão armado. Este último é a aplicação mais usual do betão armado até à época atual. O interesse por este material aumentou e apareceram os primeiros estudos sobre o betão armado e instruções Francesas [13].

Verificou-se então um desenvolvimento extraordinário do betão armado, a nível de utilização e de compreensão do seu funcionamento. Este desenvolvimento está associado à realização de numerosas patentes onde se indicam as bases de cálculos e as disposições de armaduras para diversos elementos estruturais. No século XX desenvolveram-se sistemas de vibração mecânica para a compactação do betão e estudos sobre o efeito do betão e aplicação do pré-esforço. Desde aí o conhecimento sobre o betão armado e pré-esforçado tem vindo a aumentar aplicando-o em obras extraordinárias até então impossíveis de realizar.

2.2.3. PROCESSO DE FABRICO

O processo de fabrico do betão consiste na mistura de cimento, agregados grossos e finos (brita e areia) e água, com ou sem incorporação de adjuvantes e adições.

Os agregados utilizados no fabrico do betão chegam à central através de camiões e são armazenados em locais apropriados como silos, de acordo com a sua tipologia e granulometria. A partir dos locais de armazenamento são encaminhados para o sistema de pesagem e posteriormente descarregados para dentro da misturadora onde é efetuada a mistura com os outros constituintes do betão.

O cimento chega à central em camiões cisterna e é armazenado em silos apropriados, por meio de sem-fim, o cimento é encaminhado do silo para a balança onde é pesado e posteriormente descarregado na misturadora onde se vai juntar com os agregados, com a água e eventualmente com outras adições.

Depois de todos os constituintes do betão estarem pesados, são descarregados na misturadora onde se processa de forma homogénea a sua mistura. Concluído este processo, o betão é descarregado para camiões betoneira e transportado no estado fresco até ao local da sua aplicação. Todo o processo de fabrico do betão é controlado por um sistema automatizado, que assegura o bom funcionamento do processo.

2.4. ARGAMASSA

2.4.1. INTRODUÇÃO

A argamassa é um material de construção fundamental na elaboração de qualquer obra. A sua constituição passa por adicionar agregados e água a um ligante. Como o objetivo de obter uma argamassa com determinadas características são adicionados aditivos ou adjuvantes. A qualidade da argamassa consegue-se encontrando o melhor traço, ou seja, a melhor proporção de constituintes de acordo com o objetivo de aplicação. O traço corresponde à indicação dos diferentes materiais que compõem a argamassa e as respetivas quantidades (traço 1:1:5 significa que para conceber esta argamassa será necessário um volume de cal comum e de cimento para cinco iguais de areia) [14].

As argamassas são denominadas e classificadas pelo componente ligante adicionado. Os ligantes são corpos sólidos que se apresentam finamente moídos e quando misturados com a água formam pastas mais ou menos plásticas que endurecem. O ligante pode ser o cimento, o gesso ou a cal. Quando se adicionam dois ligantes, cimento e cal ou gesso e cal designa-se por argamassa “bastarda”. As propriedades e comportamento das argamassas situam-se entre os limites correspondentes à utilização de cal aérea e cimento. Combinando os ligantes obtemos argamassas com características intermédias podendo-se otimizar as propriedades da mistura [15].

Existem diversos tipos de cal utilizados na construção. A definição de cal e as suas vertentes encontram-se identificados na norma NP EN 459-1:2022 [16] Destas salientam-se a cal aérea e a cal hidráulica.

2.4.1.1. Cal aérea

A norma define a cal aérea como sendo constituída principalmente por óxido ou hidróxido de cálcio. Endurece lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono atmosférico, e é desse mecanismo de cristalização que advém o seu nome. Não têm propriedades hidráulicas portanto não fazem presa dentro

de água. Esta argamassa resultante destaca-se pela sua boa trabalhabilidade, impermeabilidade e durabilidade. Os maiores inconvenientes do uso deste ligante são os tempos de presa lentos, a baixa coesão interna, elevada porosidade e vulnerabilidade à cristalização de sais e deterioração devido ao gelo-degelo. A cal aérea é utilizada na composição de argamassas bastardas para alvenarias e rebocos.

2.3.1.2. Cal hidráulica

A cal hidráulica é produzida por calcinação de calcários argilosos ou siliciosos com redução a pó por extinção, com ou sem moagem. Ganham presa e endurecem debaixo de água. O dióxido de carbono atmosférico contribui para o processo de endurecimento. São classificadas mediante a sua resistência à compressão. Podem-se considerar como intermédias entre a cal aérea e o cimento. Devido á hidraulicidade desta cal, ela confere uma melhor trabalhabilidade, resistência mecânica adequada e maior qualidade. As argamassas realizadas com cal hidráulica apresentam como vantagens principais a fissurabilidade e fendilhamentos mínimos, menor capilaridade e maior impermeabilização do suporte, adequada resistência à compressão e boa trabalhabilidade [17].

2.4.1.3. Gesso

O ligante de gesso é utilizado em argamassas aplicadas em rebocos de tetos e de paredes. O gesso resulta da desidratação total ou parcial da pedra de gesso. Depois de triturado e amassado com água recupera a cristalização endurecendo. As suas principais vantagens são a facilidade de obtenção de matéria-prima e de presa rápida. Por outro lado a baixa resistência e a solubilidade nas águas pluviais limita o seu uso apenas para climas secos ou para o revestimento e decoração do interior dos edifícios.

2.4.1.4. Cimento

O cimento é o ligante mais utilizado na composição de argamassas devido às suas propriedades hidráulicas muito favoráveis e às vantagens económicas que acarreta. É um material ligante constituído por pós muito finos que amassados com água formam uma pasta que endurecendo confere grande coesão e resistência ao conjunto que pretende aglomerar.

Como foi dito anteriormente, as propriedades induzidas nas argamassas relacionam-se com o fim a que se destinam. Elas são divididas em cinco grandes grupos de aplicação: as argamassas de alvenaria, que são utilizadas para elevar muros e paredes; as argamassas de revestimento, que são utilizadas para revestir paredes, e podem ter propriedades hidrófugas, serem pintadas ou constituírem grande diversidade de acabamentos; os cimentos-cola que são utilizados para colar cerâmicos sobre um suporte reboco, parede ou pavimento; massas para juntas formuladas para atenuarem as tensões normais nas juntas entre os elementos dos revestimentos aplicados; argamassas de suporte para pavimentos que são utilizadas na regularização de pavimentos concebidas para a sua nivelção com a finalidade de obter uma superfície lisa e plana.

Neste trabalho procurou-se trabalhar com uma argamassa corrente do mercado. Esta argamassa porosa seria para aplicar em acabamentos de rebocos exteriores, devido à sua massa de areia fina.

A estrutura porosa característica da argamassa condiciona o seu comportamento em relação à absorção de água por capilaridade, à evaporação de água e à ação de sais solúveis.

O fenómeno da capilaridade também assume enorme importância no estudo da aplicação de qualquer argamassa. A absorção é consequência da ação da capilaridade e depende da morfologia da estrutura

porosa da material. Através do ensaio experimental do coeficiente de capilaridade determina-se o comportamento à absorção capilar permitindo conhecer a velocidade com que a água é absorvida. Materiais com maior porosidade aberta apresentam maior coeficiente de absorção. A facilidade com que o material tem em secar está relacionada com a evaporação da água no interior do provete. Tanto a absorção como a evaporação da água na argamassa depende do volume de espaço disponível para a sua ocorrência, ou seja, da porosidade do material. A presença de sais solúveis também influencia a velocidade de absorção e de secagem. Estes sais dissolvidos na água são razões pelas quais os edifícios antigos apresentam patologias agravadas. [7]

2.4.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

Desde há muitos anos que as argamassas são utilizadas na construção como material de assentamento e de revestimento. Este material era constituído por cal e cozido em fornos. É possível avaliar o contraste com os componentes de argamassa contemporâneos que são a cal aérea, o gesso, as pozolanas, a cal hidráulica e mais tarde os ligantes hidráulicos como o cimento Portland. Os ligantes mais antigos consistiam numa mistura de argilas calcinadas moídas e misturadas com cal para consolidação das alvenarias e em elaboração de rebocos [17].

A inovação na formulação de argamassa aconteceu com os Romanos, que melhoraram a cozedura destas e iniciaram a seleção dos seus componentes, obtendo um material mais duradouro. Para além disso, ocorreu um episódio fortuito e simbólico na história das argamassas. Uma erupção vulcânica provocou a queda de cinzas em Pozzuolli, que deu o nome de pozolanas às cinzas. Este componente quando adicionado às argamassas torna-as num material mais duradouro do que os obtidos até então. Contudo estas argamassas continuavam a ser fabricadas de modo pobre e com fraca qualidade devido aos encargos financeiros em contraste com outros materiais mais baratos e mais correntes.

Apesar de no século XVIII aparecerem os primeiros estudos sobre argamassas impermeáveis constituídas por calcário, cal e pozolanas, foi no século XIX que se consolidou o uso das argamassas. O cozimento em forno de cimento sob temperaturas elevadas dotou o cimento de uma elevada plasticidade tornando-o muito competitivo na construção. Dada a sua semelhança de cor com as pedras da ilha de Portland, este cimento foi designado como cimento Portland. Esta inovação permitiu reduzir o tamanho dos estaleiros, reduzir a necessidade de mão-de-obra e encurtar os prazos em obra. Esta indústria foi ganhando significado durante o século XX com as argamassas de rebocos.

2.4.3. FABRICO

A argamassa resulta de uma mistura entre um ligante, um agregado e água. No fabrico deste material é importante ter em conta as doses aplicadas de cada material pois melhoram determinadas características. As argamassas são denominadas pelo componente ligante, componente este que pode ser o cimento, gesso ou cal. Quando intervêm dois ligantes, cimento e cal ou gesso e cal designam-se por mistas ou “bastardas” [14].

Os agregados são armazenados em silos individuais, de acordo com as diversas granulometrias. O processo de fabrico é controlado por um computador programado para as diferentes formulações de argamassas. As pesagens são efetuadas e as matérias-primas selecionadas são lançadas no misturador, selecionando-se o programa pretendido. Após a conclusão da mistura a argamassa é ensacada, ensilada ou carregada em camiões cisterna. A figura 2.3 representa o processo descrito.

Existem sistemas de segurança e de controlo intermédio e final que permitem ao produto acabado estar de acordo com as especificações pré estabelecidas.

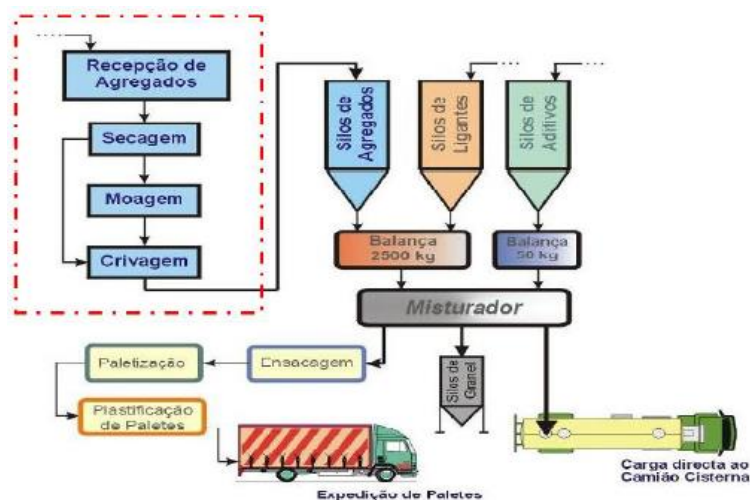


Figura 2.3 – Processo de fabrico da argamassa. [14]

2.5. A HUMIDADE NOS EDIFÍCIOS

2.5.1 INTRODUÇÃO

A humidade constitui uma das principais causas de patologias dos edifícios. São várias as formas sob as quais as anomalias devidas à presença da humidade se podem manifestar.

Este processo provoca alterações nos materiais de diversas maneiras: através da higroscopicidade do material, através de condensações superficiais e internas, através da humidade na construção, através de infiltrações, de fugas nas canalizações e de humidade ascensional [18],[19].

Como o quadro 2.1 indica, a humidade nos materiais manifesta-se tanto em fase de vapor de água como em fase líquida.

Quadro 2.1 – Tipos de manifestações da água

Manifestação	Estado da água
Higroscopicidade dos materiais	Fase vapor
Condensações superficiais	Fase vapor/ fase líquida
Condensações internas	Fase vapor/fase líquida
Humidade na construção	Fase vapor/ fase líquida
Infiltrações	Fase líquida
Fugas na canalização	Fase líquida
Humidade Ascensional	Fase líquida

2.5.1.1 Higroscopicidade dos materiais

A higroscopicidade dos materiais corresponde à propriedade de absorver água do material. Este absorve água de acordo com a humidade relativa do ambiente a que está sujeito. Este mecanismo é explicado mais à frente nos processos de condução da humidade.

2.5.1.2. Condensações superficiais

As condensações superficiais interiores resultam do facto de a temperatura superficial interior dos materiais, θ_{si} , ser menor ou igual à temperatura de saturação ou temperatura do ponto de orvalho, θ_{po} . Através da temperatura interior, θ_i , e da humidade relativa interior é possível obter a pressão parcial de vapor interior e com o diagrama psicrométrico obter a temperatura do ponto de orvalho. A equação (1) permite calcular a temperatura superficial interior.

$$\theta_{si} = \theta_i - U \cdot R_{si}(\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

Onde:

θ_{si} – Temperatura superficial interior (C°);

θ_i – Temperatura interior (C°);

U – Coeficiente de transmissão térmica (W/(m².C°));

R_{si} – Resistência superficial interior (m².C°/W);

θ_e – Temperatura exterior (C°).

Para que não ocorra condensações superficiais interiores, a temperatura superficial interior, θ_{si} , é superior à temperatura do ponto de orvalho, θ_{po} . Para evitar estas condensações devemos aumentar o isolamento térmico, aumentar a ventilação e/ou controlar a produção de vapor de água no interior.

2.5.1.3. Condensações internas

As condensações internas resultam da pressão parcial do vapor de água ser igual à pressão de saturação num dado ponto de um elemento construtivo. Este mecanismo é tratado mais à frente nos processos de transmissão da humidade.

2.5.1.4. Humidade na construção

A quantidade de água introduzida num edifício é elevada, tanto na conceção dos materiais, como na ação direta da chuva. A maioria dos materiais empregues na construção inclui água para a sua confeção, como as argamassas e os betões ou para a sua colocação como o tijolo. Alguma desta água é rapidamente evaporada, enquanto que outra demora mais tempo. A água superficial é a primeira a ser evaporada, seguindo-se a água que se encontra nos poros de maiores dimensões e finalmente a água que se encontra nos poros mais pequenos.

2.5.1.5. Infiltrações

As infiltrações resultam de erros de conceção ou falta de manutenção que originam fissuras e deterioração dos revestimentos e isolamentos e má eficiência dos materiais.

2.5.1.6. Fugas na canalização

Este tipo de manifestação de humidade consiste na fuga de água de equipamentos e instalações sendo proveniente de defeitos de construção ou de funcionamento. A humidade proveniente das fugas é difícil de localizar uma vez que existem migrações de água no interior dos elementos construtivos.

2.6. HUMIDADE ASCENSIONAL

2.6.1. INTRODUÇÃO

A água proveniente do solo pode provocar problemas específicos nas paredes ou nos pavimentos dos edifícios. O facto dos materiais de construção terem propriedades higroscópicas com capilaridade elevada e sem qualquer barreira estanque, leva a que a humidade possa migrar através deles [5].

Existem dois tipos de fontes de alimentação de água: águas freáticas e águas superficiais. As águas freáticas entram em contato direto com as fundações das paredes situadas abaixo do nível freático (figura 2.4 a) e com as fundações situadas acima do nível freático neste caso num terreno com elevada capilaridade provocando a ascensão da água (figura 2.4 b). As águas superficiais entram em contato com as paredes normalmente por ação da água da chuva, com pendentes viradas para as paredes dando origem a que as águas entrem em contacto com os elementos (figura 2.4 c).

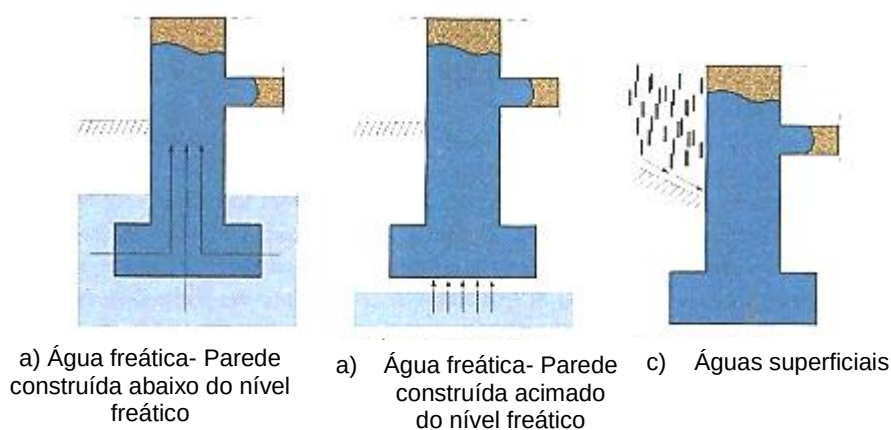


Figura 2.4 – Humidificação por águas freáticas e superficiais [20]

Quando a humidade é proveniente das águas freáticas os fenómenos apresentam-se inalterados ao longo do ano, pois a fonte mantém-se sempre ativa. A altura das manchas é constante em cada parede sendo maior nas paredes interiores comparativamente com as exteriores pois as condições de evaporação são menos favoráveis. (figura 2.5).

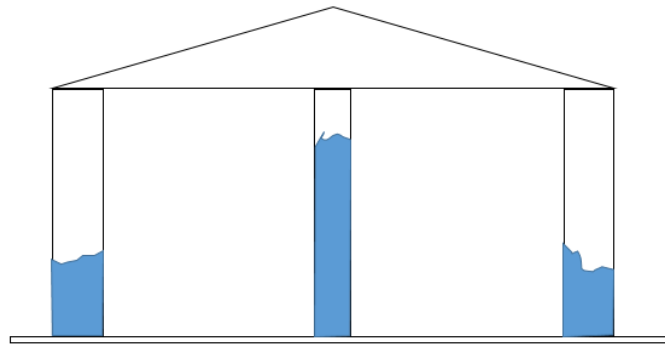


Figura 2.5 – Água freática

Por outro lado, quando a humidade é proveniente de águas superficiais os fenómenos apresentam variações durante o ano. Estas são mais gravosas no Inverno e os seus efeitos são mais gravosos nas paredes exteriores do que nas paredes interiores pois estas encontram-se mais afastadas da fonte de alimentação.

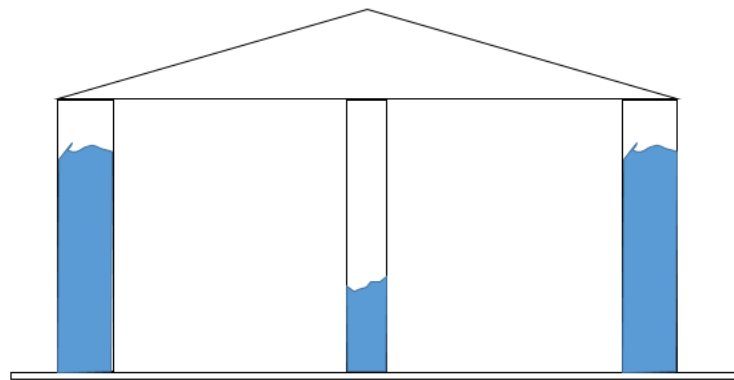


Figura 2.6 – Água superficial

A altura atingida pela migração capilar é função da porosidade e porometria dos materiais, da quantidade de água que entra em contacto com a parede e das condições de evaporação da água. A altura de ascensão da água numa parede verifica-se até ao ponto em que a quantidade de água evaporada pela parede compensa aquela que é absorvida por capilaridade. Assim, quando se impermeabiliza um elemento, reduzindo as condições de evaporação, a altura da água tem tendência para aumentar até atingir um novo equilíbrio (figura 2.7).

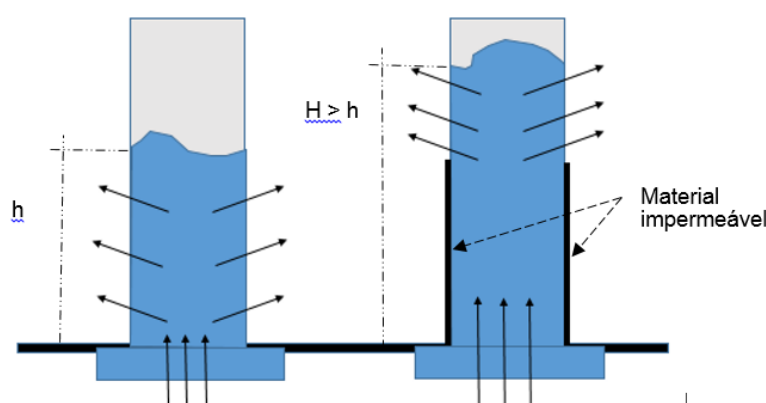


Figura 2.7 – Altura atingida pela água nas paredes, de acordo com as condições de evaporação

A altura da água também varia com a espessura, época de construção e orientação da parede: as paredes orientadas a Norte são mais afetadas do que as orientadas a Sul. Em condições ambientais constantes, quanto maior for a espessura maior será a altura atingida pela humidade.

Por outro lado os sais existentes no terreno e nos materiais dissolvidos pela água migram para a superfície e provocam a deterioração e degradação dos elementos construtivos [5].

2.6.2. FATORES QUE CONDICIONAM A HUMIDADE ASCENSIONAL

A humidade ascensional é condicionada por vários fatores externos e internos que influenciam o processo de absorção capilar. A humidade ascensional depende dos seguintes fatores: condições climáticas do ambiente (temperatura e humidade relativa); insolação; presença de sais; porosidade e porometria dos materiais; espessura da parede; natureza dos materiais de revestimento.

2.6.2.1. Condições climáticas do ambiente

Em particular a temperatura e a humidade relativa, são condições ambientais que influenciam a humidade ascensional. Para uma humidade relativa ambiental elevada a evaporação ocorre com maior dificuldade e o processo de migração da água será maior. Pelo contrário, quando a humidade relativa é baixa, a evaporação será máxima e a altura de progressão de humidade será menor.

2.6.2.2. Insolação

A orientação geográfica, a insolação e a ventilação influenciam o processo de absorção e de secagem dos materiais, observando-se diferentes alturas de progressão da frente húmida. A insolação faz alterar a temperatura superficial e a distribuição da temperatura com consequências no processo de evaporação.

2.6.2.3. Presença de sais

A presença de sais no solo e nos materiais de construção dissolvido em água é um dos mecanismos principais de degradação das paredes dos edifícios. Estes sais são dissolvidos pela água e transportados através da parede para níveis superiores. Quando a solução atinge a superfície, a água evapora, os sais cristalizam e ficam depositados. Este processo provoca uma progressiva colmatção dos poros e uma redução da permeabilidade ao vapor de água dos materiais, possibilitando o aumento do nível atingido pela água. Este processo depende da pressão exercida pelos sais, do tipo de sal e do tamanho dos poros. A deposição de sais á superfície pode dar origem à formação de eflorescências e/ou de criptoflorescências sob o revestimento de paredes.

A degradação que os sais provocam nos materiais ocorre pela cristalização/dissolução dos sais. Conforme a humidade relativa aumenta os sais dissolvem-se e se a humidade relativa baixa os sais cristalizam. Quando as formações de sal resultam de ciclos de cristalização e de dissolução de acordo com a variação da humidade relativa geram uma detioração.

A evaporação de água de uma parede húmida não provoca danos na sua superfície desde que ocorra em continuidade. Quando a evaporação é interrompida ou intermitente verificam-se erosões nos revestimentos, resultantes da cristalização dos sais solúveis sempre que a humidade baixe.

A observação visual da superfície permite obter informações relativamente ao tipo de humidade que atinge a parede.

Quando se observa os limites superior e inferior respetivos das alturas máximas e mínimas atingidas pela água, significa que ocorreram variações no fornecimento de água, com origem num lençol freático.

Quando a altura da água se estende desde uma dada altura até ao nível do solo, significa que a altura atingida pelo nível da água é muito reduzida traduzindo-se numa eventual secagem da fonte de alimentação o que indica que se poderá tratar de água infiltrada do terreno.

A presença de sais poderá originar alterações superficiais (eflorescências ou manchas de humidade), fendilhação, formação de crostas, delaminação, esfoliação, perda de coesão (pulverulência) ou formação de vazios.

Alguns dos sais mais comuns, estudados neste trabalho, são os cloretos que absorvem elevadas quantidades de água; os nitratos, de origem orgânica; e os sulfatos que cristalizam com o aumento do seu volume.

2.6.2.4. Porosidade e porometria

Os poros dos materiais são pequenos espaços de ar que fazem parte da sua estrutura. Praticamente todos os materiais apresentam porosidade aberta, sendo a facilidade de embebição dos materiais pela água diretamente relacionada com a sua porosidade. Se os poros do material não comunicarem entre si, o material é impermeável e não permite a transferência de água.

2.6.2.5. Espessura da parede e natureza dos materiais de revestimento

Admitindo que a altura de progressão de humidade estabiliza quando o fluxo através da seção absorvente iguala a evaporação total da parede, quanto maior é a espessura da parede, maior será a seção absorvente e maior área superficial será necessária para a água evaporar.

Em relação ao revestimento, comparando a altura da água numa situação com e sem impermeabilização, verifica-se que o facto de impermeabilizar a superfície diminui a área de evaporação, elevando a altura da água, até esta estabilizar com a evaporação da parede, como indica a figura 2.7.

2.6.3. MECANISMOS DE FIXAÇÃO DA HUMIDADE

Existem três mecanismos de fixação da humidade: higroscopicidade, condensação e capilaridade. Estes mecanismos permitem compreender melhor o fenómeno da humidade no interior dos materiais de construção.

2.6.3.1. Higroscopicidade

A higroscopicidade indica se o material absorve ou não a água. É possível distinguir materiais higroscópicos – quando a quantidade de água adsorvida pelo material é relevante e materiais não higroscópicos – quando a massa é praticamente constante mesmo num ambiente húmido. Um exemplo de um material fortemente higroscópico é a madeira e um exemplo de um material não menos higroscópico é o barro vermelho.

Os materiais utilizados neste trabalho são materiais higroscópicos, ou seja, o seu teor de humidade varia num ambiente quando a humidade relativa também varia. (figura 2.8).

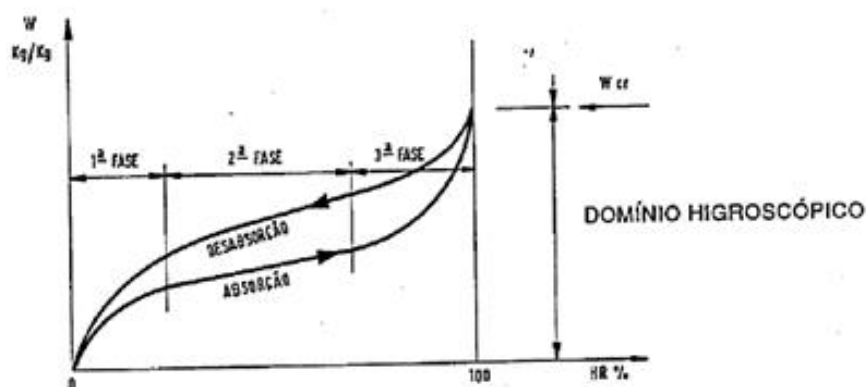


Figura 2.8 – Comportamento higroscópico de materiais em função da humidade [4]

Na primeira fase ocorre a fixação de uma camada de moléculas de água nos poros (adsorção monomolecular), a que se segue na segunda fase uma deposição de várias camadas de água no interior dos poros (adsorção plurimolecular). Na terceira fase, quando o diâmetro dos poros já é pequeno há a junção das camadas plurimoleculares (condensação capilar) [5].

2.6.3.2. Condensação

De acordo com Glaser [5], no interior de um elemento de construção, qualquer que seja a pressão de vapor num ponto P, esta tem que ser inferior ou igual á pressão de saturação P_s . Quando estas pressões são iguais ocorre o fenómeno de condensação, isto é o transporte que se fazia em fase vapor de água agora faz-se em fase líquida. (figura 2.9).

A curva de saturação é obtida através do diagrama psicométrico e da curva de distribuição de temperatura no interior do elemento. Se esta tiver pontos comuns com a curva de pressão instalada, ocorrem condensações internas.

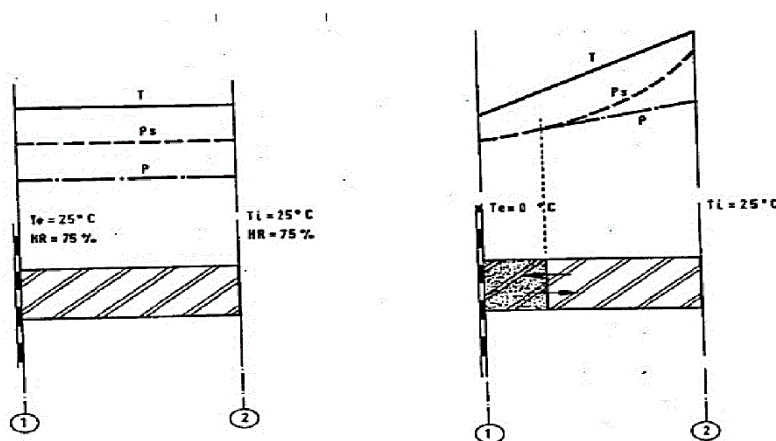


Figura 2.9 – Ocorrência de condensações [4]

2.6.3.3. Capilaridade

A capilaridade permite o transporte da água na fase líquida em materiais porosos (figura 2.10). Este fenómeno acontece quando as forças de atração entre o líquido e o material sólido são mais fortes que as forças de coesão do líquido. O processo origina uma progressão da água no interior do material com o líquido a formar um menisco côncavo.

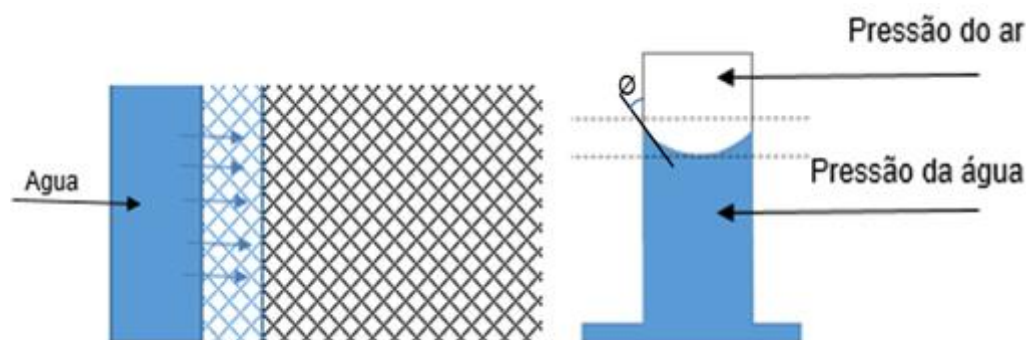


Figura 2.10 – Fenómeno de capilaridade

A diferença de pressão entre as fases líquida e gasosa chama-se pressão capilar P_c e funciona como uma força de sucção. O peso da coluna de água opõem-se a esta ascensão e o equilíbrio ocorre quando estas duas forças se igualam. A pressão existente é obtida pela equação (2):

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

Onde:

σ – Tensão superficial entre a água e o ar ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$);

r – Raio do capilar (m);

θ – Ângulo de contacto da água com o material ($^\circ$).

O ângulo de contacto é definido como sendo o ângulo formado entre as superfícies do sólido e do líquido, o qual resulta do equilíbrio de tensões nas interfaces sólido-líquido, sólido-ar e líquido-ar. O ângulo de contacto entre a água e uma superfície hidrófila é inferior a 90° e corresponde, num capilar, à formação de um menisco de forma côncava. Para um material hidrófugo, o ângulo de contacto é superior a 90° e corresponde, num capilar, à formação de um menisco convexo (figura 2.11).



Figura 2.11 – Representação de uma superfície hidrófila, e de uma superfície hidrófuga

Tendo em conta a complexidade da rede capilar dos materiais de construção porosos como o tijolo cerâmico, a capilaridade não pode ser analisada para cada capilar, com base na equação (3), recorrendo-se antes à determinação de coeficientes globais que são obtidos através do chamado ensaio de capilaridade.

$$M = C \cdot t^{0,5} \quad (3)$$

Onde:

M – Quantidade de água absorvida (kg/m^2);

T – Tempo decorrido (s);

C – Coeficiente de absorção ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$).

Este ensaio considera que, a nível macroscópico, a quantidade de água absorvida e a altura de ascensão capilar no material são função da raiz quadrada do tempo.

O ensaio consiste em colocar um material em imersão parcial, de forma a permitir que ocorra absorção da água pela sua base e efetuar pesagens periódicas para avaliar a quantidade de água absorvida ao longo do tempo. Obtem-se um gráfico que expressa a quantidade de água absorvida em função da raiz quadrada do tempo (figura 2.12). Numa primeira fase o provete absorve a água de forma constante até que a absorção começa a abrandar e a ser praticamente nula. A absorção estabiliza quando o fluxo absorvido iguala a evaporação total do material, ou seja, quando a quantidade de água que entra é igual à quantidade de água que sai. O coeficiente de capilaridade corresponde á inclinação do primeiro troço linear da curva. No gráfico, atinge-se um “patamar” quando a variação da absorção da água é nula ao longo do tempo, sendo representada uma linha horizontal reta (figura 2.12).

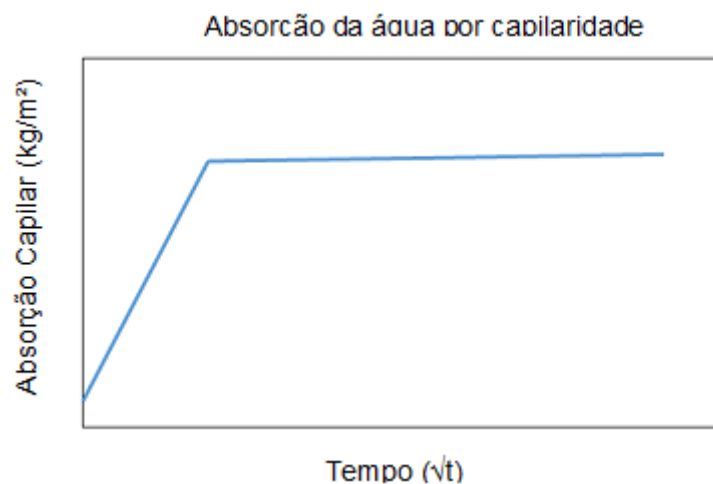


Figura 2.12 – Gráfico tipo da absorção capilar [14]

A quantidade de água absorvida por unidade de superfície (M_w) ao fim de um determinado tempo (t) é dada pela seguinte equação (4):

$$M_w = \frac{M - M_o}{S} \quad (4)$$

Onde:

M_w – Quantidade de água absorvida ao longo do tempo t_i (kg/m²);

M – Massa do provete no instante t_i (kg);

M_o – Massa do provete seco (kg);

S – Área do provete em contato com a água (m²).

Para efetuar este ensaio utilizam-se para o tijolo e argamassa as normas sugeridas pelo LNEC, a RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) [2]. Para o betão o ensaio de absorção capilar segue a norma “E393. *Determinação da absorção de água por capilaridade*. Especificação LNEC” [21].

2.7. TRANSPORTE DE VAPOR DE ÁGUA

Nos materiais porosos o transporte de vapor de água ocorre por difusão de acordo com a lei de Fick [22]. A lei de Fick defende que sempre que um material esteja exposto a ambientes com um gradiente de pressão de vapor, ocorre transporte de vapor nesse material gerando-se um fluxo que tende a uniformizar a concentração de vapor nos dois ambientes. A transferência de humidade ocorre no sentido da maior para a menor pressão de vapor, ou seja, da humidade mais elevada para a mais baixa.

2.7.1. SECAGEM

O processo de secagem de um material pode ser caracterizado pela difusão e evaporação da água contida no material poroso.

O processo de secagem é compreendido em três fases. Tome-se como ponto de partida o facto de o material poroso se encontrar saturado. Na primeira fase (figura 2.13 A) do processo de secagem a água líquida é transportada para a superfície exterior devido a forças capilares. A evaporação ocorre na superfície e o teor de humidade diminui ao longo do tempo, mantendo-se a distribuição de água sensivelmente uniforme ao longo de toda a espessura do material.

Na segunda fase (figura 2.13 B) é reconhecida pelo facto de a frente de secagem recuar para dentro do material. Este fenómeno acontece pois o fluxo capilar torna-se insuficiente e a água deixa de conseguir atingir a superfície quebrando a continuidade do fluxo líquido dos poros à superfície. Como o teor de humidade à superfície diminui, o processo torna-se mais lento e também ocorre através da difusão do vapor. A terceira fase (figura 2.13 C) é atingida quando o teor de água do material da zona húmida deixa de existir. O processo de secagem é apenas realizado através da difusão do vapor. A taxa de secagem diminui até atingir o teor de água de equilíbrio higroscópico do material.

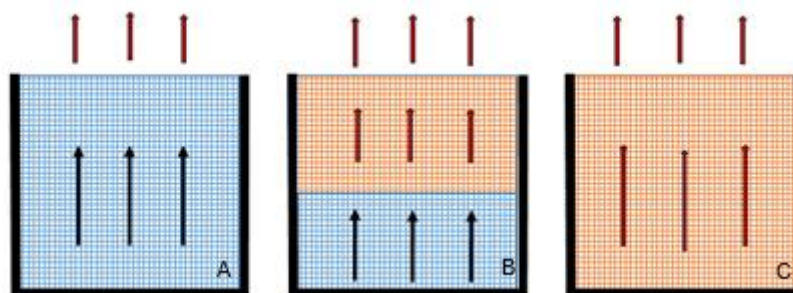


Figura 2.13 – Fases no processo de secagem

Para realizar este ensaio utilizam-se as normas sugeridas pelo LNEC, a RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) [2]. Esta norma permite seguir um modelo já utilizado e certificado.

De modo a traduzir os resultados da secagem dos materiais porosos, elabora-se um gráfico com a variação do teor de água em função do tempo. Obtém-se a curva de secagem através de pesagens periódicas. O teor em água é dado pela seguinte equação (5):

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100[\%] \quad (5)$$

Onde:

W_i – Teor de água no provete ao longo do tempo t_i [%];

m_i – Massa do provete no instante t_i (g);

m_{seca} – Massa do provete seco (g).



Figura 2.14 – Curva de secagem de materiais porosos

Como é possível observar na figura 2.14, a curva de secagem apresenta três fases distintas. A primeira fase corresponde ao troço reto e linear com taxa de secagem constante. O ponto descrito no gráfico como “teor de água crítico” corresponde à transição entre a primeira e a segunda fase. A partir deste ponto, o teor de água deixa de diminuir linearmente e passa a decrescer menos. Após a segunda fase, a taxa de secagem reduz significativamente e o provete atinge o teor de humidade característico.

A curva de secagem varia com o tipo de material, uma vez que cada um apresenta diferente porosidade e rugosidade tendo assim superfícies de evaporação distintas influenciando a taxa de secagem.

O resultado do ensaio de secagem pode ser expresso de forma quantitativa através do índice de secagem (IS) que é obtido através da seguinte expressão (6):

$$I.S = \frac{\int_0^{t_i} f(w) \times dt}{w_0 \times t_i} \quad (6)$$

Onde:

$f(w)$ - Teor de água do provete (%);

w_0 – Teor de água inicial (%);

t_i – Tempo do ensaio (h).

2.8. CRISTALIZAÇÃO DOS SAIS

2.8.1. INTRODUÇÃO

As fachadas dos edifícios estão sujeitas a ações de agentes erosivos do meio ambiente. Agentes como a água, o vento, a temperatura o gelo, a humidade e os sais solúveis. [23]

Os sais solúveis causam grandes prejuízos na construção para além das questões estéticas e de salubridade dos edifícios. As repetidas ações de absorção e secagem dão origem a ciclos de cristalização e dissolução que acabam por ter como consequência a desagregação do material. A falta de manutenção dos edifícios, principalmente nos edifícios mais antigos e históricos provoca a degradação destes e repetidas reparações com elevados custos. [24]

Como a proximidade das paredes com o solo proporciona o aparecimento de humidade proveniente do terreno e a rede porosa dos materiais tipicamente hidrófilos favorece a entrada dos sais e da água, os sais e a humidade acumulam-se nos elementos construtivos ao longo dos anos.

O meio físico de propagação da humidade influencia o processo de capilaridade e de secagem. Também a resistência mecânica condiciona a capacidade dos materiais resistirem á tensões geradas no interior dos poros. Em alvenarias antigas a detioração á mais rápida por ser constituída por materiais mais porosos, não impermeabilizados e de grande espessura.

Os danos causados em paredes de função estrutural afetadas pela ação dos sais podem acabar por comprometer a segurança estrutural do edifício. O impacto estrutural causado pelos sais pode ser grave, pois deteora os elementos construtivos do edifício.

Os edifícios antigos possuem ou incluem elementos com valor histórico, sendo por isso necessário garantir a sua preservação para as gerações futuras, o que significa que devem ser preservados [25]. Os edifícios antigos incluem muitas vezes elementos artísticos que podem ser prejudicados pela ação dos sais solúveis.

2.8.2. HISTÓRIA

Os primeiros estudos [26] sobre a cristalização de sais datam do século XIX, data em que surgiram as primeiras experiências acerca da saturação de sais. Só no século XX é que Taber [20] chegou á conclusão que: se um cristal está em ambiente saturado, ele é capaz de elevar um certo peso (ver figura 2.15 A).

Se ao mesmo tempo um outro cristal está presente na mesma solução sem nenhum peso aplicado sobre ele, neste caso o primeiro cristal já não consegue elevar qualquer peso (ver figura 2.15 B). O princípio básico por detrás destas observações é que um cristal que se encontra sob pressão está em equilíbrio com a solução, ocorrendo um aumento da solubilidade. Este fenómeno é geralmente conhecido como supersaturação. Quando um sal sem pressão está presente na mesma solução este vai crescer, eliminando a supersaturação, ou seja, ele determina a concentração da solução.

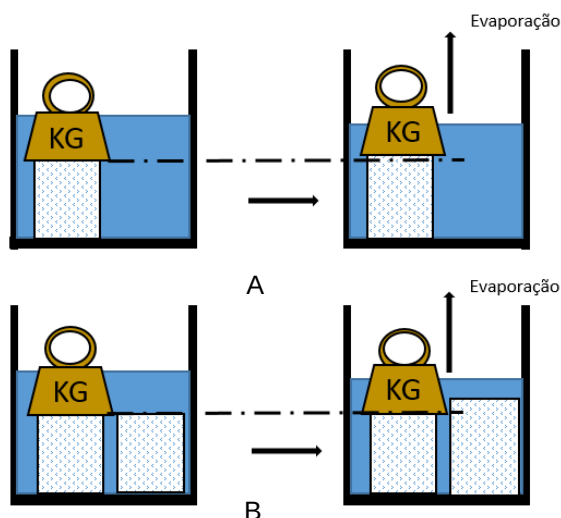


Figura 2.15 – Trabalho experimentado por Taber

Mais recentemente, e após o estudo da haltite (NaCl), com Putnis e Matathe [20], concluiu-se que se um fluido presente nos poros de um material está supersaturado este vai precipitar numa dada supersaturação que depende do tamanho dos poros.

Também no estudo da desagregação provocada pelos sais, com Doehne e Rodriguez-Navarro [20] afirmaram: "É óbvio que a desagregação provocada por sais não é apenas de interesse académico, mas um perigo com significativo impacte cultural e económico" e que "A extensão dos danos dos sais em materiais porosos devido à pressão de cristalização parece ser em grande parte uma função do rácio da supersaturação da solução e do local de cristalização. (...) os diferentes danos observados entre o cloreto de sódio e o sulfato de sódio parecem ocorrer devido às diferenças na dinâmica de cristalização dos diferentes padrões das cristalizações, bem como da localização da precipitação" [26].

Atualmente, vários modelos teóricos foram aparecendo, contudo ainda não estão completamente demonstrados. Trata-se de um tema complexo e que requer muito trabalho experimental e de simulação "in situ".

2.8.3. PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO

Os sais são compostos iónicos, com sabor salgado sob a forma de cristais que têm origem em vários iões como o cloreto, sulfato, nitrato, entre outros. Estão presentes tanto nos materiais de construção, como nos solos, nas águas freáticas, nas águas pluviais, na água do mar ou no nevoeiro salino. Ora, os sais dissolvidos nestes meios migram com a água por capilaridade até à superfície, local onde ocorre a evaporação da água e deposição dos sais. Os sais depositados na superfície surgem sob a forma de eflorescências e no interior dos materiais surgem sob a forma de cripto-eflorescências. Quando a

cristalização ocorre no interior dos materiais, os sais originam a degradação do material devido às tensões internas geradas. [24] A pressão exercida pela formação de sal nas estruturas porosas dos materiais com aumento de volume origina esforços mecânicos no interior dos poros.

As variações do teor de água fazem com que os sais cristalizem, hidratem e dissolvam. A repetição deste ciclo dá origem à destruição dos materiais pétreos devido às forças de cristalização que atuam sobre estes materiais.

Nos materiais porosos como o tijolo, a argamassa e o betão sob o efeito dos ciclos de embebição/secagem dos sais dissolvidos na água surgem as eflorescências devido á cristalização dos sais. Os sais tornam a secagem dos materiais mais lenta, prolongando a permanência da humidade no material e agravando os sintomas.

A degradação dos materiais porosos devido á cristalização de sais depende da conjugação de três fatores: a presença de sais solúveis e humidade, as propriedades do meio físico em que ocorre o processo e a existência de condições ambientais propícias à ocorrência de cristalização [27].

2.8.3.1. Influência da humidade relativa e da temperatura

A humidade relativa e a temperatura desempenham um papel muito importante no comportamento dos sais nos processos de absorção/cristalização. São agentes agressivos para os materiais porosos pois quando atuam em simultâneo proporcionam um agravamento nos danos dos materiais.

Os materiais de construção estão, muitas vezes, sujeitos a grandes mudanças de temperatura do ambiente pelo que devem ser estudadas as propriedades que intervêm na condução do calor, nomeadamente a condutibilidade térmica, o calor específico, a capacidade calorífica e a difusibilidade. A humidade relativa é muito inconstante no seu valor, variando conforme as condições do ambiente. Com estas indicações, um sal com uma determinada humidade de equilíbrio sob uma variação dos valores de temperatura e de humidade relativa do ambiente pode cristalizar e dissolver-se várias vezes por dia. Esta situação desgasta as superfícies dos materiais e gera pressões nos poros dos materiais.

Para evitar o problema da constante cristalização/dissolução dos sais, seria importante manter a HR constante, ou seja, acima ou abaixo da humidade relativa de equilíbrio dos sais presentes. Um clima com uma humidade relativa baixa e aproximadamente constante, para sais como o cloreto de sódio, com uma humidade relativa de equilíbrio de 75%, não levantaria problemas, pois não iria alterar o seu estado. Conhecendo a humidade relativa de equilíbrio dos sais puros seria possível controlar os estados dos sais deste modo. Contudo os sais não se encontram isolados, mas sim em misturas complexas o que dificulta o conhecimento da HR ideal em cada caso.

Verificamos que os sais mais comuns são: os carbonatos que sob a ação do dióxido de carbono se transformam em bicarbonatos, os cloretos que absorvem elevadas quantidades de água; os nitratos, de origem orgânica e os sulfatos, higroscópicos e solúveis, que cristalizam com um aumento do seu volume.

Os sais que vão ser estudados são: o cloreto de sódio (NaCl), formado por um átomo de cloro para um átomo de sódio. É fundamental para a vida animal e para a conservação de alimentos. O nitrato de sódio (NaNO₃), é possível encontrar na natureza em grandes quantidades e é um fertilizante muito usual e o sulfato de potássio (K₂SO₄), é muito utilizado como fertilizante e é muito solúvel em água.

No quadro 2.2 são apresentadas as humidades relativas de equilíbrio dos sais estudados:

Quadro 2.2 – HR de equilíbrio para os sais estudados a 20°C

Sal	HReq (%) a 20°C
NaCl	75
NaNO ₃	75
K ₂ SO ₄	98

2.8.3.2. Eflorescências e cripto-eflorescências

Um material de construção inclui sais solúveis na constituição dele como o cálcio e o magnésio que em contacto com sulfatos, cloretos ou nitratos e após cristalização dão origem a depósitos designados por eflorescências. Estes sais podem ter origens diferentes: os cloretos surgem nos rebocos devido á utilização de areias da zona costeira mal lavadas; os nitratos proveem de compostos orgânicos azotados com o reboco; os sulfatos têm origem nas chuvas ácidas ou produtos hidrófugantes presentes nas argamassas [28].

Após a evaporação da água saturada de sais à superfície dos materiais, os sais dissolvidos nela cristalizam. Aos depósitos desses cristais chamam-se eflorescências. Estas apresentam cor esbranquiçada facilmente removível como indica a figura 2.16.

Quando a cristalização ocorre dentro da superfície do material formam-se as já designadas cripto-eflorescências. O processo de evaporação da solução aquosa no interior do material produz esforços mecânicos no material causando danos na durabilidade e resistência do material [29].

É frequente encontrar eflorescências em locais de grande humidade relativa, como no interior dos compartimentos e em zonas onde ocorre humidade proveniente do terreno onde aparecem, por capilaridade, soluções salinas vindas do solo.



Figura 2.16 – Eflorescência provocada por humidade ascensional

2.8.4. PROCESSO DE CRISTALIZAÇÃO E MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

Foram efetuados estudos sobre quais os principais mecanismos de degradação provocados pelos sais. Entre eles destacam-se os estudos referentes à hidratação, à expansão devido à variação da temperatura e à pressão de cristalização. [30]

2.8.4.1. Expansão devido à variação da temperatura

A expansão devido à variação da temperatura é um mecanismo frequente de degradação dos materiais. O seu modelo teórico já foi confirmado em alguns edifícios com ciclos diários de variação de temperatura. É o caso do cloreto de sódio que expande 0,9 % entre os 0°C e os 100°C. Contudo este modelo não se consegue revelar em materiais sujeitos a temperaturas constantes, pelo que ainda não foi corroborado.

2.8.4.2. Pressão de cristalização

Os sais quando cristalizam crescem e preenchem os poros do material criando tensões entre eles e o material. A pressão exercida pelos sais cristalizados nos poros é experimentada também pelas paredes criando tensões mecânicas.

Porém existem algumas objeções, pois há questões por resolver para concluir o estudo deste mecanismo de degradação. Alguns modelos teóricos não se interligam completamente. Apesar de tudo, este mecanismo é o mecanismo mais aceite por parte da comunidade científica. [20]

2.8.4.3. Hidratação

A hidratação dos sais provoca a expansão destes, originando pressões nos poros e degradação dos materiais. A hidratação é induzida pela humidade relativa, ou seja, um material que esteja sujeito a ciclos diários de variação da humidade, ora hidratando ora desidratando, fica sujeito à degradação provocada pelos sais. Apesar de tudo, existem algumas contrariedades no que toca a sais que não têm a mesma reação quando hidratados.

2.8.5. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SAIS

Os sais quando cristalizam distribuem-se pelo elemento em que se encontram de acordo com a sua higroscopicidade e solubilidade. De acordo com a figura 2.17 verifica-se que os sais mais solúveis precipitam primeiro, a partir das águas subterrâneas que ascendem por capilaridade, como os sulfatos e carbonatos. Os sais mais solúveis e higroscópicos são transportados até zonas mais elevadas da parede sendo que, geralmente, apresentam cores mais escuras devido à presença contínua de humidade, como são exemplo os nitratos e os cloretos.

Assim, os cloretos são sais mais higroscópicos e solúveis logo migram até zonas mais elevadas na parede sendo que os sulfatos, menos higroscópicos e solúveis, aparecem em zonas mais baixas da parede.

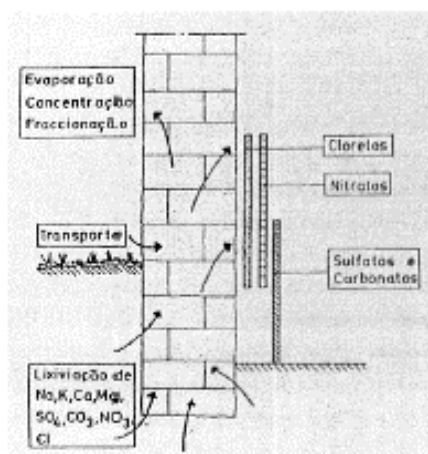


Figura 2.17 – Distribuição dos sais numa parede [20]

Exemplos de sais habitualmente presentes nos edifícios indicados no quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Sais comuns nas paredes de edifícios

Carbonatos		Sulfatos	
Calcite	CaCO_3	Gesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Bassanite	$\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Magnesite	$\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Epsomite	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Nesquehonite	$\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Hexahidrite	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Lansfordite	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Kieserite	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Hidromagnesite	$\text{Mg}_5[\text{OH}(\text{CO}_3)_4] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Derapsquite	$\text{Na}_3(\text{SO}_4)(\text{NO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$
Natron	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Mirabilite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Temonatrite	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Thernadite	Na_2SO_4
Nacolite	NaHCO_3	Arcanite	K_2SO_4
Trona	$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Bloedite	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Calicinite	KHCO_3	Picromerite	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
		Boussingaulite	$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Cloretos		Singenite	$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Bichofite	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Gorgeyite	$\text{K}_2\text{Ca}_5(\text{SO}_4)_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Antarcticite	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Aphthitalite	$\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$
Tachihidrite	$\text{CaMg}_2\text{Cl}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Ettringite	$\text{Ca}_5\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$
Halite	NaCl	Thaumasite	$\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6(\text{CO}_3)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Silvite	KCL	Nitratos	
		Nitrocalcite	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Oxalatos		Nitromagnesite	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Whewellite	$\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$	Nitrocalite	KNO_3
Weddellite	$\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$	Nitratrite	NaNO_3
		Amonionitrite	NH_4NO_3

3

EFEITO DAS SOLUÇÕES AQUOSAS SALINAS NA ABSORÇÃO E EVAPORAÇÃO DE ÁGUA – ESTUDO EXPERIMENTAL EM PROVETE

3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se, através dos resultados de ensaios realizados em laboratório, estudar a forma como diferentes tipos de sais dissolvidos em água com várias concentrações influenciam o coeficiente de absorção de água por capilaridade de materiais porosos. Para caracterizar e compreender o efeito da degradação e deterioração que estes sais provocam nos materiais ao longo do tempo realizaram-se ensaios de absorção capilar e posteriormente ensaios de secagem simulando um ciclo de embebição/secagem a que estes materiais correntes são submetidos. Os ensaios de absorção da água por capilaridade permitem registar a quantidade de água absorvida pelo material e graficamente obter a curva de absorção, permitindo o estudo desta propriedade. Com os ensaios de secagem procura-se estudar a capacidade de secagem do material através do gráfico da curva de evaporação do material.

A presença de sais torna este estudo mais complexo e interessante uma vez que o efeito destes nos materiais é praticamente desconhecido nas condições ensaiadas. Efetuaram-se ensaios com soluções aquosas salinas com diferentes concentrações em vez de água pura, e procurou-se estudar as alterações daí ocorridas. Em cada ensaio é apenas utilizado um sal. Nunca se utilizam misturas salinas uma vez que o objetivo é estudar o efeito de cada sal nos materiais. Elegeram-se três sais com humidades de equilíbrio iguais e diferentes para se poder estudar e comparar os efeitos resultantes: um cloreto, que absorve elevada quantidade de água, o cloreto de sódio (NaCl); um nitrato de origem orgânica, o nitrato de sódio (NaNO_3) e um sulfato, facilmente solúvel, que cristaliza com um aumento de volume, o sulfato de potássio (K_2SO_4). São sais vulgares que podem ser encontrados em águas freáticas, águas superficiais ou em solos com diferentes concentrações.

A importância de estudar cenários com diferentes concentrações de sal justificou o uso de duas concentrações de sal para cada solução aquosa: uma solução sobressaturada, permitindo à água absorver mais sal dissolvido do que poderia em condições normais ocorrendo precipitação do soluto; e uma solução com o sal a um terço da saturação, situação também corrente que permite avaliar as consequências nos resultados quando se altera a concentração.

Os materiais utilizados serão provetes de tijolo, betão e argamassa. Utilizaram-se três materiais correntes da construção portuguesa, correntes do mercado, cuja descrição vai ser detalhada à frente.

Este estudo procura responder a um conjunto de questões fundamentais: Qual o efeito dos sais no processo de absorção capilar e na altura atingida pela frente húmida? Terão eles algum tipo de efeito acelerador ou retardador na absorção capilar? Terão eles algum tipo de efeito de degradação dos

materiais e aumento dos poros ou um efeito de preenchimento estanque? Qual o comportamento destes materiais quando em contato em soluções aquosas salinas? Que tipo de evolução/degradação pode ocorrer?

A resposta a estas questões será objeto de análise.

O quadro 3.1 apresenta um esquema do trabalho experimental realizado. Este é iniciado com a impermeabilização dos provetes e respetiva secagem. Em seguida efetuam-se ensaios de absorção de água por capilaridade e de absorção de soluções aquosas salinas sobressaturadas e com um terço da saturação para cada sal. O ensaio de secagem dos provetes inicia-se após o ensaio de absorção capilar finalizando a campanha experimental.

Quadro 3.1 – Sequência de operações efetuadas para os ensaios realizados

Impermeabilização dos provetes	
Absorção capilar	1- Ensaio de absorção da água por capilaridade
	2- Ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal NaCl sobressaturado.
	3- Ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal NaCl com um terço da saturação.
	4- Ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal NaNO ₃ sobressaturado.
	5- Ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal NaNO ₃ com um terço da saturação.
	6- Ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal K ₂ SO ₄ sobressaturado.
	7- Ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal K ₂ SO ₄ com um terço da saturação.
Ensaio de secagem dos provetes	

Tanto o ensaio de absorção capilar como o ensaio de secagem seguem as normas sugeridas pelo LNEC para a realização destes, a RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures). Para o betão o ensaio de absorção capilar foi seguido pela norma “E393. *Determinação da absorção de água por capilaridade*. Especificação LNEC”. [21]. O ensaio de secagem remete-nos para a experiência “test no.II.5 Evaporation curve” [2], e o ensaio de absorção capilar remete-nos para a experiência “test no.II.6 Water absorption coeficiente(capillarity)”, [2]

3.2. ENSAIO DE CAPILARIDADE

3.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Na realização do ensaio de capilaridade foram selecionados os seguintes materiais:

Para tal foram utilizados doze provetes de cada material:

- Tijolo;
- Argamassa;
- Betão.

Três sais diferentes:

- Cloreto de sódio, (NaCl);
- Nitrato de sódio, (NaNO₃);
- Sulfato de potássio, (K₂SO₄).

Duas concentrações diferentes de cada sal:

- Sobressaturação;
- Um terço da quantidade de saturação do sal.

Em cada ensaio utilizaram-se dois provetes de cada material. Seria interessante dispor de um maior número de provetes para poder obter maior segurança e eliminar possíveis erros grosseiros. Todo o processo é realizado à temperatura ($T=20^{\circ}\text{C}$) e humidade relativa ($HR=65\%$) constantes no Laboratório de Física das Construções. Uma vez que se tratam de sete ensaios indicados no quadro 3.1 e se representa cada material com dois provetes, seriam necessários catorze provetes para cada material. Contudo só foi possível adquirir doze provetes de cada material, sendo que os provetes utilizados no ensaio de absorção da água por capilaridade foram secos em estufa e reutilizados para o ensaio de absorção capilar da solução salina aquosa com o sal K₂SO₄ com um terço da saturação.

Foi necessário um grande esforço para obter o material requerido e para conseguir realizar a campanha experimental. No tempo disponível o número de provetes a secar bem como o tempo necessário para os provetes secarem são exemplos dessas dificuldades.

3.2.2. PROVETES

Os provetes utilizados são produtos correntes do mercado que apresentam irregularidades provenientes da falta de rigor na sua construção. Conforme indicam as figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, alguns provetes apresentavam irregularidades como fissuras, manchas, pinturas, bolhas de ar e faces inclinadas. A presença de fissuras e de faces inclinadas, com maior incidência nos tijolos, pode ser devido à fase de corte a que este material foi sujeito. As manchas presentes nas argamassas são devido ao facto de estes provetes ainda não terem secado completamente, pois foram concebidos poucos dias antes de se fotografarem. De acordo com o esperado essas manchas desapareceram ao longo do tempo, com estes provetes a ser condicionados num ambiente com características constantes. As bolhas de ar evidentes nos provetes de betão provavelmente serão devidas à má compactação deste enquanto as marcas de tinta serão oriundas da marcação dos mesmos. Estas condições influenciam negativamente os resultados dos

ensaios comparando com os resultados de ensaios de provetes fabricados em laboratório, elaborados com maior cuidado. Os provetes que apresentavam melhores condições foram os provetes de tijolo, seguidos dos de argamassa e por último os de betão.



Figura 3.1 – Provetes de betão com presença de tinta na face superior



Figura 3.2 – Provetes de tijolo com irregularidades, provenientes da desagregação de um vértice

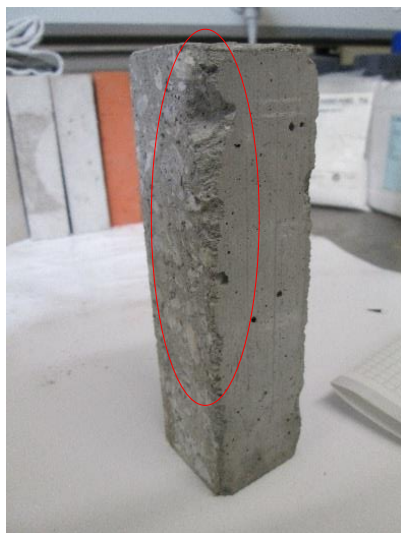


Figura 3.3 – Faces rugosas do provete



Figura 3.4 – Presença de manchas de humidade nalguns provetes de argamassa

A designação dada a cada provete inclui a letra inicial do material desse provete e um algarismo que identifica o número do próprio provete. Ex: T1- Provete de Tijolo número 1. Na figura 3.5 é possível observar a identificação utilizada.

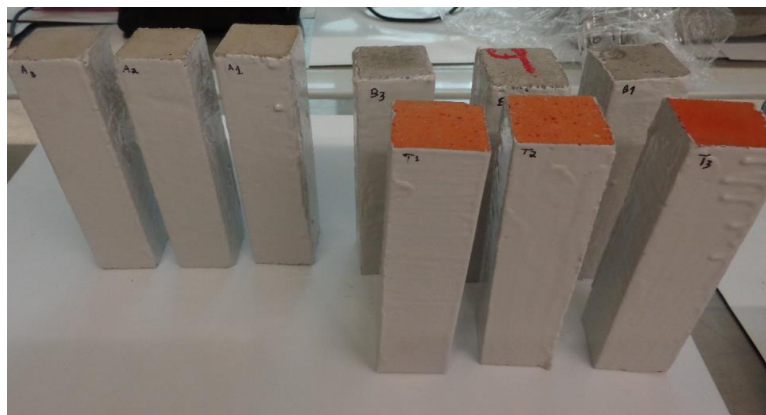


Figura 3.5 – Numeração dos provetes

As dimensões dos provetes não são as definidas na norma da RILEM. As dimensões foram definidas com o objetivo de conseguir obter os provetes idênticos. Tratam-se de amostras paralelepípedicas com um valor da medida da altura três vezes superior aos restantes para que os materiais pudessem absorver as soluções aquosas. O quadro 3.2 resume a designação e geometria das amostras:

Quadro 3.2 – Características das amostras

Amostra	Nº de provetes	Numeração dos provetes	Dimensões [cm]		
			Altura	Espessura	Largura
Tijolo	12	T1,T2,T3,T4,T5,T6, T7,T8,T9,T10,T11,T12	16	4	4
Betão		B1,B2,B3,B4,B5,B6, B7,B8,B9,B10,B11,B12	15		
Argamassa		A1,A2,A3,A4,A5,A6, A7,A8,A9,A10,A11,A12	16		

3.2.2.1. Tijolo

O tijolo é cerâmico maciço com características correntes no mercado de dimensões 23x11x7 centímetros proveniente de uma fábrica de cerâmica. É um tijolo com elevada massa e densidade, e por isso com um bom comportamento acústico e resistente ao fogo conforme menciona o catálogo de fábrica [6]. Estes blocos foram dimensionados através do corte para obter as amostras de 15x4x4 centímetros pretendidas, como indica a figura 3.6. Foram entregues doze unidades deste material.



Figura 3.6 – Provetes de tijolo antes dos ensaios

3.2.2.2. Betão

Os provetes de betão adquiridos (15x4x4 centímetros) foram transportados da central de betão de Viseu para uma obra, local onde se moldaram. O betão em causa serviria para betonar um muro de suporte da obra. As características deste estão indicadas no quadro 3.3:

Quadro 3.3 – Características do betão

Classe de resistência	Consistência	Classe de exposição	Tipo de cimento	Data de fabrico
C25/30	S3	XC2	CEM II A-L 42,5R	22/02/2013

As características do betão estão de acordo com os catálogos da APEB (Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto), [31]: classe de resistência à compressão (N/mm²) C25/30. Esta classificação está relacionada com o ambiente que o material vai estar sujeito ao longo da sua vida útil; classe de consistência (S3) está associada à consistência do betão. Um betão S3, de acordo com o ensaio de abaixamento indicado no catálogo da APEB terá entre 100 a 150 mm de abaixamento. Nos dados recebidos acerca deste material que estão apontados no anexo I, o betão terá correspondido com 130 mm de abaixamento, ou seja, um valor na gama indicada; Para a classificação das ações ambientais, a classe de exposição XC2 remete para um betão sujeito a longos períodos em contacto com a água ou um betão de fundações, aplicado em ambientes húmidos ou raramente secos. Trata-se de um betão com perigo de corrosão induzida por carbonatação, ou seja, por ataques sobre as armaduras ou metais embebidos; O cimento adicionado neste betão, o CEM II A-L 42,5R, é um cimento Portland de calcário proveniente de Souselas e apresenta elevada resistência e uma boa trabalhabilidade. A sua resistência à compressão aos vinte e oito dias é de 42,5MPa. É indicado para betão C25/30.

Como foram fornecidas dezoito amostras procedeu-se à eliminação das amostras que apresentavam maior número de anomalias para obter melhores resultados. Identificadas as irregularidades mais relevantes como bolhas de ar, marcas de tinta e rugosidades foram selecionados os doze provetes em

melhores condições. Provavelmente as bolhas de ar terão surgido devido á má compactação do betão. Na figura 3.7 apresenta-se um exemplo de um provete que foi excluído.



Figura 3.7 – Provete de betão com bolhas de ar e faces rugosas

3.2.2.3. Argamassa

Os provetes de argamassa (figura 3.8) moldaram-se num pavilhão de fabrico, em moldes com 16x4x4 centímetros e com traço 1:1:5, (cal, cimento, areia fina). O traço da argamassa indica o volume e os diferentes materiais que compõem a argamassa sendo que essas características são escolhidas de acordo com o fim pretendido para a argamassa. O traço, 1:1:5, refere que para conceber esta argamassa será necessário um volume de cal e de cimento para cinco de areia. Esta argamassa foi concebida para aplicações em acabamentos de rebocos exteriores, tendo em conta a massa de areia fina.



Figura 3.8 – Provete de argamassa antes dos ensaios

Foi utilizado o cimento Portland de calcário CEM II/B-L 32,5N, indicado para todo o tipo de argamassas [32]. A cal hidráulica utilizada HL5, tem a propriedade de ganhar presa e endurecer em água e é aplicada em argamassas de assentamento, enchimento, reboco e acabamento [33]. A areia fina utilizada é

proveniente de Zamora e comum ser utilizada para rebocos em geral. Antes de utilizada deve ser limpa para retirar as impurezas. A sua curva granulométrica está indicada no anexo II.

A concepção destes provetes foi acompanhada e é apresentada nas figuras 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16. Agrupou-se todo o material auxiliar necessário como peneiros e moldes para o trabalho; peneirou-se a areia fina e registou-se os valores de modo a obter a sua curva de granulometria. Anexo I; adicionou-se a cal, o cimento e a areia nas quantidades necessárias para obter o traço pretendido, 1:1:5; misturou-se os constituintes, adicionou-se água e voltou-se a misturar; obteve-se uma pasta de argamassa que foi cuidadosamente colocada nos moldes para secar; passados alguns dias, a argamassa estava seca e pronta a usar.



Figura 3.9 – Material auxiliar necessário à sua concepção: moldes, peneiros



Figura 3.10 – Adição dos constituintes nas proporções exatas



Figura 3.11 – Homogeneização dos constituintes



Figura 3.12 – Adição de água



Figura 3.13 – Formação da argamassa



Figura 3.14 – Colocação da argamassa nos moldes



Figura 3.15 – Secagem da argamassa



Figura 3.16 – Provetes no estado final

3.2.3. SAIS

Os sais selecionados apresentam-se sob a forma de cristais em embalagens devidamente identificadas no LFC - laboratório de Física das Construções, como indica a figura 3.17.

Elegeram-se dois sais com humidade de equilíbrio iguais (75 %) à temperatura de 20°C: o cloreto de sódio (NaCl) e o nitrato de sódio (NaNO_3), com o objetivo de analisar o comportamento de sais com esta característica em comum. O terceiro sal escolhido, com humidade de equilíbrio diferente (95 %) à temperatura de 20°C, foi o sulfato de potássio (K_2SO_4). Este servirá para comparar com os restantes que não têm a mesma humidade de equilíbrio. É determinante estudar a humidade relativa nos sais, pois é um fator que influencia o seu comportamento: A humidade relativa pode alterar o sal, levando-o a cristalizar e a dissolver [20]. Como os ensaios vão decorrer sempre no mesmo ambiente, no Laboratório de Física das Construções, com temperatura e humidade relativa constantes, essa variação não vai ser identificada.

A importância de estudar diferentes concentrações de sal leva ao uso de duas concentrações de sal para cada solução aquosa: uma solução será aquosa sobressaturada, permitindo à água absorver mais sal dissolvido do que poderia em condições normais ocorrendo precipitação do soluto e uma solução aquosa salina com o sal a um terço da saturação, situação também corrente que permite avaliar e comparar resultados. É possível estudar o comportamento do sal com máxima concentração e com um terço da saturação. Obtém-se valores de referência com a água, valores intermédios com a concentração do sal a um terço da saturação e valores elevados com a máxima saturação possível, sendo possível comparar e

tirar conclusões interessantes. Segundo a RILEM [2], a opção pela água destilada garante a utilização de água pura e isenta de sais, o que permite obter os resultados procurados.



Figura 3.17 – Embalagens dos sais

Os sais foram aplicados em soluções aquosas salinas com duas concentrações: sobressaturação e um terço da saturação, sendo necessário saber os valores da saturação dos sais. A interpretação dos valores é definida deste modo: num litro de solvente (água destilada) é possível dissolver trezentas e sessenta gramas de cloreto de sódio, atingindo-se assim a sua capacidade máxima de dissolução.

Os valores da sobressaturação foram calculados adicionando ao valor de saturação um terço deste. Para um terço da saturação foram calculados valores da dissolução com um terço do valor de saturação. As quantidades obtidas dos sais para satisfazer uma solução sobressaturada e uma solução com um terço da saturação estão indicados no quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Concentrações de sais utilizadas [34]

Sal	Saturação [g/l]	Sobressaturação [g/l]	Um terço da saturação [g/l]
NaCl	360	480	120
Nano3	874	1168	292
K2So4	111	148	37

Na obtenção das soluções aquosas salinas pretendidas adicionou-se cada sal na concentração exata, pesado na balança, ora para atingir a sobressaturação ora para atingir um terço da saturação, como representa a figura 3.18. A sobressaturação é produto da precipitação do sal, ou seja, o solvente não consegue dissolver mais soluto á temperatura considerada e fica precipitado no recipiente. Para acelerar o processo de dissolução ou caso o soluto não se esteja a dissolver como o esperado, aumenta-se a temperatura do sistema, o que provoca a agitação das partículas e a dissolução mais rápida do sal. Para atingir a sobressaturação e dissolver o nitrato de sódio, como não foi possível dissolver à temperatura ambiente, colocou-se o recipiente em banho-maria com a água a ferver para dissolver o sal. A figura 3.19 mostra os recipientes com as soluções.

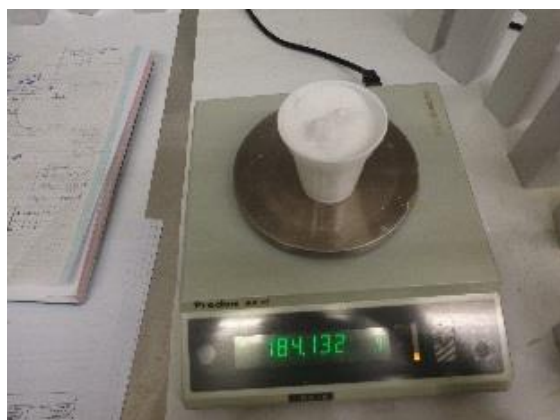


Figura 3.18 – Pesagem da concentração de sal



Figura 3.19 – Recipientes com as concentrações aquosas salinas

O quadro 3.5 apresenta a listagem de provetes de acordo com a quantidade do sal adicionado.

Quadro 3.5 – Listagem dos provetes em função do sal

Amostra	Água destilada	Cloreto de sódio		Nitrato de sódio		Sulfato de potássio	
		Sobressat. [g/l]	Um terço da saturação [g/l]	Sobressat. [g/l]	Um terço da saturação [g/l]	Sobressat. [g/l]	Um terço da saturação [g/l]
Tijolo	T1,T2	T3,T4	T5,T6	T7,T8	T9,T10	T11,T12	T1*,T2*
Betão	B1,B2	B3,B4	B5,B6	B7,B8	B9,B10	B11,B12	B1*,B2*
Argamassa	A1,A2	A3,A4	A5,A6	A7,A8	A9,A10	A11,A12	A1*,A2*

*Os provetes T1,T2,B1,B2,A1,A2 foram reutilizados no ensaio de absorção capilar do K_2SO_4 após secagem em estufa.

3.2.4. PREPARAÇÃO DOS PROVETES

Após identificação dos provetes, foram impermeabilizados nas faces laterais com uma resina epoxi bicomponente, (figura 3.19). Esta resina foi escolhida tendo em conta os resultados demonstrados em trabalhos anteriores, principalmente na impermeabilização face à água [22], [8]. Para obter a resina foi necessário adicionar dois componentes na razão aproximadamente de 4:1, ou seja, adicionou-se quatro doses do componente A e uma do componente B. Estes valores pesaram-se numa balança como indica a figura 3.20. Colocou-se papel de pintor de parede nas faces inferior e superior para evitar que qualquer quantidade de tinta pintasse as faces (figura 3.22). Pintaram-se duas faces de cada vez e para secarem colocaram-se os provetes em suportes com as faces voltadas para cima, como se apresenta na figura

3.22. A resina aplicou-se em duas camadas, dadas em sentidos cruzados com intervalo de aproximadamente vinte e quatro horas. De acordo com a figura 3.23, a aplicação efetuou-se com um rolo de pintor. O material auxiliar utilizado e já descrito está indicado na figura 3.24.

Terminada a pintura, os provetes são deixados a secar em ambiente constante durante aproximadamente cinco dias para a tinta aplicada ficar bem seca, figura 3.22. Em seguida os provetes são pesados e colocam-se em estufa durante aproximadamente três dias para estabilizar a sua massa (figura 3.25).

A estufa garante 50°C positivos e humidade relativa de 65%. Todas as pesagens foram realizadas numa balança e os valores das pesagens encontram-se no anexo III.



Figura 3.19 – Componente A e B da resina



Figura 3.20 – Pesagem dos componentes



Figura 3.21 – Papel de pintor de parede das faces inferior e superior

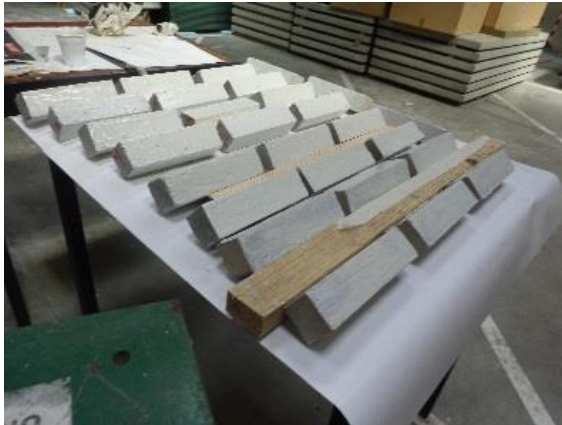


Figura 3.22 – Secagem dos provetes



Figura 3.23 – Pintura das faces do provete com o rolo de pintor



Figura 3.24 – Material auxiliar de pintura



Figura 3.25 – Provetes acondicionados em estufa

3.2.5. COEFICIENTE DE ABSORÇÃO CAPILAR

3.2.5.1. Procedimento experimental

A determinação experimental do coeficiente de capilaridade consiste em colocar os provetes em contacto com a água, medindo-se a variação da massa em função da raiz quadrada do tempo, caracterizando assim a absorção de água dos materiais nas soluções pretendidas [5].

O ensaio representado na figura 3.26, realizou-se com base na norma de determinação do coeficiente de absorção de água “test no. II6 water absorption coefficient (capilarity)” da RILEEM, [2], com ligeiras modificações em relação às dimensões dos provetes e aos tempos de absorção dos provetes de betão. As dimensões dos provetes foram as possíveis de obter, de modo a que todos os provetes fossem idênticos. Para os tempos de absorção dos provetes de betão seguiu-se a norma E393 do LNEC [21].

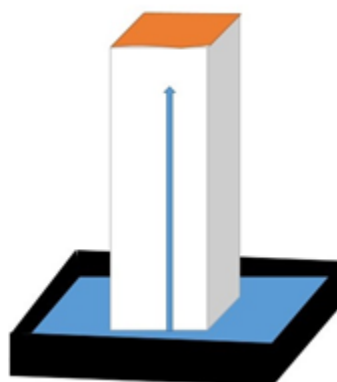


Figura 3.26 – Representação do ensaio de absorção capilar

O procedimento realizado consiste, inicialmente, em secar todos os provetes, já impermeabilizados, numa estufa ventilada a uma temperatura de 50°C até atingirem massa constante (aproximadamente três dias) (figura 3.27), registrando-se todas as pesagens numa balança com precisão 0,001gramas como indica a figura 3.28. Depois de se retirar os provetes da estufa, aguardar-se aproximadamente uma hora para o provete estabilizar iniciando-se o ensaio de absorção capilar. O ensaio termina quando a variação entre a massa inicial e final não for superior a 0,1% da massa do provete seco.



Figura 3.27 – Provetes acondicionados em estufa



Figura 3.28 – Pesagem do provete

Os provetes foram colocados em absorção parcial com (3 ± 1) mm de água destilada numa caixa de plástico de base plana, sob suportes, conforme ilustra a figura 3.29. Para não prejudicar a absorção dos provetes, estes são imersos de forma inclinada evitando a formação de bolhas de ar em contacto com a face de absorção. Os provetes foram mantidos dentro de caixas plásticas fechadas para evitar a evaporação da água durante o ensaio. A altura da água foi controlada e reposta sempre que necessário.

As pesagens foram efetuadas retirando o provete da caixa onde se encontrava, e após uma limpeza rápida com um pano húmido, sendo pesado e recolocado de novo na tina em contato com a água. A base do provete deve ser limpa com um pano húmido antes da pesagem para absorver a água em excesso.



Figura 3.29 – Provetes no decorrer dos ensaios de absorção capilar

As pesagens dos provetes realizaram-se em intervalos de tempo estipulados, de acordo com o material em questão:

- Tijolo: 1,3,5,10,15,30,60,480 e 1440 minutos ($\pm 5\%$), de acordo com especificações do RILEM; [1]
- Betão: 5,10,20,30,60,90,120,180,240,300 e 1440 minutos ($\pm 5\%$), de acordo com especificações do LNEC da norma “ E393. *Determinação da absorção de água por capilaridade.*” [25]
- Argamassa: 2,5,10,15,30,45,60,180,240,360,420 e 1440 minutos ($\pm 5\%$), de acordo com especificações do RILEM. [2]

A norma RILEM é indicada para materiais como argamassas e tijolos, pelo que se utilizou a norma E393 para os ensaios de absorção capilar e provetes de betão. A norma E393 é uma norma indicada especificamente para ensaios com betão.

Como os provetes testados apresentam alturas superiores às referenciadas pela RILEM, demoraram mais a tempo a absorver as soluções aquosas, pelo que além das vinte e quatro horas se continuou a pesar os provetes em intervalos de vinte e quatro horas até as curvas de absorção estabilizarem, como indicada a figura 3.30.

Através dos valores obtidos das pesagens, elaboraram-se gráficos expressando a quantidade de água absorvida por unidade de área (kg.m^2) em função da raiz quadrada do tempo decorrido ($t^{0,5}$), segundo a equação (6).

$$M = C \cdot t^{0,5} \quad (7)$$

Onde:

M – é a quantidade de água absorvida (kg.m^2);

T – é o tempo decorrido (s);

C – Coeficiente de absorção ($\text{kg.m}^2.\text{s}^{0,5}$).

Quando o material poroso está em contato com a solução aquosa, esta é adsorvida e penetra nos seus poros. Numa primeira fase o provete absorve a solução aquosa de uma forma constante até que essa absorção começa a abrandar e a ser praticamente nula. A absorção estabiliza quando o fluxo absorvido iguala a evaporação total, ou seja, quando a quantidade de água que entra é igual à quantidade de água que sai [18]. O coeficiente de absorção capilar é indicado pela inclinação do primeiro troço linear reto da curva obtida no gráfico (cinco primeiros pontos). Este troço reto é ajustável por uma reta segundo o método dos quadrados mínimos. Trata-se de uma técnica de otimização matemática que procura encontrar o melhor ajuste para o conjunto de dados. O coeficiente de correlação, chamado de R^2 é uma medida do grau de qualidade do modelo. Quanto mais próximo o valor de R^2 é de 1, melhor é a relação das variáveis. Na figura 3.30 apresenta-se o gráfico característico com o eixo das ordenadas a indicar a quantidade de água absorvida por unidade de área (kg/m^2) e a raiz quadrada do tempo decorrido ($t^{0,5}$) representado no eixo das abcissas. A curva de absorção está representada com a reta aproximadamente linear no início e o patamar característico no fim.

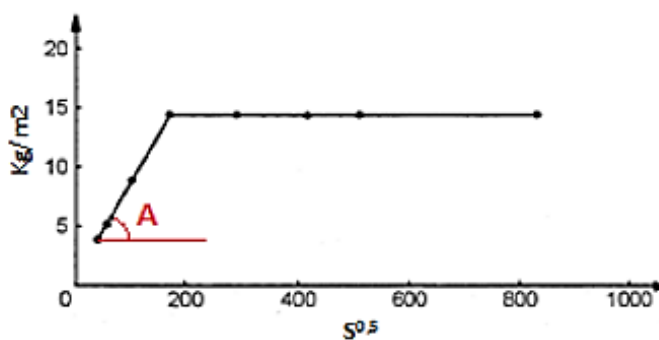


Figura 3.30 – Gráfico tipo dos ensaios de absorção capilar, [12]

Numa primeira fase, com o objetivo de corrigir possíveis falhas e erros, realizou-se um ensaio piloto de um betão apenas em água. Correção de tempos, falhas de material e prática no reconhecimento da norma permitiram retirar uma primeira impressão do que o trabalho experimental exigiria. Os resultados deste ensaio encontram-se no anexo III.

3.2.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.2.6.1. Introdução

Os resultados do ensaio de capilaridade estão organizados de acordo com o material em estudo. Para cada tipo de solução aquosa salina apresentam-se as curvas de absorção capilar dos provetes e uma tabela com os valores individuais do coeficiente de capilaridade utilizando os cinco primeiros pontos, a média destes, o desvio padrão e o coeficiente de variação. O uso do desvio padrão permite estudar os valores obtidos analisando a dispersão que existe em relação à média e o uso do coeficiente de variação quantifica a precisão dos resultados em percentagem. Este último é calculado dividindo o desvio padrão pela média.

O facto do valor do coeficiente de variação ser elevado não significa que os ensaios tenham sido mal realizados, apenas indicam que a conformidade entre eles é ou não é próxima. Com um coeficiente de variação próximo de zero é mais fácil obter um padrão de estudo. Dois provetes do mesmo ensaio podem

ter sido bem ensaiados, com coeficientes de correlação próximos de 1, e não ter um coeficiente de variação próximo de zero. Isto porque cada provete pode apresentar características distintas.

O facto de se utilizar uma precisão até á milésima da grama também pode indicar maiores desvios de resultados.

Os gráficos foram obtidos com valores do coeficiente de correlação linear elevados. Uma vez que o ensaio de absorção de água por capilaridade, na ausência de sais, é um ensaio comum efetuou-se a comparação dos valores obtidos com outros autores [18]. Para as soluções aquosas salinas, uma vez que ainda não existe informação concreta sobre o seu comportamento não é possível efetuar comparação. Os valores dos ensaios com a água destilada foram comparados e confirmados com valores já publicados [35].

O facto de apenas serem utilizados dois provetes em cada ensaio pode limitar a certeza dos resultados obtidos. Também o facto de os provetes serem de origem comercial prejudica a fiabilidade por valores comparando com ensaios realizados com provetes concebidos em laboratório.

Observações relativas à curva de absorção, coeficiente de absorção capilar e sua precisão, velocidade de absorção, comparação com as diferentes quantidades de sal nas soluções e características dos sais são aspetos tratados. No final resumem-se e analisam-se os dados obtidos.

3.2.6.2. Absorção capilar do tijolo

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente em água destilada são apresentados na figura 3.31 e quadro 3.6.

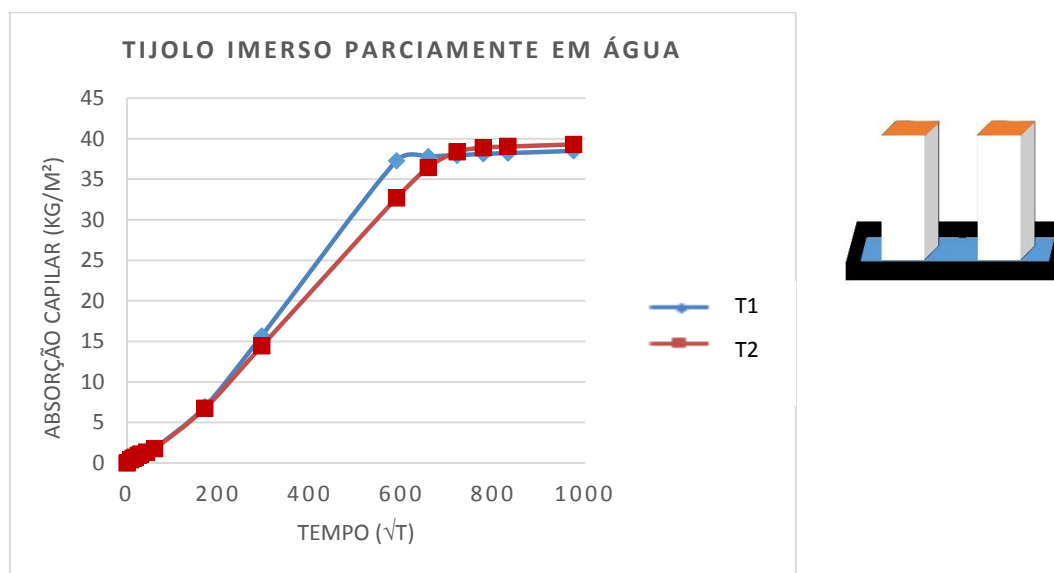


Figura 3.31 – Absorção capilar do tijolo imerso em água

Quadro 3.6 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso em água

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T1	0,0290			
T2	0,0323	0,0307	0,0023	7,6

Da análise da figura 3.31 e do quadro 3.6 verifica-se que a absorção capilar destes provetes é bastante próxima. Por comparação com valores indicados no quadro de valores existente no LFC da FEUP (quadro 3.7) [35], conclui-se que o valor obtido $C=0,0307 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ se encontra na gama dos tijolos, mais próximo do “barro vermelho 2” com um valor de $C=0,023 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$. Comparou-se o resultado obtido com a referência de [5], $C=0,05 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, podendo concluir que é um valor relativamente próximo.

Quadro 3.7 – Quadro de valores do coeficiente de absorção capilar do LFC - Tijolos

Materiais	Coeficiente de capilaridade	
	$\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}}$	$\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$
Barro Vermelho 1	0,013	0,78
Barro Vermelho 2	0,023	1,38
Barro Vermelho 3	0,082	4,93
Barro Vermelho 5	0,070	4,20

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada são apresentados na figura 3.32 e quadro 3.8.

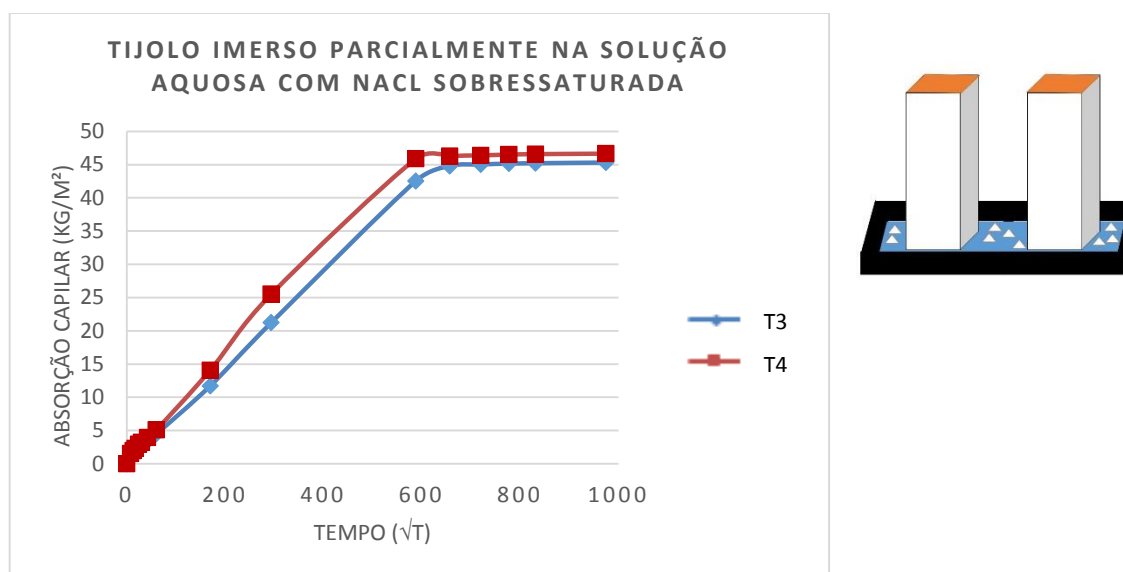


Figura 3.32 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada

Quadro 3.8 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m².s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T3	0,0725	0,0760	0,0040	5,6
T4	0,0785			

Estudando os valores obtidos na figura 3.32 e no quadro 3.8, os provetes apresentam um comportamento muito semelhante entre si, com o valor do coeficiente de absorção capilar médio, $C=0,076 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, bastante preciso.

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio são apresentados na figura 3.32 e quadro 3.9.

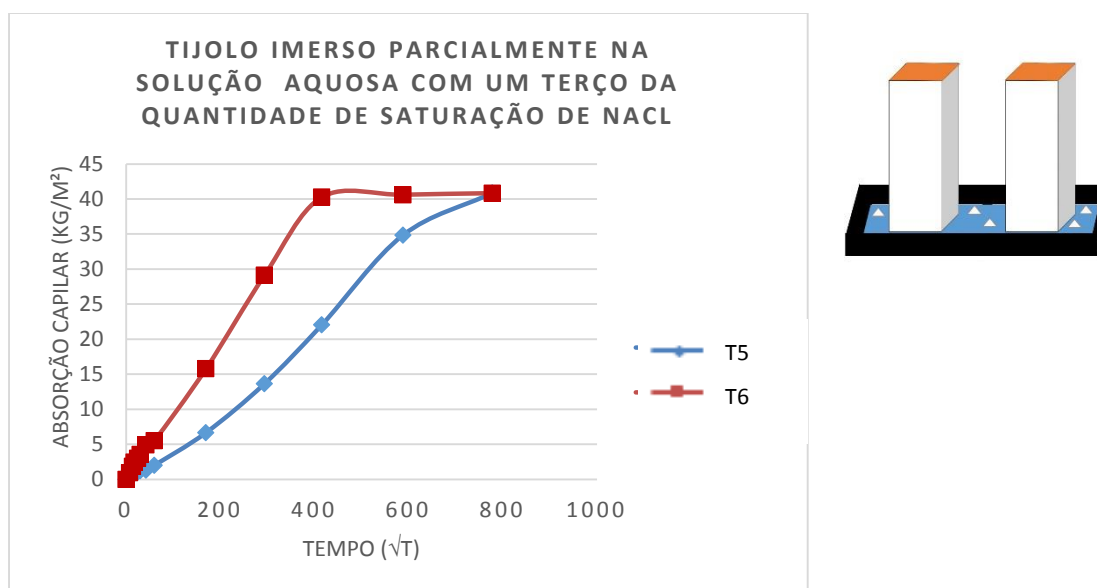


Figura 3.33 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio

Quadro 3.9 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m².s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T5	0,0403			
T6	0,1125	0,0760	0,0510	66.8

Com um coeficiente de variação de 67%, o coeficiente de absorção capilar, $C=0,076 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, não corresponde a um valor correto pois a dispersão é muito significativa. Assim sendo, não é possível validar este valor. Será necessário efetuar novos ensaios para confirmar esta informação.

Contudo, com os valores dos coeficientes de capilaridade dos ensaios anteriores, é possível estabelecer uma gama para o valor que se deveria obter. Consideremos que a margem do valor do coeficiente de capilaridade para este caso deveria estar entre o valor do coeficiente de capilaridade em água, $C=0,0307 \text{ kg/m}^2$, e o valor do coeficiente de capilaridade com NaCl sobressaturado, $C=0,0760 \text{ kg/m}^2$, por ser resultado de uma solução com um terço do valor da saturação do sal. De acordo com a figura 3.34, seria possível validar o valor obtido com o provete T5, $C=0,0403 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, por se tratar de um valor que respeita esta análise.

As curvas de absorção da figura 3.33 não apresentam um patamar evidente pois o ensaio foi interrompido ao oitavo dia. Contudo a variação de massa do provete T5 seria praticamente nula e a curva de absorção apresentaria um patamar nos próximos pontos.

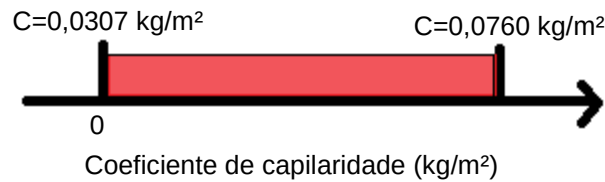


Figura 3.34 – Ilustração da gama possível para o coeficiente de capilaridade de um terço da saturação do sal

Considere-se que a velocidade de absorção é diretamente proporcional ao valor do coeficiente capilar e à inclinação da reta formada pelos cinco primeiros pontos. O provete T6 apresenta uma velocidade de absorção extremamente rápida, e superior aos valores do ensaio com a solução sobressaturada, o que contraria o esperado. ($0,1125 > 0,0760$) Uma possível causa poderá ser a sua rede porosa. A rede porosa do provete T6 deve apresentar poros com diâmetro maior. Daí a influência da não conformidade da estrutura dos provetes ser relevante e influenciar os resultados.

De acordo com a análise que se efetuou, no tijolo, o cloreto de sódio influencia a absorção capilar, acelerando o processo de absorção, como mostra a figura 3.34 ($0,0307 < 0,0403 < 0,0760$). Uma consequência clara é que a curva de absorção atinge o patamar mais rápido com este sal, como é possível ver nas figuras 3.31, 3.32 e 3.33. Confirma-se portanto a informação indicada em [16], que refere que os cloretos absorvem elevadas quantidades de água.

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturada são apresentados na figura 3.35 e quadro 3.10.

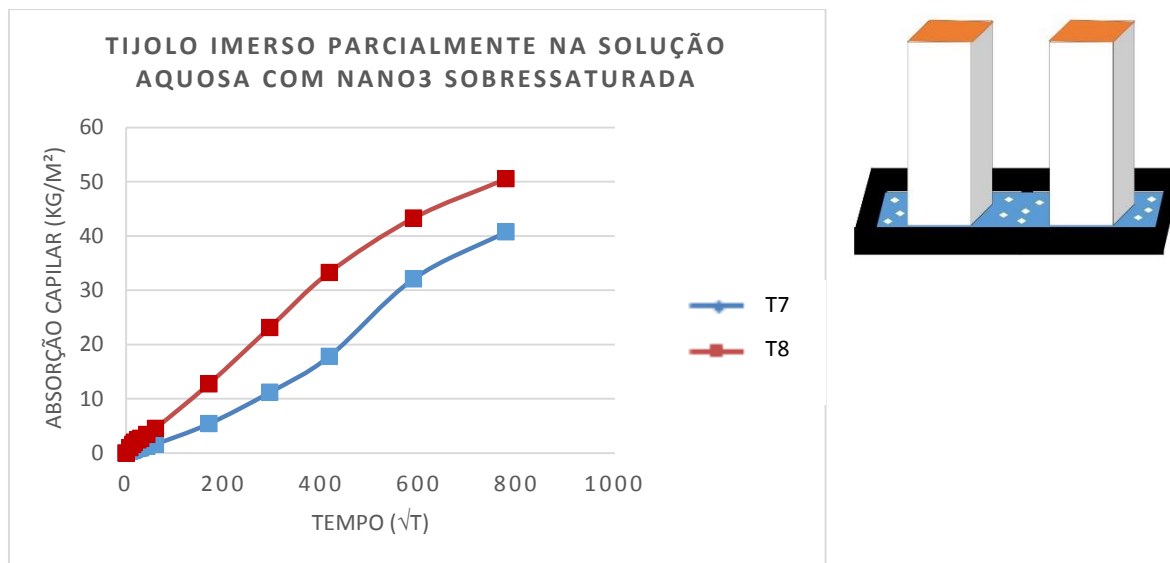


Figura 3.35 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturada

Quadro 3.10 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T7	0,0271			
T8	0,0766	0,0520	0,0035	67,5

A figura 3.35 e o quadro 3.10 indicam o valor do coeficiente de absorção capilar obtido, $C=0,052 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ com uma dispersão muito relevante na ordem dos 67,5%. Trata-se de outra situação com uma dispersão tão elevada onde não é possível validar os resultados. Seria necessário voltar a realizar o ensaio para validar os resultados.

Por limitação do tempo foram antecipadamente retirados os provetes para secagem, apesar dos provetes ainda estarem a absorver pequenas quantidades da solução aquosa. A curva de absorção entraria em patamar brevemente.

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio são apresentados na figura 3.36 e quadro 3.11.

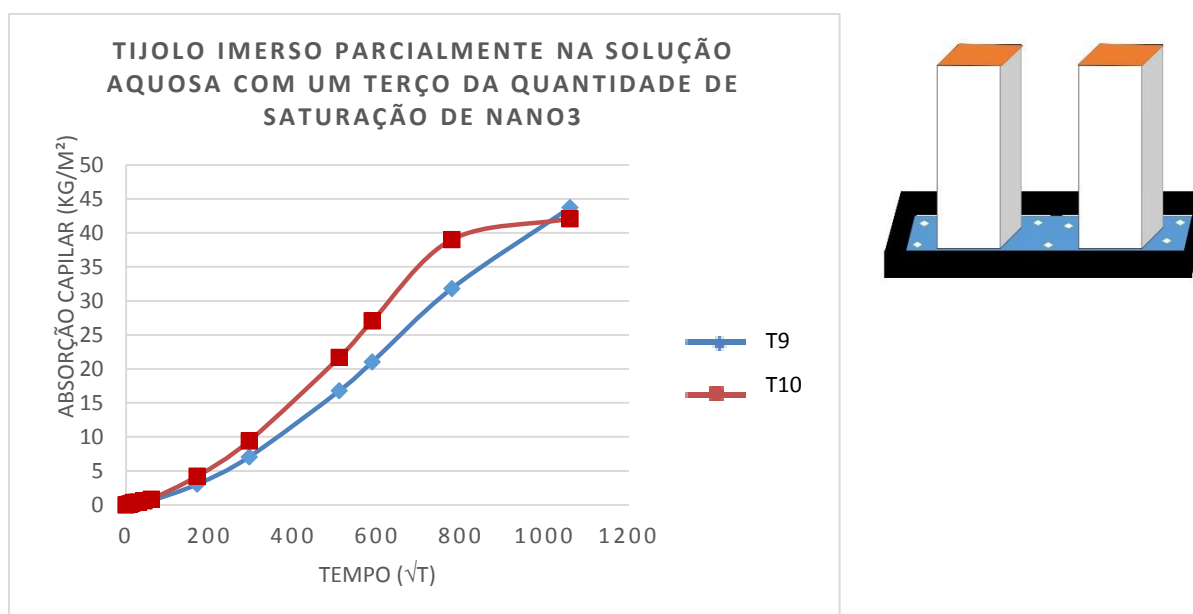


Figura 3.36 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio

Quadro 3.11 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T9	0,0110			
T10	0,0127	0,0119	0,0012	10,1

Os valores obtidos neste ensaio indicam um valor do coeficiente de absorção capilar de $0,0119 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, com uma dispersão de valores pequena, da ordem dos 10%. Também este ensaio foi interrompido antes do tempo.

Para avaliar o efeito do nitrato de sódio no tijolo, compararam-se os valores dos coeficientes de absorção capilar das soluções aquosas com este sal.

Sendo o valor do coeficiente da absorção capilar da água, $C=0,0307 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, e o valor do coeficiente de absorção capilar da solução com um terço da saturação, $C=0,0119 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, e sendo estes valores credíveis, adicionando mais sal à solução o valor do coeficiente de absorção capilar vai diminuir. Sendo assim a gama de valores para uma solução sobressaturada seria inferior a $0,0199 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, como indica a figura 3.37. Contudo esta gama não é confirmada por nenhum provete desse ensaio.



Figura 3.37 – Ilustração da gama possível para o coeficiente de capilaridade da solução sobressaturada do nitrato de sódio.

Seria necessário voltar a realizar estes ensaios para confirmar os valores apresentados. Sendo os valores do coeficiente de absorção capilar da água e da absorção capilar da solução aquosa com um terço da saturação valores com uma faixa de erro tão pequena, é possível considerar que o valor do coeficiente de absorção capilar da solução sobressaturada será menor que estes.

Pressupõem-se então que este sal colmate os poros dos provetes e reduza a velocidade de absorção.

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa de sulfato de potássio sobressaturado são apresentados na figura 3.38 e e quadro 3.12.

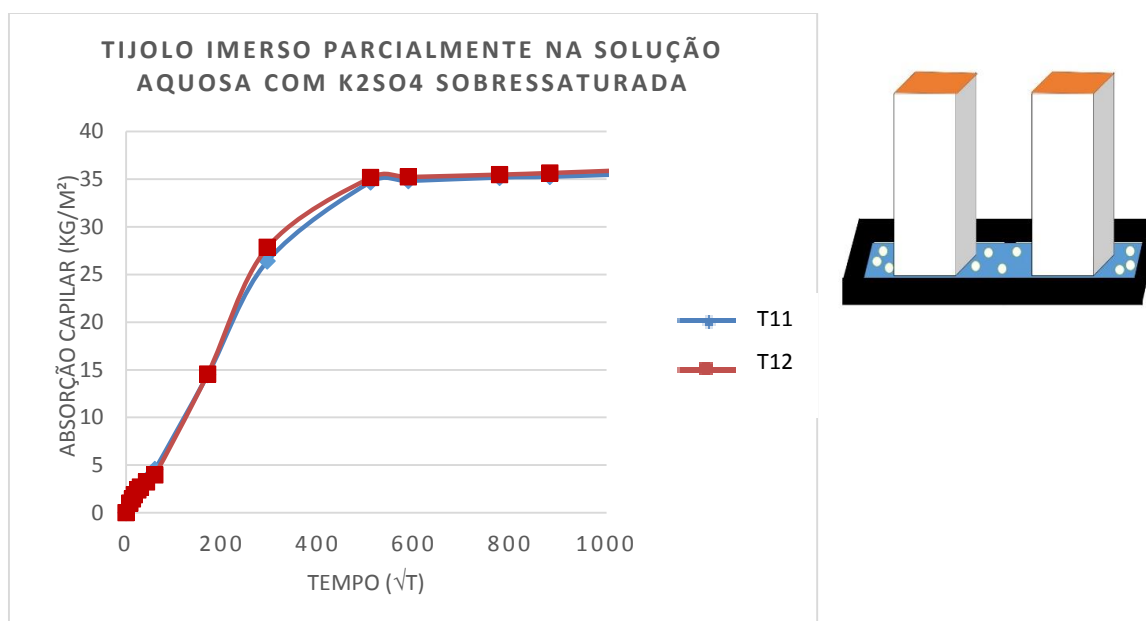


Figura 3.38 – Absorção do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturada

Quadro 3.12 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T9	0,0816	0,0795	0,003	3,7
T10	0,0774			

Os valores obtidos neste ensaio apontam para um coeficiente de absorção capilar, $C=0,0795 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, bastante preciso. Trata-se de um valor superior ao valor obtido da absorção capilar da água.

Os resultados do ensaio de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio são apresentados na figura 3.39 e quadro 3.13.

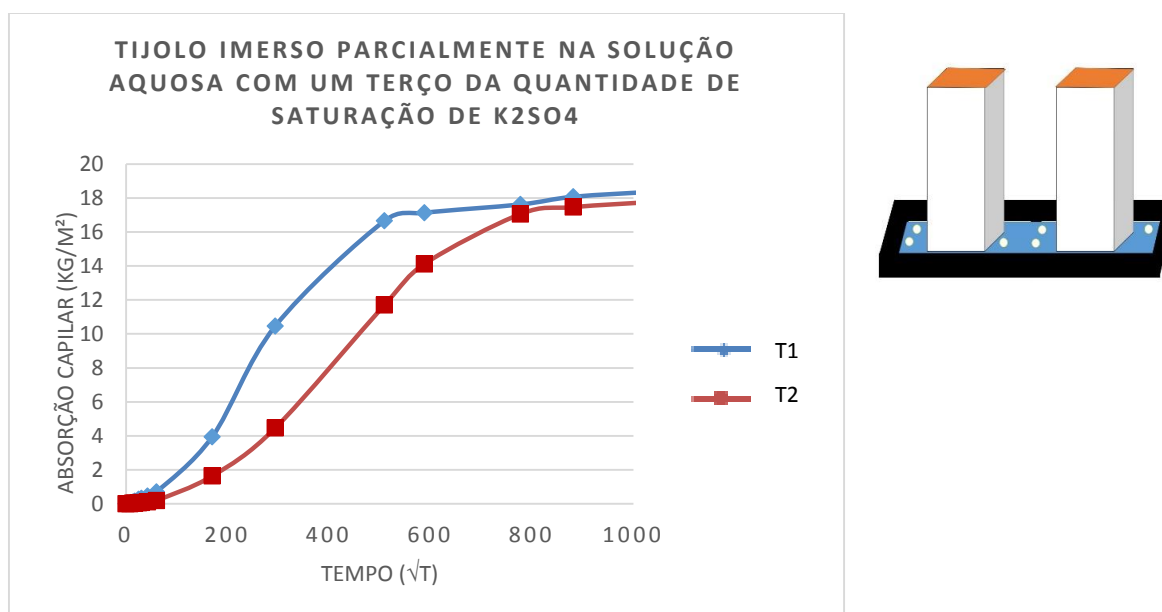


Figura 3.39 – Absorção capilar do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio

Quadro 3.13 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T1	0,0136			
T2	0,0041	0,00885	0,00672	75,9

O valor obtido neste ensaio, $C=0,00885 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, apresenta pouca precisão. Por outro lado este ensaio apresenta falhas nos valores de absorção capilar. São valores muito inferiores em relação valores dos restantes ensaios. Isso deve-se ao facto destes provetes terem sido utilizados no ensaio de absorção da água destilada e terem provavelmente sido mal secos. Após cinco dias na estufa os provetes não secaram completamente e foram submetidos a este ensaio de absorção capilar. Daí o coeficiente de absorção capilar ser muito reduzido. Este ensaio teria obrigatoriamente que ser repetido com mais tempo de secagem.

Com os dados obtidos do ensaio da absorção capilar da água e da solução aquosa salina sobressaturada, é possível considerar que o cloreto de potássio acelera a absorção capilar do tijolo.

3.2.6.3. Absorção capilar do betão

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na água destilada são apresentados na figura 3.40 e quadro 3.14.

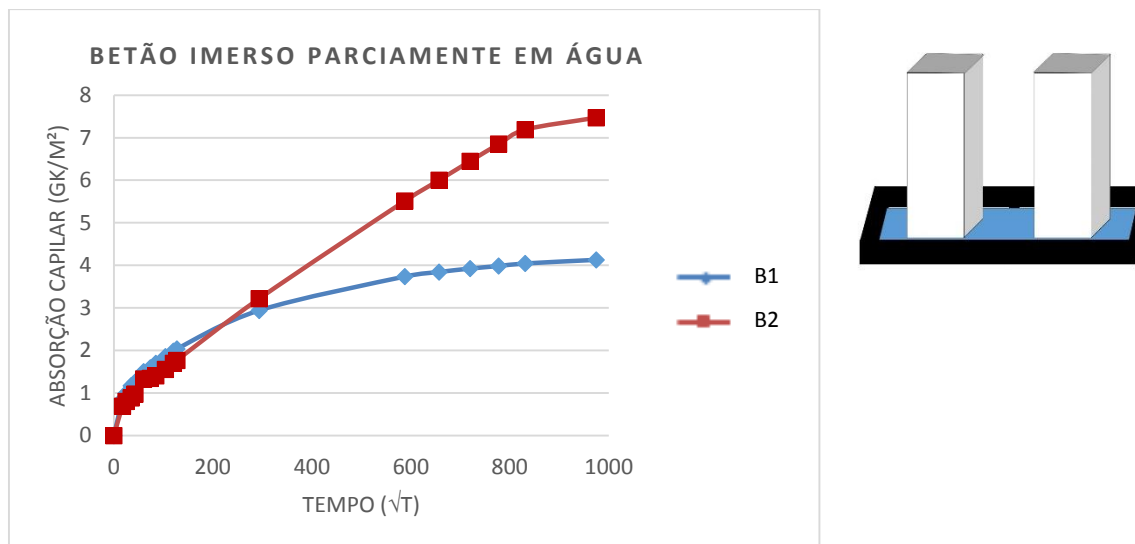


Figura 3.40 – Absorção capilar do betão imerso em água

Quadro 3.14 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso em água

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B1	0,0151			
B2	0,0144	0,0148	0,0005	3,3

Os valores do coeficiente de absorção capilar deste ensaio foram muito próximos para os dois provetes, obtendo-se um coeficiente médio de $C=0,0148 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$. Como indica o quadro 3.15, os valores obtidos no LFC de [35] referência para o betão mais próximos deste são do betão com poliestireno expandido, $C=0,014 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, confirmando assim a proximidade do valor do ensaio. Comparando com o valor indicado em [5], $C=0,01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, é possível afirmar que este valor se encontra dentro da gama de valores espetável.

Quadro 3.15 – Quadro de valores do coeficiente de absorção capilar do LFC - Betão

Materiais	Coeficiente de capilaridade	
	kg/m ² ·√s	kg/m ² ·√h
Betão Celular 2	0,041	2,49
Betão de poliestireno expandido (250 kg/m ³) (6)	0,019	1,14
Betão de poliestireno expandido (550 kg/m ³) (6)	0,023	1,38
Betão Leca	0,021	1,26

É possível observar que as curvas de absorção do betão têm um comportamento mais suave em relação às curvas de absorção do tijolo. Estas descrevem uma curva pronunciada até atingir o patamar em vez da absorção proporcional do tijolo com o patamar bem evidente. A curva do provete B2 não foi tão acentuada pois este absorveu mais água, quase o dobro, quando comparado com o provete B1.

Trata-se de um betão bem compactado pois o seu coeficiente de absorção é reduzido e a sua absorção máxima é na ordem dos 8 kg/m².

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada são apresentados na figura 3.41 e quadro 3.16.

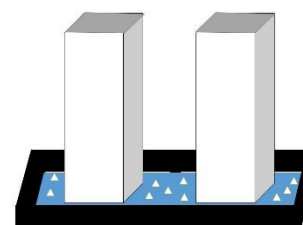
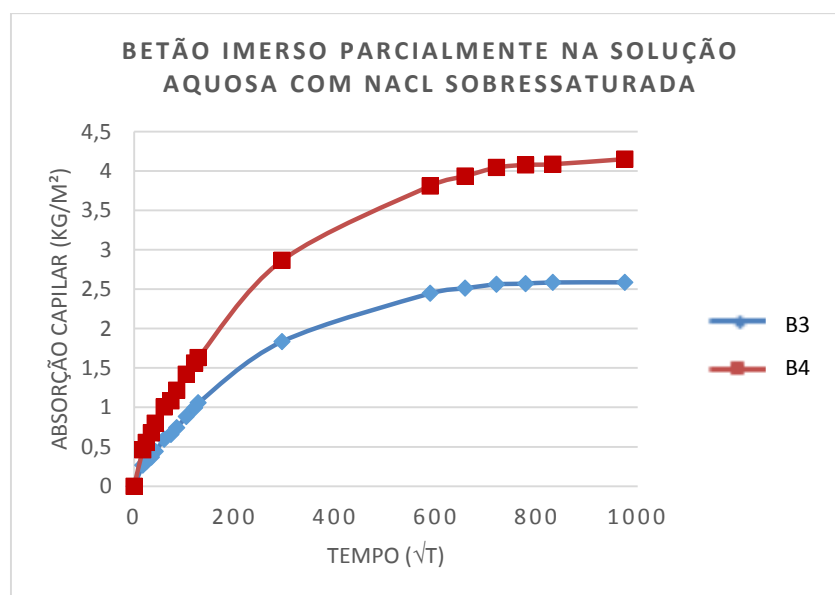


Figura 3.41 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada

Quadro 3.16 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B3	0,0078			
B4	0,0128	0,01003	0,0035	34,3

Da análise ao comportamento capilar destes provetes conclui-se que o valor médio do coeficiente de capilaridade na solução aquosa sobressaturada com cloreto de sódio é de $C=0.0100 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$. Trata-se de um valor inferior ao valor da absorção capilar da água.

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio são apresentados na figura 3.42 e quadro 3.17.

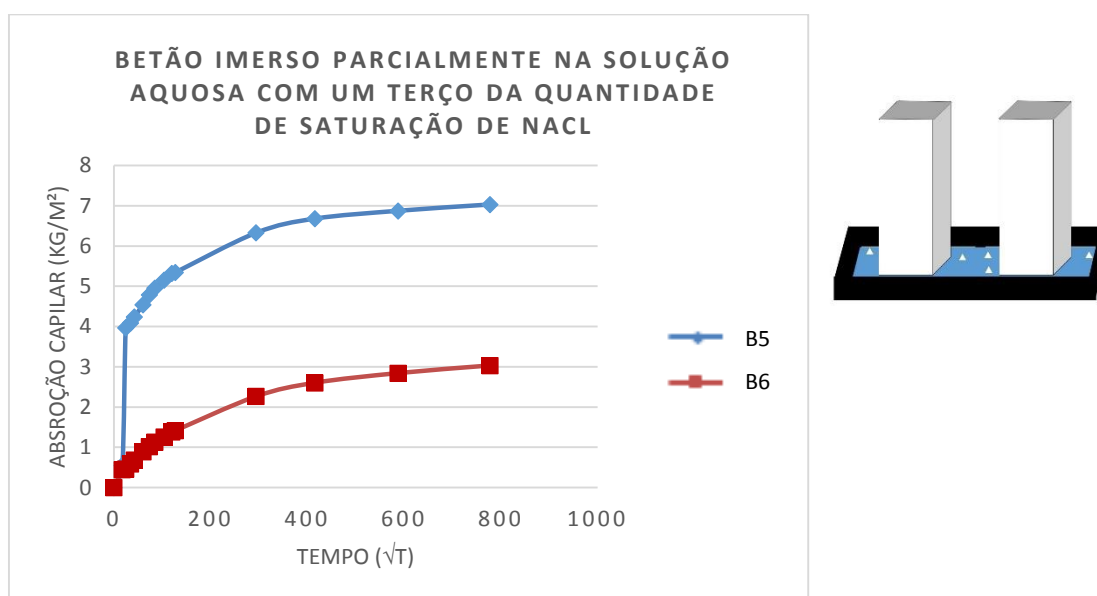


Figura 3.42 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio

Quadro 3.17 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B5	0,0715			
B6	0,0110	0,0413	0,0428	103,7

O valor do coeficiente de absorção capilar, $C=0,0413 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, apresenta um coeficiente de variação muito elevada sendo impossível validar este ensaio. Isto deve-se ao facto do provete B5 apresentar uma curva de absorção diferente do esperado.

De acordo com a figura 3.42, o provete B5 tem uma elevada absorção no início do ensaio, levando a absorção capilar nos primeiros pontos a distorcer o gráfico deste provete. O coeficiente de absorção capilar, $C=0,0715 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, mostra que a absorção inicial foi demasiado elevada apesar de após esses instantes o provete apresenta um comportamento idêntico ao provete B6.

O facto de pesar os provetes ao mesmo tempo impede que o erro seja da pesagem do provete, pois estariam os dois provetes com esta variação. Para além disso, excluindo a variação inicial, os provetes apresentam um registo muito similar na curva de absorção. Por estas razões, esta variação deve ser oriunda de alguma bolha de ar que foram preenchidas com a solução aquosa salina que o provete teria no seu interior para provocar uma variação de 0,30 gramas em 5 minutos enquanto o provete B6 registou uma variação de 0,02 gramas no mesmo tempo. O provete B5 apresenta uma velocidade de absorção demasiado elevada para os parâmetros deste ensaio.

Como todos os valores obtidos do coeficiente de absorção capilar com o cloreto de sódio são inferiores aos valores com água destilada, e de acordo com o estudo efetuado, no betão, o cloreto de sódio influencia a absorção capilar, retardando o processo de absorção.

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa de nitrato de sódio sobressaturado são apresentados na figura 3.43 e quadro 3.18.

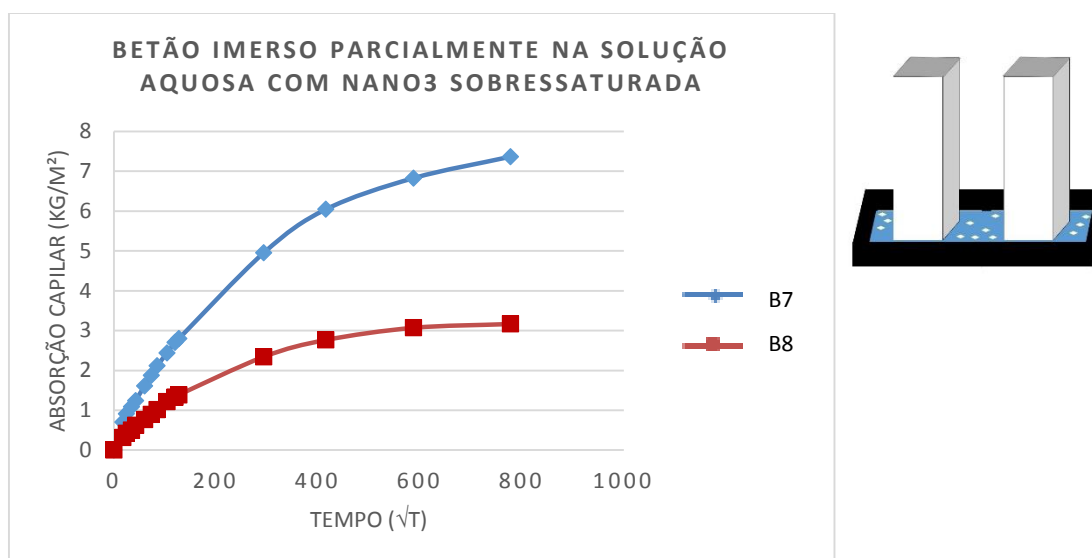


Figura 3.43 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturada

Quadro 3.18 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B7	0,0208	0,0157	0,0072	45,9
B8	0,0106			

A figura 3.43 e o quadro 3.18 indicam o valor do coeficiente de absorção capilar obtido, $C=0,0157 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, com uma dispersão relevante na ordem dos 46%. Nesta figura é possível observar a diferença da absorção capilar de cada provete, sendo que o provete B7 absorve mais do dobro que o provete B8.

Estes provetes foram retirados antes do tempo para o ensaio de secagem.

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio são apresentados nas figuras 3.44 e quadro 3.19.

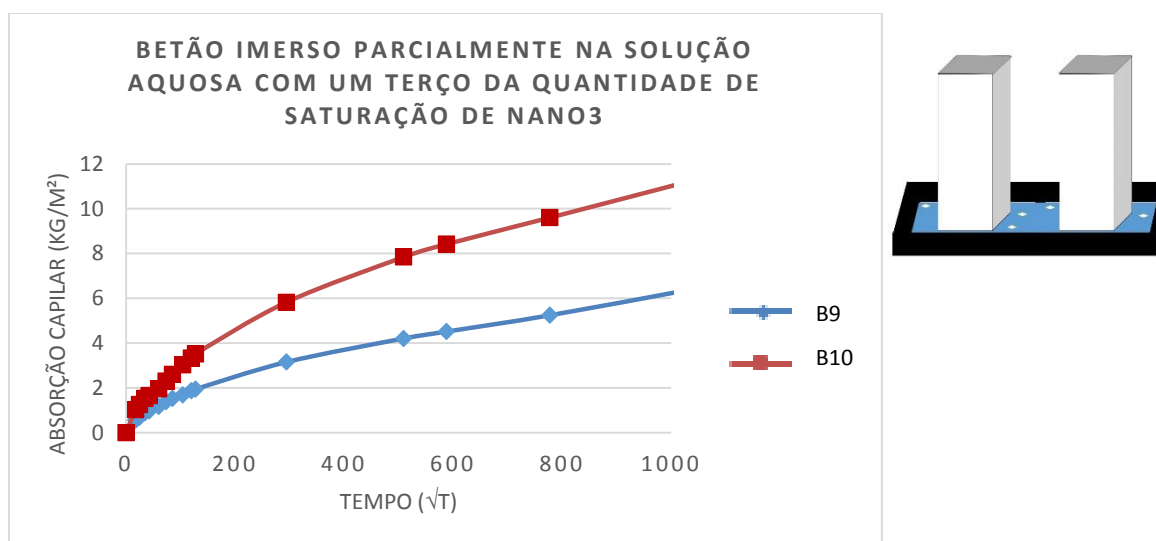


Figura 3.44 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio

Quadro 3.19 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B9	0,0143			
B10	0,0215	0,0179	0,0051	28,4

O ensaio de absorção capilar do betão na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio apresenta um coeficiente de absorção capilar, $C=0,0179 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, relativamente preciso. Estes provetes foram retirados antes do tempo contido como indica a figura 3.44 eles estão a absorver pouca água. Prevê-se que ainda levariam algum tempo a estabilizar apesar dos restantes ensaios estabilizarem ao fim desse tempo.

Comparando os valores dos coeficientes de absorção obtidos, é possível afirmar que o nitrato de sódio acelera a absorção capilar no betão. Consta-se que os coeficientes de absorção com o sal são ligeiramente maiores que com a água apesar de não seguirem uma proporção relacionada com a quantidade de sal adicionado. Não se pode desprezar o efeito da rede porosa característica de cada provete que também interfere na absorção.

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa de sulfato de potássio sobressaturado são apresentados na figura 3.45 e quadro 3.20.

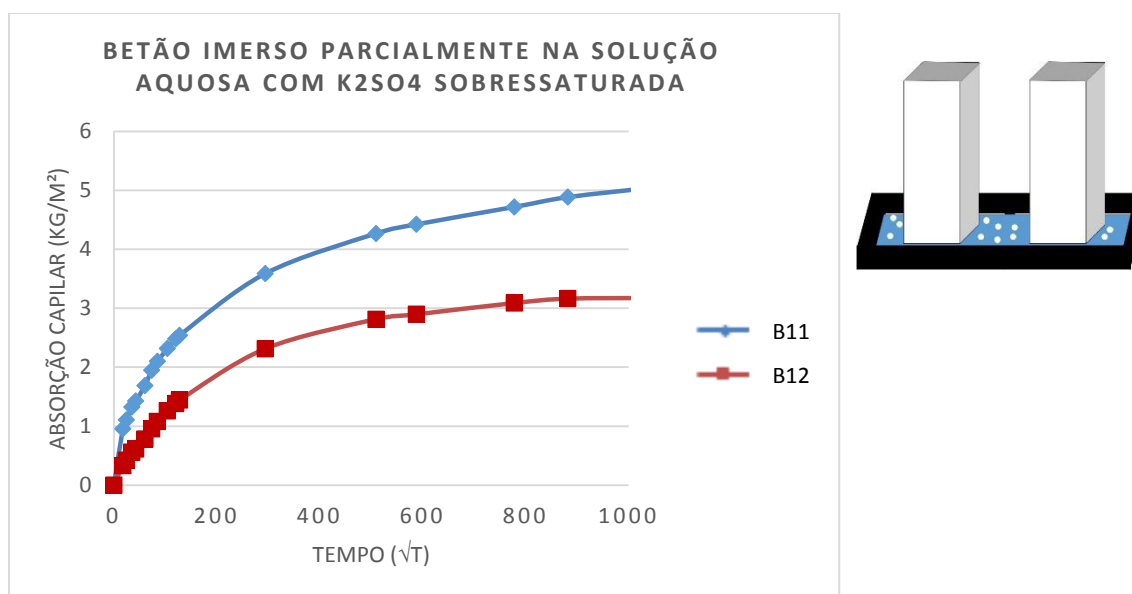


Figura 3.45 – Absorção do betão imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturada

Quadro 3.20 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B11	0,0170			
B12	0,1040	0,0137	0,0047	34,1

Os valores obtidos neste ensaio evidenciaram um coeficiente de absorção capilar, $C=0,0137 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, com um coeficiente de variação de 34%. Trata-se de um valor inferior ao valor da absorção capilar da água. Nesta figura é possível observar a baixa absorção característica destes provetes de betão com as absorções na ordem dos 3 kg/m² e 5 kg/m².

Os resultados do ensaio de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio são apresentados na figura 3.46 e quadro 3.21.

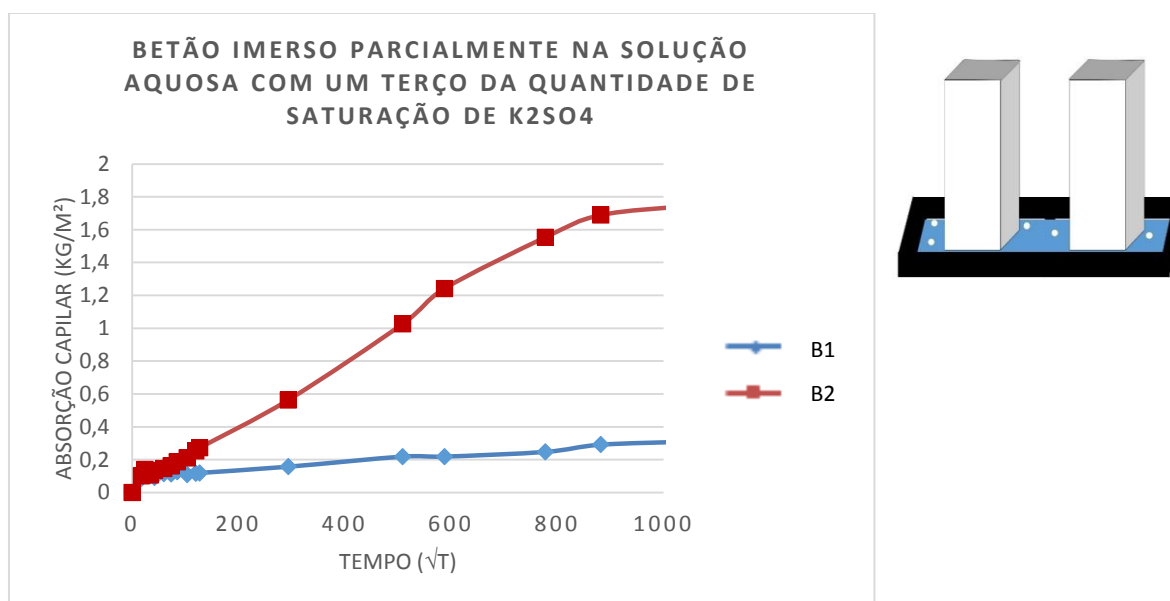


Figura 3.46 – Absorção capilar do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio

Quadro 3.21 – Coeficiente de capilaridade do betão imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
B1	0,00003			
B2	0,00080	0,00055	0,00035	64,3

De acordo com a figura 3.46 e o quadro 3.21, o valor obtido neste ensaio, $C=0,00055 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, apresenta um coeficiente de variação de 64%.

Para além disso este ensaio apresenta uma falha nos valores de absorção capilar. São valores muito inferiores em relação valores dos restantes ensaios. Isso deve-se ao facto destes provetes terem sido utilizados no ensaio de absorção da água destilada e terem ficado mal secos. Após cinco dias na estufa os provetes não secaram completamente e foram submetidos a este ensaio de absorção capilar. Daí o coeficiente de absorção capilar ser muito reduzido pelo que este ensaio teria que ser repetido.

Com os dados obtidos do ensaio da absorção capilar da água e da solução aquosa salina sobressaturada, é possível considerar que o sulfato de potássio retarda e absorção capilar do betão.

3.2.6.4. Absorção capilar da argamassa

Os resultados do ensaio de capilaridade de argamassa imersa parcialmente na água destilada são apresentados na figura 3.47 e quadro 3.22.

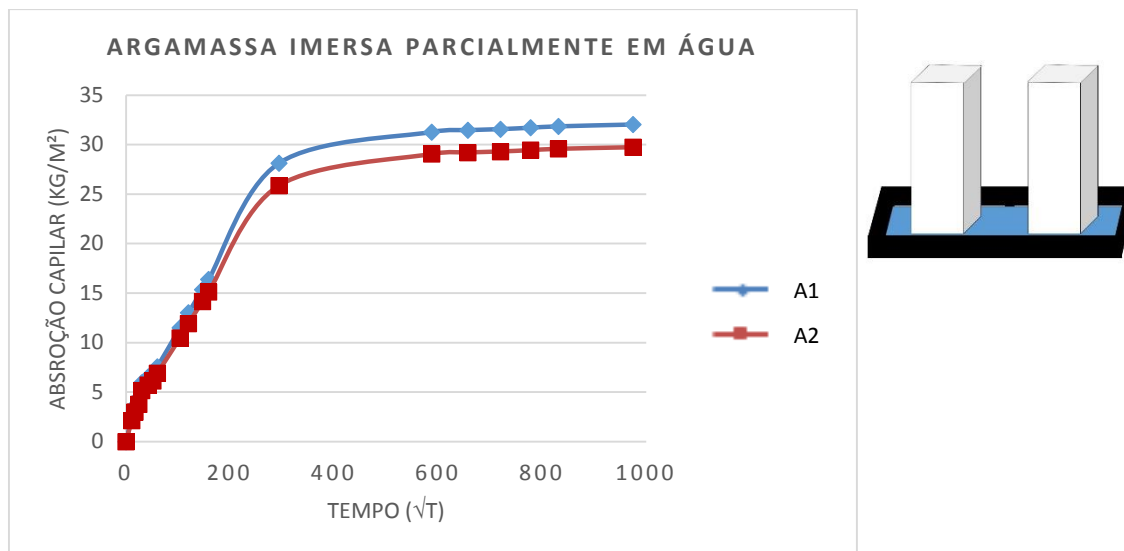


Figura 3.47 – Absorção capilar da argamassa imersa em água

Quadro 3.22 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa em água

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A1	0,0794			
A2	0,0934	0,0864	0,0099	11,5

No que diz respeito á argamassa, o valor do coeficiente de absorção capilar deste ensaio, $C=0,0864 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, está enquadrado nos valores tipo das argamassas indicados no quadro 3.23 [35]. O valor obtido está próximo da “argamassa 4” constituída por “areia amarela de Corroios” de traço 1:0:4 cujo valor é $C=0,090 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$. Comparando com o valor indicado em [5], $C=[0,01 - 0,25] \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, é possível afirmar que este valor se encontra dentro da gama de valores esperados.

Quadro 3.23 – Quadro de valores do coeficiente de absorção capilar do LFC - Argamassa

Materiais	Coeficiente de capilaridade	
	kg/m ² ·√s	kg/m ² ·√h
Argamassa 1	0,029	1,74
Argamassa 2	0,090	5,4
Argamassa 3	0,008 - 0,033	0,5 - 2,0
Argamassas 4		
Tradicionais: (cim: cal: areia)		
Areia Rio Tejo + meia areia de Corroios		
0:1:4	0,222	13,3
1:1:8	0,200	12,0
1:0:4	0,162	9,7
Areia Rio Tejo		
0:1:4	0,312	18,7
1:1:8	0,257	15,4
1:0:4	0,252	15,1
Areia amarela de Corroios		
0:1:4	0,157	9,4
1:1:8	0,108	6,5
1:0:4	0,090	5,4

As curvas de absorção de água por capilaridade das argamassas tipicamente apresentam uma absorção próxima da linear até se atingir a estabilização. As argamassas são mais propícias á absorção devido á sua constituição, apresentam um coeficiente de absorção capilar superior ao do tijolo e ao do betão.

Os resultados do ensaio de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada são apresentados na figura 3.48 e quadro 3.24.

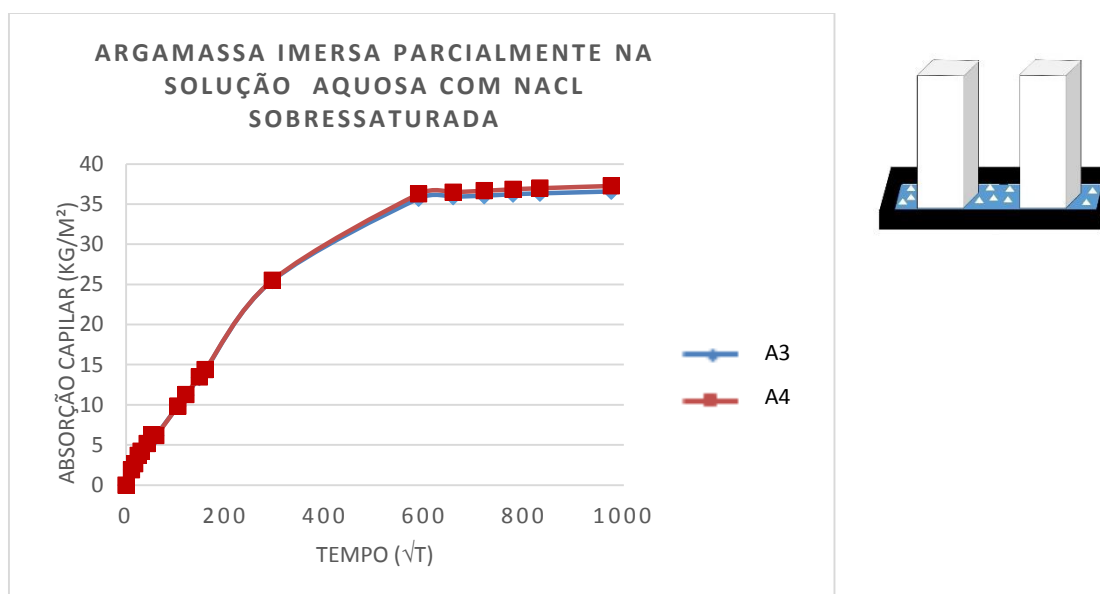


Figura 3.48 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada

Quadro 3.24 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com cloreto de sódio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m².s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A3	0,1044	0,1050	0,0008	0,8
A4	0,1056			

O valor de absorção capilar obtido, $C=0,1050 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, é superior ao valor de absorção capilar obtido no ensaio com a água, $C=0,0864 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$. Este valor médio apresenta uma dispersão muito pequena, sendo então um valor fiável.

Os resultados do ensaio de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio são apresentados na figura 3.49 e quadro 3.25.

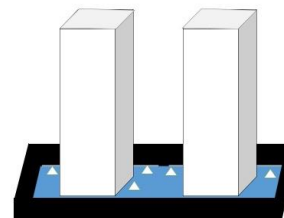
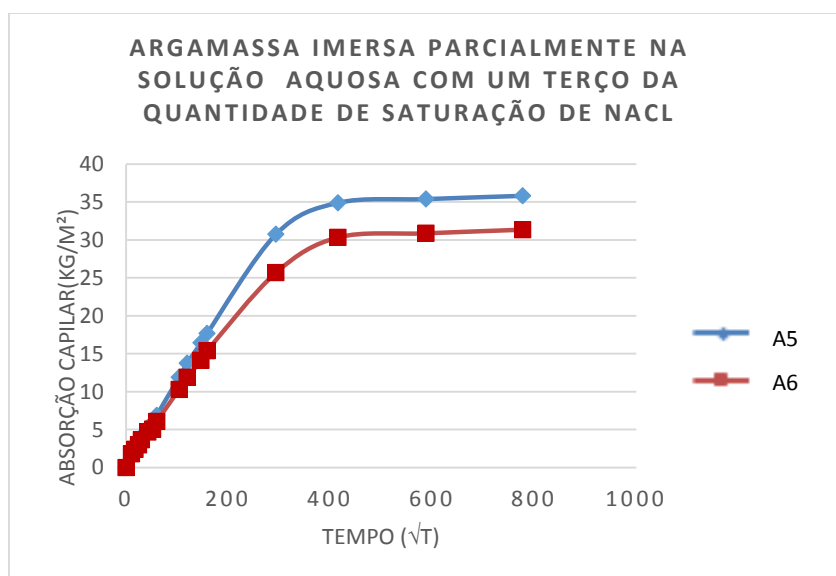


Figura 3.49 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio

Quadro 3.25 – Coeficiente de capilaridade do tijolo imerso parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de cloreto de sódio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A5	0,1072	0,1000	0,0102	10,2
A6	0,0928			

O coeficiente de absorção capilar obtido é de $C=0,1000 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$.

De acordo com o estudo efetuado, na argamassa, o cloreto de sódio influencia a absorção capilar, acelerando o processo de absorção. Constata-se que os coeficientes de absorção com o sal são maiores do que com a água.

Os resultados do ensaio de capilaridade de argamassa imersa parcialmente na água destilada são apresentados na figura 3.50 e quadro 3.26.

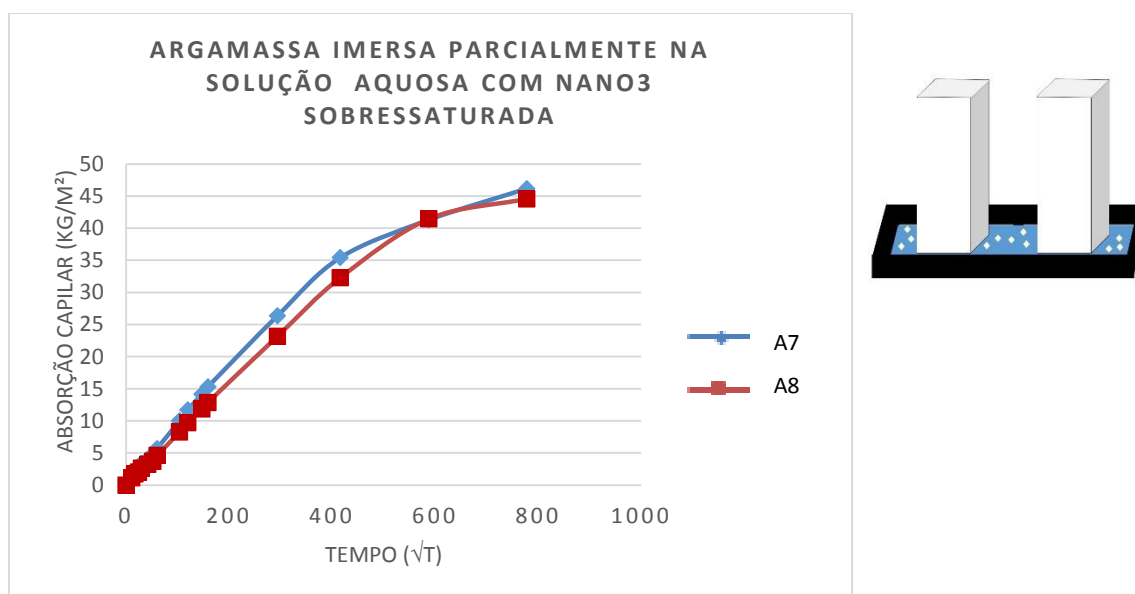


Figura 3.50 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturada

Quadro 3.26 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com nitrato de sódio sobressaturado

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m².s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A7	0,0817			
A8	0,0656	0,0737	0,0144	15,4

A figura 3.49 e o quadro 3.26 indicam o valor do coeficiente de absorção capilar medio obtido, $C=0,0737 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$. Este ensaio foi terminado antes do tempo pelas razões apontadas.

Os resultados do ensaio de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio são apresentados na figura 3.51 e quadro 3.27.

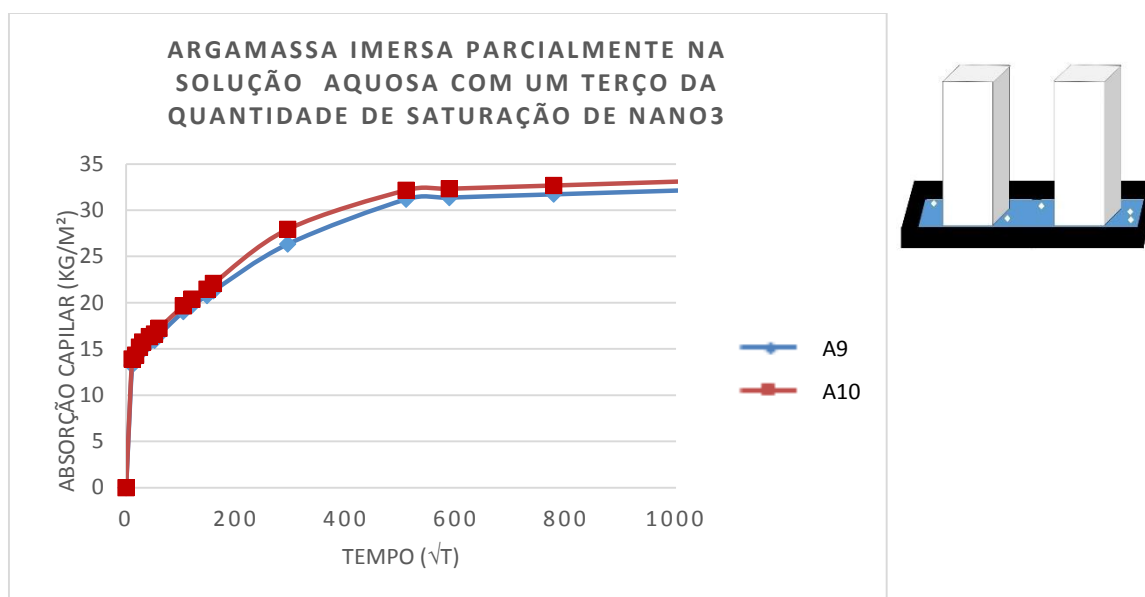


Figura 3.51 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio

Quadro 3.27 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de nitrato de sódio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$)			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A9	0,08060			
A10	0,08130	0,0810	0,00050	0,6

Neste ensaio o coeficiente de absorção obtido foi de $C=0,0810 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, e o coeficiente de variação foi muito baixo. Apesar dos bons resultados, a absorção inicial dos dois provetes foi elevada, não representando a absorção característica das argamassas.

Comparando os valores dos coeficientes de absorção obtidos, é possível afirmar que o nitrato de sódio retarda a absorção capilar na argamassa. Consta-se que os coeficientes de absorção com o sal são ligeiramente menores que com a água apesar de neste ensaio não seguirem uma constante de proporção relacionada com a quantidade de sal adicionado. Não se pode desprezar o efeito da rede porosa característica de cada provete que também interfere na absorção.

Os resultados do ensaio de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa de sulfato de potássio sobressaturado são apresentados na figura 3.52 e quadro 3.28.

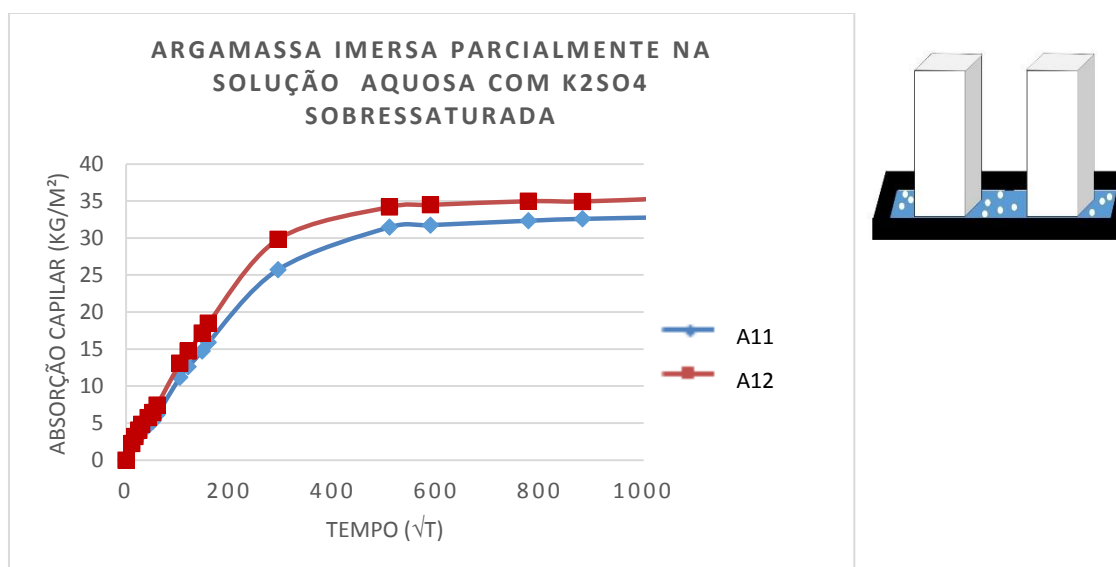


Figura 3.52 – Absorção da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturada

Quadro 3.28 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com sulfato de potássio sobressaturada

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A11	0,0914	0,1013	0,0140	13,8
A12	0,1112			

Analisando os valores obtidos na figura 3.52 e no quadro 3.28, os provetes apresentam um comportamento muito semelhante entre si, com o valor do coeficiente de absorção capilar médio, $C=0,1013 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$.

Os resultados do ensaio de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio são apresentados na figura 3.53 e quadro 2.29.

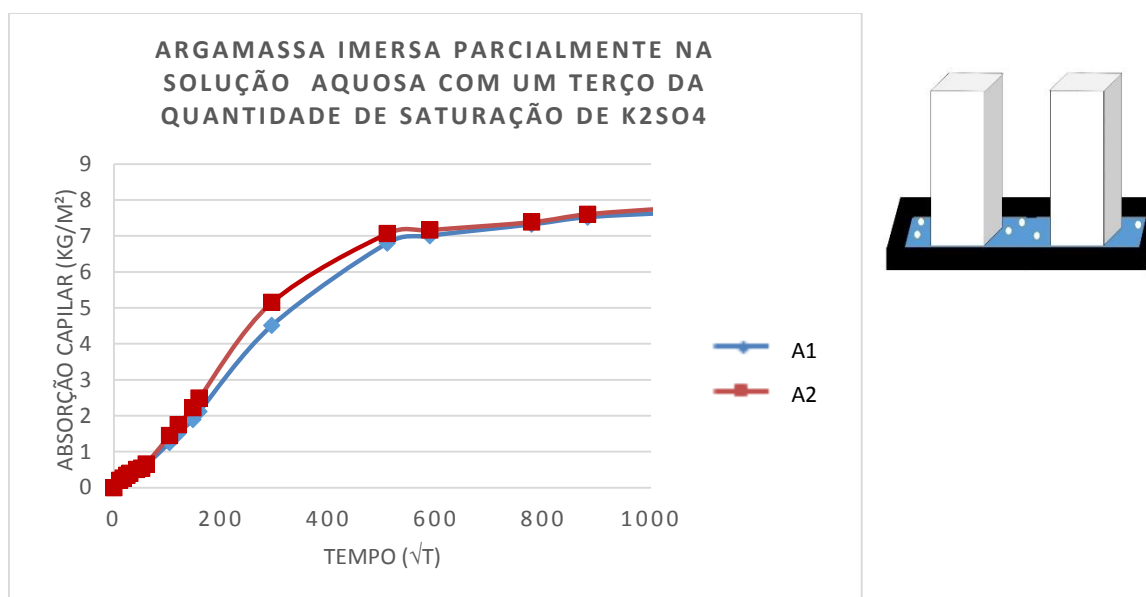


Figura 3.53 – Absorção capilar da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio

Quadro 3.29 – Coeficiente de capilaridade da argamassa imersa parcialmente na solução aquosa com um terço da quantidade de saturação de sulfato de potássio

Identificação do provete	Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .s ^{0,5})			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
A1	0,0075			
A2	0,0095	0,0085	0,00141	16,6

O valor obtido neste ensaio, $C=0,0085 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{0,5}$, apresenta um coeficiente de variação de 17%.

Contudo este ensaio apresenta uma falha nos valores de absorção capilar. São valores muito inferiores em relação valores dos restantes ensaios. Isso deve-se ao facto destes provetes terem sido também utilizados no ensaio de absorção da água e terem ficado mal secos. Após cinco dias na estufa os provetes não secaram completamente e foram submetidos a este ensaio de absorção capilar. Daí o coeficiente de absorção capilar ser muito reduzido e as absorções serem mínimas. Percebe-se que teria sido interessante dispor de um maior número de provetes ou ter mais tempo para a realização destes ensaios.

Com os dados obtidos do ensaio da absorção capilar da água e da solução aquosa salina sobressaturada, é possível considerar que o sulfato de potássio retarda a absorção capilar da argamassa.

3.2.7. SÍNTESE DO CAPÍTULO

3.2.7.1. Coeficientes de absorção de água dos materiais

Com o objetivo de estudar os materiais utilizados, compararam-se as velocidades de absorção de cada material imerso parcialmente na água destilada. Dos materiais estudados, constata-se que a argamassa apresenta o maior coeficiente de absorção capilar com $C=0,090 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$, sendo este o material com mais poros e com poros de diâmetro menor. Nos materiais com porosidade aberta a absorção capilar é maior em redes porosas com diâmetros menores [5].

Quadro 3.30 – Coeficiente de absorção capilar da água

Amostra	Coeficiente de absorção capilar da água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$]	Coeficiente de absorção capilar da água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$], segundo [3]
Tijolo	0,0307	0,05
Betão	0,0148	0,01
Argamassa	0,090	0,01-0,25

3.2.7.2. Permeabilidade dos materiais

Comparando-se os valores dos coeficientes de absorção de água obtidos com os valores da classificação Alemã [36], é possível classificar as amostras quanto à sua permeabilidade. Esta norma utiliza valores de referência para os coeficientes de absorção capilar de modo a classificar as amostras em função da sua permeabilidade.

Quadro 3.31 – Caracterização das amostras segundo a norma utilizada na Alemanha, [36]

A		Classificação
$\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$	$\text{Kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$	
$A > 2,0$	$A > 0,0333$	Sucção rápida
$A < 2,0$	$A < 0,0333$	Preventivo contra a água
$A < 0,5$	$A < 0,00083$	Quase impermeável
$A < 0,001$	$A < 0,000017$	Impermeável

Analisando a absorção capilar da água, no quadro 3.32, o tijolo e o betão classificam-se como “preventivo contra a água”, enquanto a argamassa e classifica como “sucção rápida”. O tijolo quando absorve cloreto de sódio e sulfato de potássio identifica-se como sendo de “sucção rápida”. Este resultado pode ser justificado pelo facto da argamassa ter sido fabricada de uma forma caseira, enquanto que o tijolo e o betão têm fins comerciais, razão pela qual podem ter na sua constituição repelente de água.

De uma forma geral os materiais apresentam uma permeabilidade razoável, mesmo sob o efeito dos sais, que se encontram na classificação na gama da “sucção rápida” e do “preventivo contra a água”.

Quadro 3.32 – Tipos de sucção obtidos nos ensaios segundo a norma Alemã

Amostra	Água	Cloreto de sódio	Nitrato de sódio	Sulfato de potássio
Tijolo				
Betão				
Argamassa				

Efetuuou-se uma análise dos resultados obtidos dos coeficientes de absorção capilar da água e compararam-se com os valores determinados por uma caracterização experimental proposta por Sousa e P. Freitas, quadro 3.33.

Verificou-se que os resultados não correspondem aos valores acordados na mesma. De facto, o tijolo sem repelente apresenta um valor pouco inferior ao sugerido em [36], contudo muito próximo, pelo que se pode classificar como “sucção rápida”, classificação essa em coerência com a classificação da norma Alemã. Em relação à argamassa, o valor obtido é um pouco maior do que o valor sugerido em [36], logo remeteria a argamassa sem hidrófugo para a classificação “sucção rápida” em vez de “preventivo contra a água” como classifica a norma Alemã. O betão também apresenta um valor muito próximo, concluindo-se que está na gama de valores classificado como “preventivo contra a água”.

Quadro 3.33 – Caraterização do coeficiente de absorção de materiais [36]

Material		A [kg/(m ² . s0,5)]	A, segundo [36] [kg/(m ² . s0,5)]	Classificação
Tijolo	Sem repelente	0,0307	0,0505	Sucção rápida
Argamassa	Sem hidrófugo	0,090	0,0117	Preventivo contra a água
Betão	Sem repelente de água	0,0148	0,0108	

3.2.7.3. Influência dos sais na Velocidade de absorção

O quadro 3.34 identifica a influência do sal no coeficiente de absorção capilar no material em que foi aplicado. Compararam-se os valores do novo coeficiente de absorção capilar tendo como referência o valor da absorção capilar da água. Esta comparação realizou-se para cada sal, entre os valores da absorção capilar de uma solução sobressaturada, de uma solução com um terço da saturação e o valor da água destilada. Verifica-se se o sal acelera a absorção capilar e aumenta a rede de poros através da degradação ou se reduz a absorção capilar e preenche os poros criando estanquicidade. Este estudo revelou-se complexo uma vez que o processo de absorção não parece seguir qualquer padrão, ou seja, o mesmo sal tem um comportamento diferente para cada tipo de material.

Analisando o quadro 3.34 é possível concluir que no tijolo e na argamassa, materiais muito poroso, o cloreto de sódio e o sulfato de potássio degradam a rede porosa de modo a acelerar o processo de absorção capilar e a aumentar a altura de progressão da humidade. Por outro lado, o nitrato de sódio preenche os poros e colmata-os reduzindo a absorção capilar e a altura de progressão da humidade.

Em relação ao betão que se apresenta com valores reduzidos de absorção, o cloreto de sódio e o sulfato de potássio adicionados numa solução reduzem a velocidade de absorção enquanto o nitrato de sódio quando adicionado acelera a velocidade de absorção deste material.

Comparando os sais, é interessante reparar que os sais com humidades relativas iguais, o cloreto de sódio e o nitrato de sódio apresentam comportamentos diferentes. Por outro lado, em todas as situações em que o nitrato reduz a absorção, o sulfato de potássio apresenta comportamento igual ao cloreto de sódio.

Quadro 3.34 – Quadro resumo do efeito dos sais no processo de absorção capilar

Amostra	Cloreto de sódio	Nitrato de sódio	Sulfato de potássio
Tijolo	Acelera a absorção	Reduz a absorção	Acelera a absorção
Betão	Reduz a absorção	Acelera a absorção	Reduz a absorção
Argamassa	Acelera a absorção	Reduz a absorção	Acelera a absorção

3.2.7.4. Relação entre a velocidade de absorção e a curva de absorção

Com o objetivo de avaliar a relação entre a absorção, a velocidade de absorção e a estabilização descrita pela curva de absorção, comparou-se o tempo necessário até à estabilização. Estes tempos deverão estar relacionados com a aceleração e redução da absorção dos sais, ou seja, se um sal provoca a aceleração da absorção capilar então a curva de absorção vai estabilizar mais rapidamente do que a curva de absorção com água destilada. Se por outro lado o sal provoca a redução da absorção capilar então a curva de absorção vai estabilizar mais tarde do que a curva de absorção com água destilada. Os pontos considerados como início da estabilização são de difícil definição (figura 3.54).

De acordo com a figura 3.54 e o quadro 3.31 é possível observar que as curvas de absorção com um sal que acelera a absorção atingem a estabilidade mais rapidamente. Por exemplo, o tijolo sob a influência do NaCl e do K₂SO₄ atinge o patamar quando a raiz quadrada do tempo é menor. O mesmo material sob o efeito do NaNO₃ atinge o patamar quando a raiz quadrada do tempo é maior. A análise repete-se para o betão e para a argamassa.

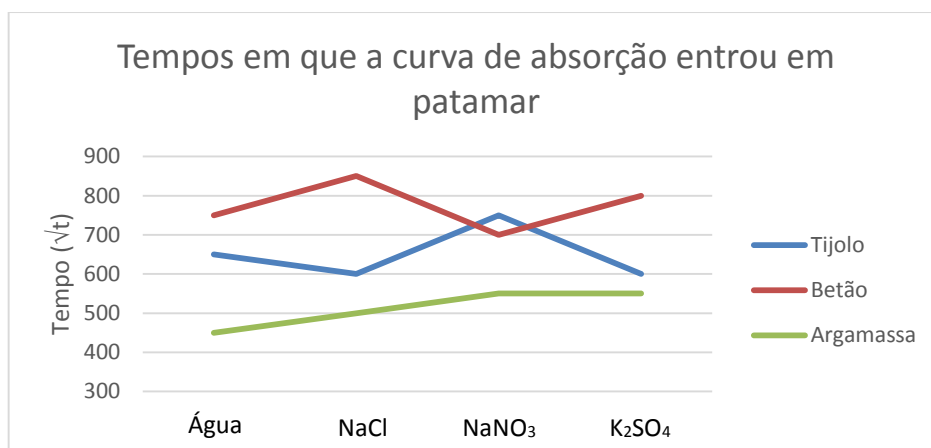


Figura 3.54 – Tempos aproximados em que a curva entrou em patamar

Em relação aos sais, estes apresentam valores de estabilidade reduzidos e uma gama de valores do ponto de transição para o patamar muito pequena. Isto deve-se ao facto de serem sais muito solúveis. Com o cloreto de sódio adicionado os patamares são atingidos numa gama maior e mais dispersa (entre os 500 e os 850 segundos). Por outro lado com o nitrato de sódio os patamares são atingidos numa gama de valores menor (entre os 550 e os 750 segundos).

De uma forma geral, também é possível observar que a argamassa é o material que atinge mais rapidamente a estabilizar e o betão é o material que demora mais a atingi-lo.

3.2.7.5. Massa do provete ao longo do processo de absorção

Estudou-se o comportamento da massa dos materiais ao longo da absorção, indicado na figura 3.55 e 3.56, com o objetivo de analisar quais os materiais que absorveram maior quantidade de água e quais os sais que influenciaram mais a absorção capilar.

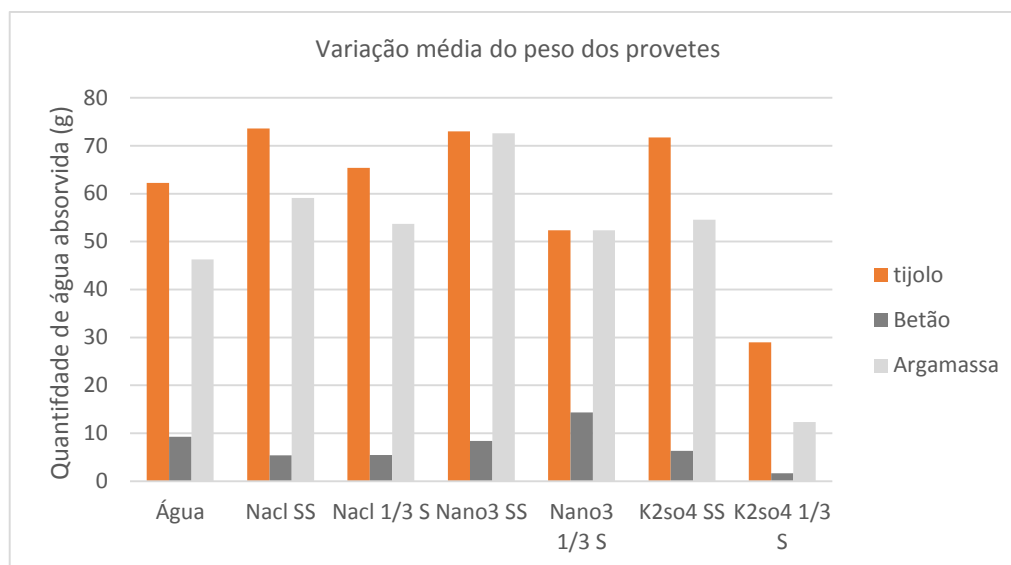


Figura 3.55 – Variação média do peso dos provetes

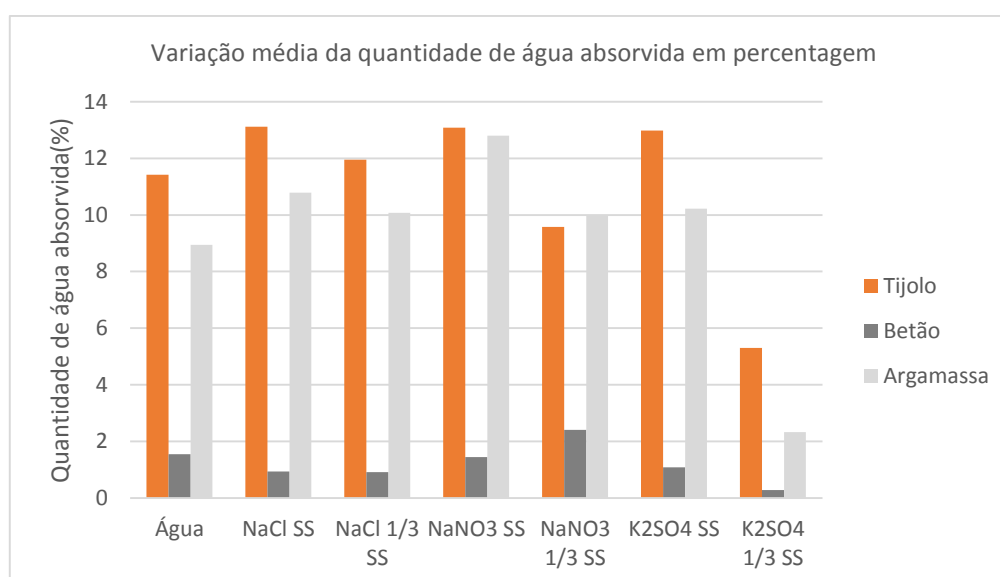


Figura 3.56 – Quantidade de água absorvida em percentagem

O tijolo apresenta a maior variação de peso dos provetes, com uma gama de valores médios de variação do peso entre as 55 e 72 gramas e uma percentagem média de absorção de 11% do peso total do provete, traduzindo a elevada absorção. O betão apresenta uma variação de peso dos provetes pequena e uma gama de valores médios de variação do peso entre as 4 e 12 gramas e uma percentagem média de absorção de 1% do peso total do provete, traduzindo baixa absorção de água. A Argamassa apresenta um comportamento próximo ao do tijolo, também ela absorve água facilmente.

Em relação aos sais, apesar de apresentarem valores de variação do peso dos provetes elevados, o nitrato de sódio é o sal que apresenta maior absorção de água, tendo uma média de variação do peso dos provetes geral superior a 48 gramas.

Em relação ao ensaio do sulfato e tendo em conta que os provetes utilizados no ensaio de absorção da água destilada ficaram mal secos, seria importante validar os resultados.

3.3. ENSAIO DE SECAGEM

3.3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio de secagem, ilustrado na figura 3.57, procura estudar o comportamento da evaporação da água absorvida pelos provetes através da curva de absorção. Esta curva resulta da variação do peso do provete (resultante da evaporação da água na face superior), em gramas, ao longo do tempo (t), como indica a figura 3.58. Obtemos a curva de secagem através de pesagens periódicas. O teor em água é dado pela seguinte equação (7):

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100[\%] \quad (8)$$

Onde:

W_i – Teor de água no provete ao longo do tempo t_i [%];

m_i – Massa do provete no instante t_i (g);

m_{seca} – Massa do provete seco (g).

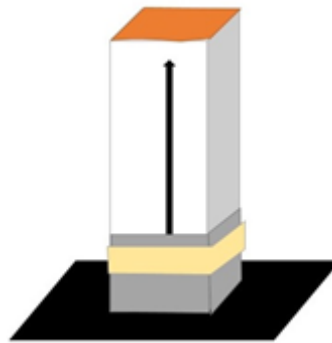


Figura 3.57 – Ilustração do ensaio de secagem

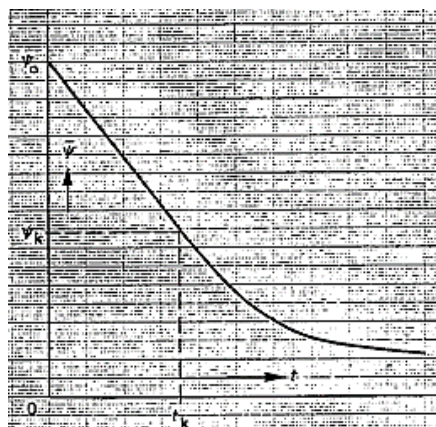


Figura 3.58 – Gráfico obtido do ensaio de secagem [1]

O resultado do ensaio de secagem pode ser expresso de forma quantitativa através do índice de secagem (*IS*) que é obtido através da seguinte expressão (8):

$$I.S = \frac{\int_0^{t_i} f(w) \times dt}{w_0 \times t_i} \quad (9)$$

Onde:

$f(w)$ - Teor de água do provete (%);

w_0 – Teor de água inicial (%);

t_i – Tempo do ensaio (h).

De acordo com a RILEM, as curvas de secagem dependem das condições ambientais, das características dos materiais ou do grau de saturação do material. Daí este ensaio ter sido realizado com temperatura de 20°C e humidade relativa de 65%. Para os provetes imersos em soluções aquosas salinas, as curvas de evaporação são influenciadas pelos sais que estão dissolvidos na água. Este efeito vai ser estudado e caracterizado. O desenvolvimento das manifestações dos sais nos provetes foi registado através de fotografias diárias, possibilitando a comparação e estudo de cada caso.

Estes ensaios realizaram-se com base no procedimento “Test No II.5, Evaporation Curve” da RILEM [2].

Os materiais utilizados foram os mesmos provetes utilizados no ensaio de capilaridade. Depois de se retirarem os provetes da caixa onde absorviam as soluções aquosas salinas, estes foram secos com o pano húmido e pesados. Imediatamente a seguir isolou-se a face inferior de cada provete com película aderente aproximadamente até um terço da altura do provete para garantir que o processo de evaporação se desse pela face superior, com fluxo unidirecional no sentido ascensional. Para garantir o bom isolamento da película aderente colocou-se fita-cola na extremidade da película. Colocam-se os provetes numa base estável para poderem secar como representa a figura 3.60.

De acordo com a RILEM, os provetes são pesados seguidamente com a película aderente e a fita-cola para se saber o peso destes materiais. No primeiro dia de pesagens pesa-se os provetes de hora em hora,

durante oito horas, pois a evaporação da água é maior no início. Nos restantes dias da semana pesa-se três vezes por dia, nas duas semanas seguintes pesa-se uma vez por dia e na última semana pesa-se uma vez. As pesagens são registadas numa balança com precisão até á milésima da grama, como mostra a figura 3.59. Estes registos encontram-se no anexo III.



Figura 3.59 – Pesagem dos provetes isolados na balança

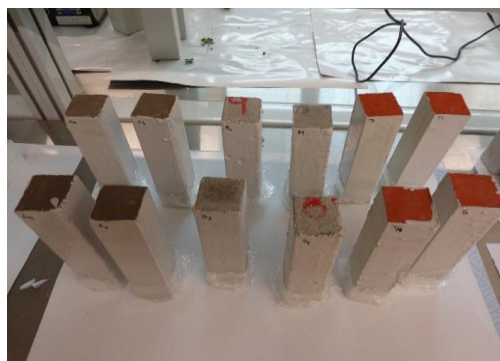


Figura 3.60 – Provetes durante o ensaio de secagem

3.3.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.3.2.1. Introdução

Este capítulo apresenta os resultados do ensaio de secagem. Está organizado de acordo com o tipo de sal e com a quantidade de cada sal dissolvido. Expõem-se as curvas de secagem dos materiais e os valores do índice de secagem dos provetes caracterizados pela média, pelo desvio padrão e pelo coeficiente de variação obtidos. O uso do desvio padrão permite estudar os valores obtidos analisando a dispersão que existe em relação á media e o uso do coeficiente de variação quantifica a precisão dos resultados em percentagem. Este último é calculado dividindo o desvio padrão pela média.

De acordo com os registos dos trabalhos anteriores [8], observou-se que este ensaio requer muito tempo para os provetes ficarem secos. Cerca de dois meses e meio é um valor de referência para provetes com a altura de um quarto da altura dos provetes em uso. O facto de se dissolverem sais na água, pode aumentar o tempo de secagem. Nesse sentido, foi impossível secar estes provetes pois só se dispôs de dois meses, no máximo, para o efeito.

Optou-se então pela hipótese de calcular o índice de secagem através de uma fórmula que permite aproximar o valor, não sendo neste caso o valor correto devido ao pouco tempo de execução do ensaio. Esta fórmula apenas é aplicada aos provetes do ensaio de secagem da água e permite obter o maior tempo de secagem de entre os três materiais. Através desse valor, o maior tempo de secagem, calcularam-se todos os índices de secagem dos restantes provetes. Como as secagens não terminaram, os gráficos e os valores do índice de secagem conseguidos resultam dos dados recolhidos no tempo possível. Também as curvas de secagem não apresentam as três fases descritas na parte teórica do trabalho. A expressão (9) permite calcular o maior tempo de secagem para poder aproximar o índice de secagem. [37]

$$1,0 \geq \frac{m_0 - m_{i-1}}{m_0 - m_i} \geq 0,90 \quad (9)$$

Onde:

m_0 - Massa (g) do provete no tempo t_0 (h);

m_{i-1} - Massa (g) do provete no tempo m_{i-1} (%);

m_i - Massa (g) do provete no tempo t_i (h).

Esta expressão possibilita verificar quando é que a curva de secagem estabiliza. Esta situação verifica-se quando a diferença entre dois pontos da curva é muito pequena e a razão entre eles é muito próxima de 1, ou seja, entre 1 e 0,9. Neste caso, como o ensaio de secagem da água foi interrompido para se realizarem outros ensaios e como se obtiveram tempos de secagem muito pequenos, reduziu-se o intervalo que indicava que a curva tinha abrandado, passando este a ser entre 1 e 0,99.

Neste trabalho apenas é possível comparar os valores obtidos em relação à água, sendo que, para as outras soluções aquosas ainda não existe informação concreta sobre o seu comportamento. Os valores dos ensaios com a água destilada foram comparados e confirmados com valores já publicados em livros [33].

O facto de apenas serem utilizados dois provetes em cada ensaio pode limitar a certeza dos resultados obtidos. Também o facto dos provetes serem de origem comercial prejudica a fiabilidade por valores comparando com os provetes concebidos em laboratório.

Seria necessário mais tempo para se obterem ensaios de secagem concretos e que permitissem retirar conclusões mais elucidativas e esclarecedoras. Os ensaios deviam voltar a ser realizados com mais tempo.

Este ensaio foi acompanhado por fotografias ao longo da evolução das manifestações dos sais. O registo com fotografias revela-se muito importante para acompanhar ao pormenor a evolução destas permitindo observar os depósitos cristalinos e a maneira como se desenvolvem.

3.3.2.2. Resultados do ensaio de secagem da água

Os resultados do ensaio de secagem da água são apresentados na figura 3.61 e no quadro 3.35.

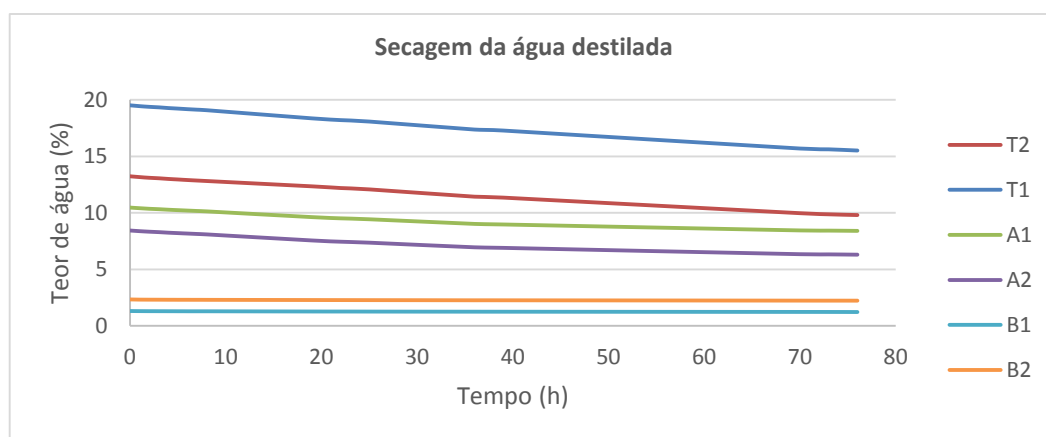


Figura 3.61 – Secagem da água no tijolo, betão e argamassa

Quadro 3.35 – Índice de secagem da água no tijolo, betão e argamassa

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
T1	0,0109	0,0106	0,0005	4,6917
T2	0,0102			
B1	0,0128	0,0129	0,0001	1,0963
B2	0,0130			
A1	0,0110	0,0106	0,0006	5,3367
A2	0,0103			

Este ensaio foi interrompido para se realizarem outros ensaios devido á escassez de provetes. Apenas se realizou durante uma semana útil. Assim, os valores obtidos são resultado desse pouco tempo. Seria necessário voltar a realizar os ensaios para obter resultados mais explícitos. É possível observar que o tijolo é o material com maior teor de água inicial (20%) e o betão o material com o menor teor de água inicial (2,5%).

Através da referência [24], comparou-se um valor para o índice de secagem dos materiais que sirva de orientação. (quadro 3.36). Contudo esses valores não são comparáveis com os valores obtidos neste ensaio. Todos os valores obtidos são fruto de pouco tempo de secagem. Em princípio, os valores que deveriam ser conseguidos estariam na gama dos valores do quadro 3.36.

Quadro 3.36 – Valores do índice de secagem de acordo com [33]

Material	Índice de secagem
Tijolo	0,28
Betão	1,2
Argamassa	0,25

3.3.2.3. Resultados do ensaio de secagem com o cloreto de sódio (NaCl) sobressaturado

Os resultados do ensaio de secagem da solução aquosa com NaCl sobressaturado são apresentados na figura 3.62 e no quadro 3.37.

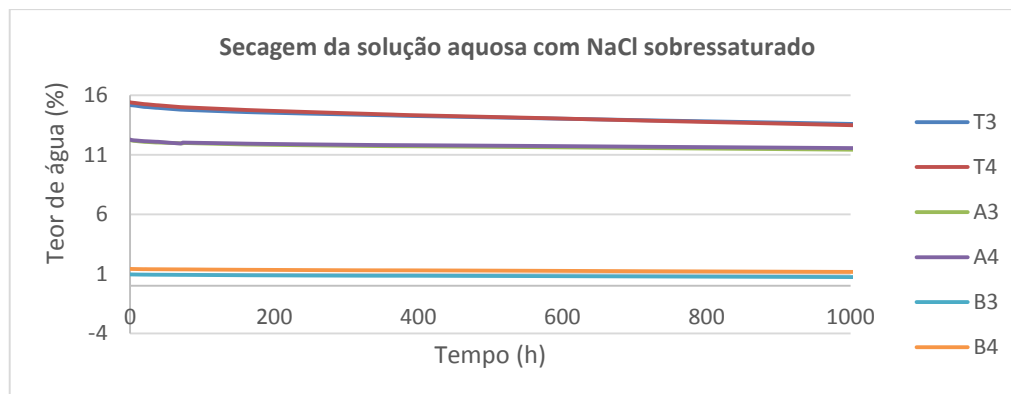


Figura 3.62 – Secagem da solução aquosa do cloreto de sódio sobressaturado

Quadro 3.37 – Índice de secagem da solução aquosa do cloreto de sódio sobressaturado

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T3	0,0133	0,0133	0,0001	1,0714
T4	0,0133			
B3	0,013	0,0132	0,0003	2,1427
B4	0,0134			
A3	0,0131	0,0132	0,0001	1,0714
A4	0,0124			

Analisando a figura 3.62, o teor de água dos provetes foi diminuindo muito lentamente ao longo de dois meses. O teor de água nos provetes de tijolo diminuiu aproximadamente 3%, enquanto que nos provetes de argamassa a variação foi pequena, na ordem de 1% e nos provetes de betão quase que não houve variação.

Os índices de secagem são superiores aos índices obtidos no ensaio de secagem com a água.

Na figura 3.63 é possível observar a evolução da secagem dos materiais e das manifestações dos sais na superfície superior do provete. O tijolo é o material que apresenta mais eflorescências por toda a superfície. O betão vem ao encontro das conclusões tiradas anteriormente, sendo um matéria com uma estrutura porosa menos aberta acaba por não obter manifestações na superfície. A argamassa apresenta algumas manifestações do cloreto de sódio ao longo d tempo de secagem.

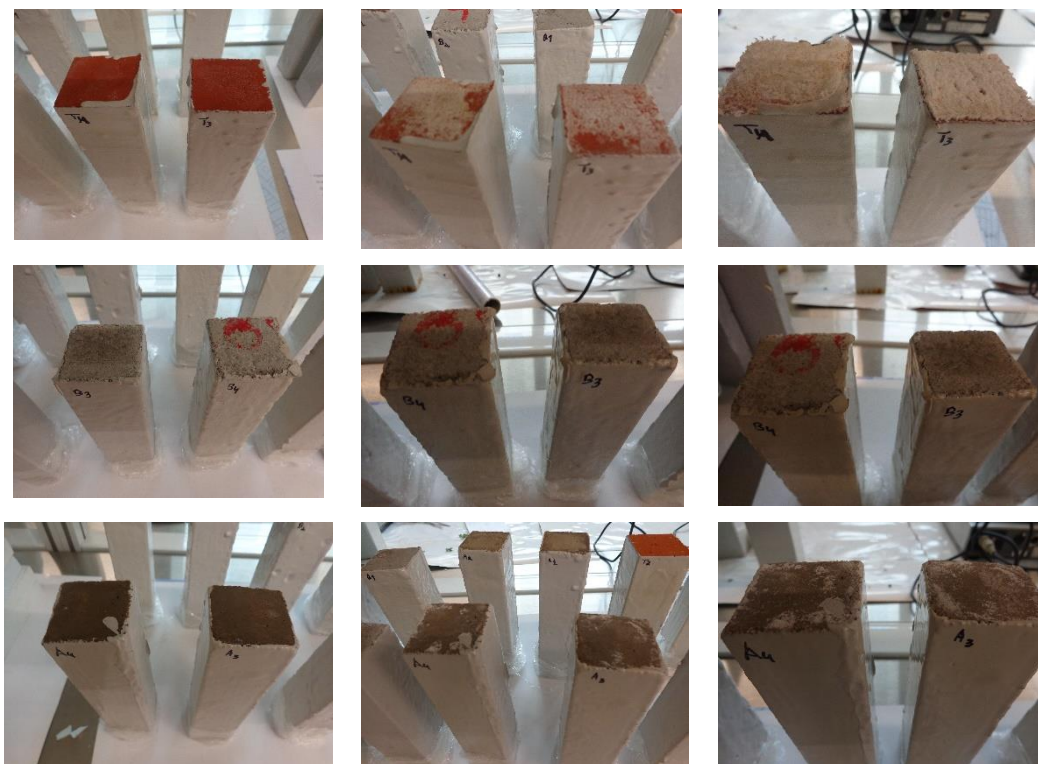


Figura 3.63 – Evolução das manifestações do cloreto de sódio sobressaturado nos materiais

3.3.2.4. Resultados do ensaio de secagem com o Cloreto de sódio (NaCl) com um terço da saturação

Os resultados do ensaio de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do NaCl são apresentados na figura 3.64 e no quadro 3.38.

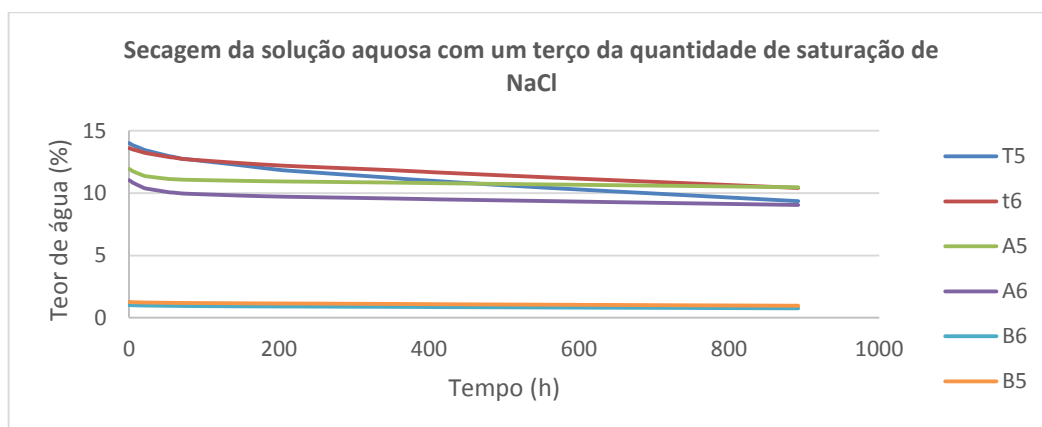


Figura 3.64 – Secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio.

Quadro 3.38 – Índice de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio.

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T5	0,0125	0,0127	0,0002	1,6769
T6	0,0128			
B5	0,0129	0,0128	0,0003	1,6638
B6	0,0126			
A5	0,0127	0,0126	0,0002	1,6903
A6	0,0124			

A figura 3.64 apresenta os resultados do ensaio de secagem com um terço da quantidade de saturação do cloreto de sódio ao longo de cinco semanas. De acordo com os quadros anteriores é possível observar que o índice de secagem aumenta com a quantidade de cloreto de sódio dissolvido na água. Contudo estes resultados têm que ser confirmados através de novos ensaios com tempo suficiente para os provetes secarem completamente.

Na figura 3.65 é possível observar a evolução da secagem dos materiais e das manifestações dos sais na superfície superior do provete. A evolução das manifestações dos sais aparenta ser semelhantes à apresentada anteriormente.

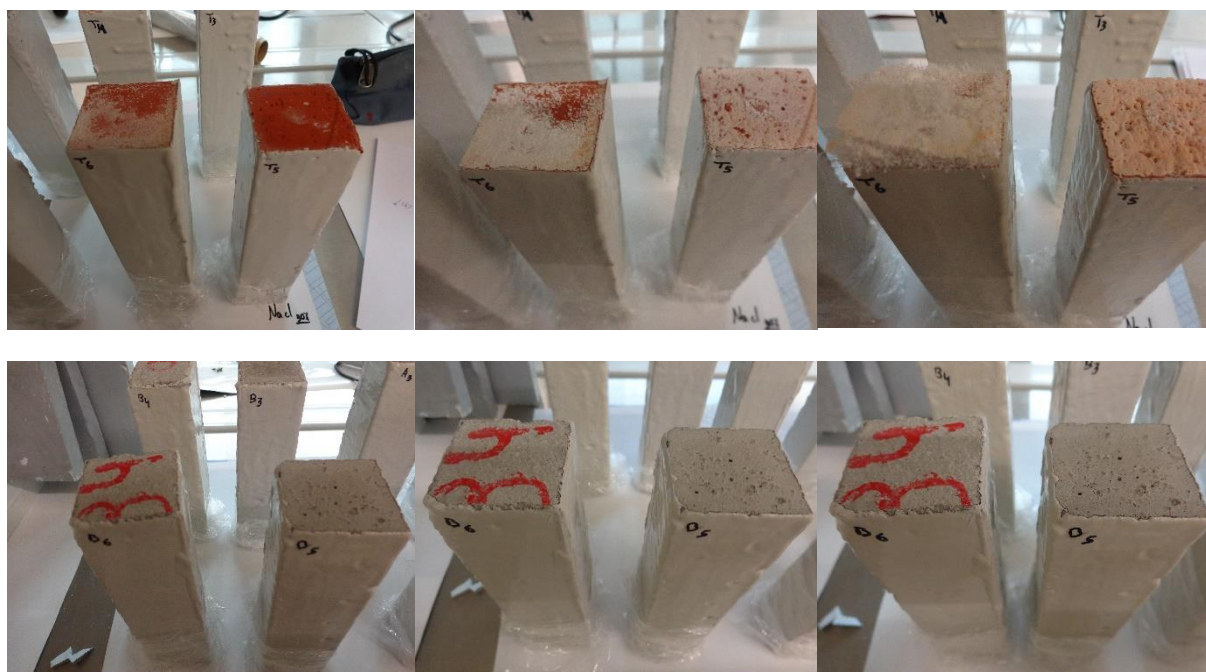




Figura 3.65 – Evolução das manifestações do cloreto de sódio dissolvido em menores quantidades nos materiais

3.3.2.5. Resultados do ensaio de secagem com o Nitrato de sódio (NaNO_3) sobressaturado

Os resultados do ensaio de secagem da solução aquosa com NaNO_3 sobressaturado são apresentados na figura 3.66 e no quadro 3.39.

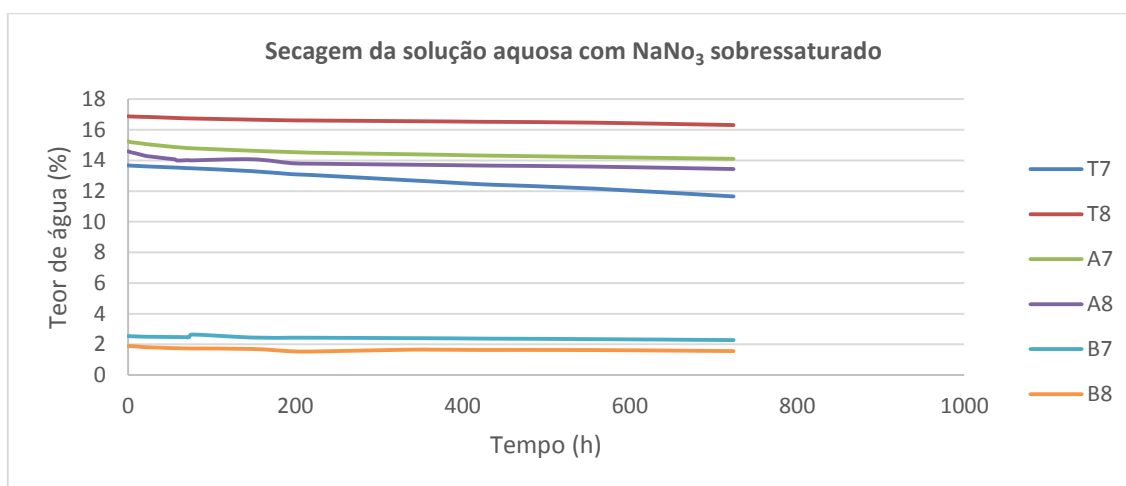


Figura 3.66 – Secagem da solução aquosa do nitrato de sódio sobressaturado

Quadro 3.39 – Índice de secagem da solução aquosa com o cloreto de sódio sobressaturado.

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T7	0,0135	0,0136	0	0,5219
T8	0,0136			
B7	0,0133	0,0129	0,0006	4,3852
B8	0,0125			
A7	0,0133	0,0132	0,0001	1,0714
A8	0,0131			

O ensaio com nitrato de sódio sobressaturado apresenta valores iniciais do teor de água ligeiramente superiores em relação aos valores do cloreto de sódio sobressaturado, nomeadamente em materiais como a argamassa e o betão. O material que apresenta maior índice de secagem é o tijolo, depois a argamassa, e por último o betão. Contudo são valores diferenciados pela casa das milésimas da grama não sendo muito elucidativos.

A figura 3.67 apresenta as eflorescências do nitrato de sódio sobressaturado. Ao contrário do cloreto de sódio, com este cristal, todos os materiais apresentaram manifestações. Apesar de serem mais relevantes no tijolo e na argamassa, o betão também mostra uns depósitos de cristais.

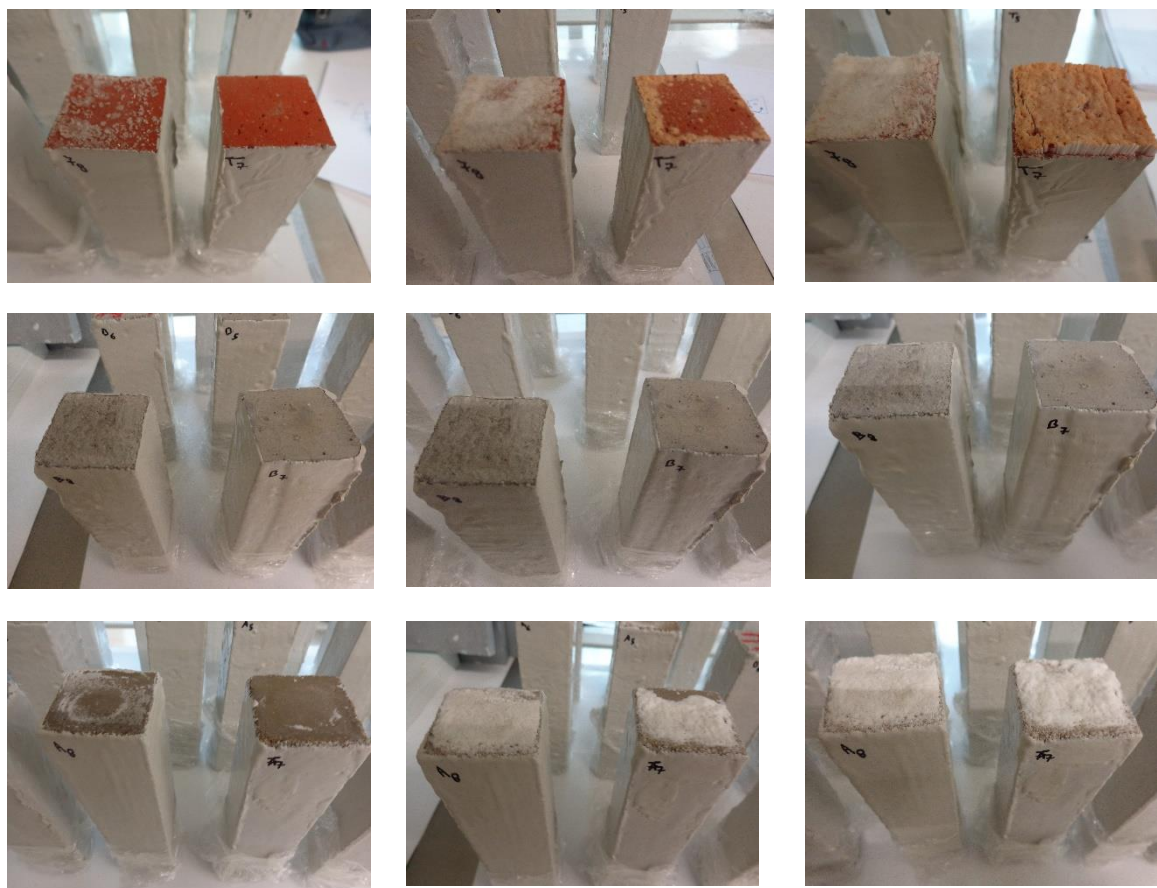


Figura 3.67 – Evolução das manifestações do nitrato de sódio sobressaturado nos materiais

3.3.2.6. Resultados do ensaio de secagem com o nitrato de sódio (NaNO_3) com um terço da saturação

Os resultados do ensaio de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do NaNO_3 são apresentados na figura 3.68 e no quadro 3.40.

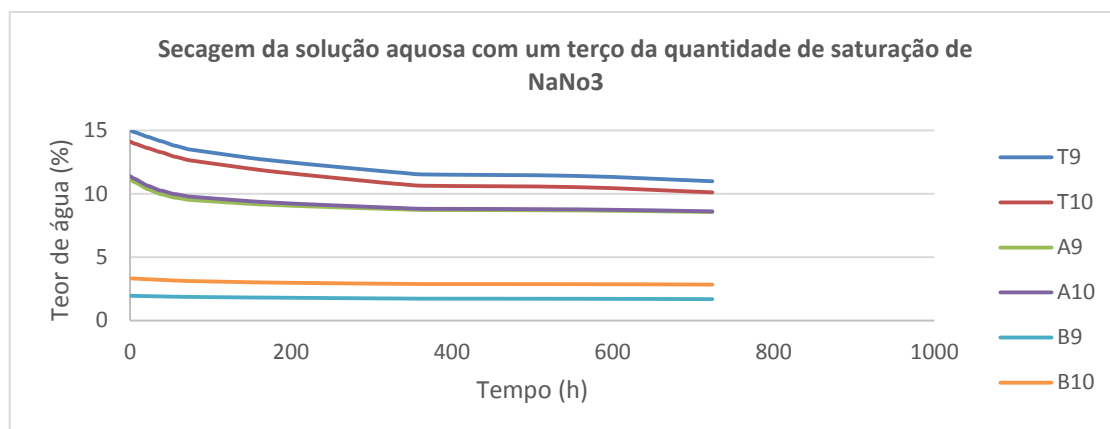


Figura 3.68 – Secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do nitrato de sódio.

Quadro 3.40 – Índice de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do nitrato de sódio.

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T9	0,0123	0,0123	0	0
T10	0,0123			
B9	0,013	0,0129	0,0001	1,096
B10	0,0128			
A9	0,0117	0,0118	0	0,6018
A10	0,0118			

Neste ensaio de secagem já se pode distinguir as fases de secagem das curvas de secagem referidas na parte teórica. Contudo estas fases ainda não estão bem definidas. As curvas que começam a apresentar estas fases são as do tijolo e da argamassa. Em ambas estima-se que possam estar no final da primeira fase ou no início da segunda fase. Seria necessário mais tempo para assegurar estimativas.

Os índices de secagem do tijolo e da argamassa são superiores aos índices obtidos no ensaio de secagem com a água. Segundo os resultados deste ensaio, o índice de secagem do betão tem um valor muito próximo do resultado no ensaio de secagem com a água.

As imagens apresentadas na figura 3.69 mostram a evolução da cristalização do nitrato de sódio com um terço da quantidade de saturação do sal. Trata-se de uma evolução semelhante à anterior apresentada, pois resultam da cristalização do mesmo sal.



Figura 3.69 – Evolução das manifestações do nitrato de sódio dissolvido em menores quantidades nos materiais

3.3.2.7. Resultados do ensaio de secagem com o sulfato de potássio (K_2SO_4) sobressaturado

Os resultados do ensaio de secagem da solução aquosa com K_2SO_4 sobressaturado são apresentados na figura 3.70 e no quadro 3.41.

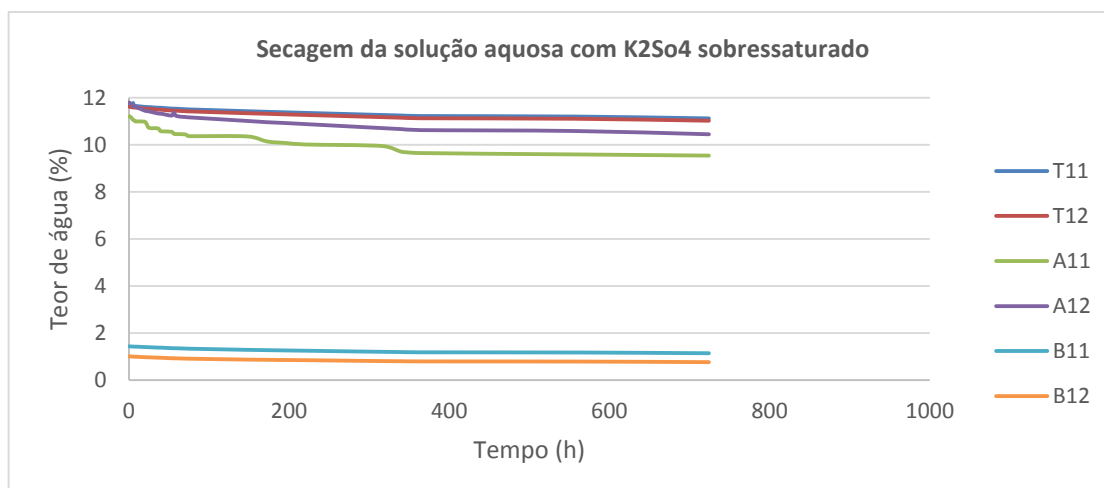


Figura 3.70 – Secagem da solução aquosa do sulfato de potássio sobressaturado

Quadro 3.41 – Índice de secagem da solução aquosa com o sulfato de potássio sobressaturado.

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T11	0,0135	0,0135	0	0
T12	0,0135			
B11	0,0127	0,0129	0,0002	1,6508
B12	0,0123			
A11	0,0127	0,0125	0,0003	2,2627
A12	0,0123			

Analisando a figura 3.70, o teor de água dos provetes foi diminuindo muito lentamente ao longo do mês que os provetes estiveram a secar. Neste ensaio obtiveram-se teores de água iniciais do tijolo e do betão menores, respetivamente 12% e 2%, enquanto que o teor de água da argamassa se mantém o mesmo.

Na figura 3.71 é possível observar a evolução da secagem dos materiais e das manifestações dos sais na superfície superior do provete. Este sal é o que apresenta menos manifestações na superfície dos materiais.

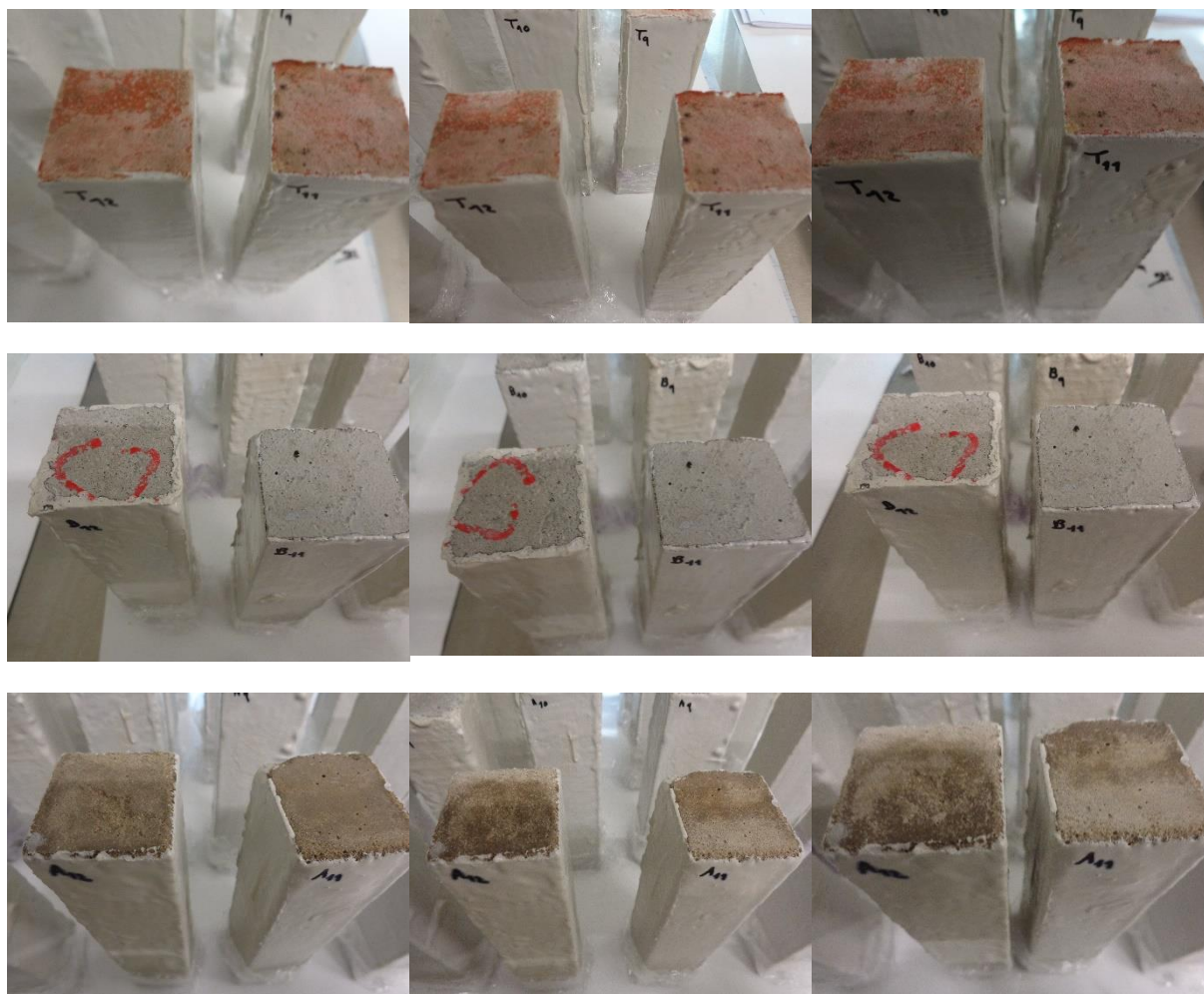


Figura 3.71 – Evolução das manifestações do nitrato de sódio sobressaturado nos materiais

3.3.2.8. Resultados do ensaio de secagem com o sulfato de potássio (K_2SO_4) com um terço da saturação

Os resultados do ensaio de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do K_2SO_4 são apresentados na figura 3.72 e no quadro 3.42.

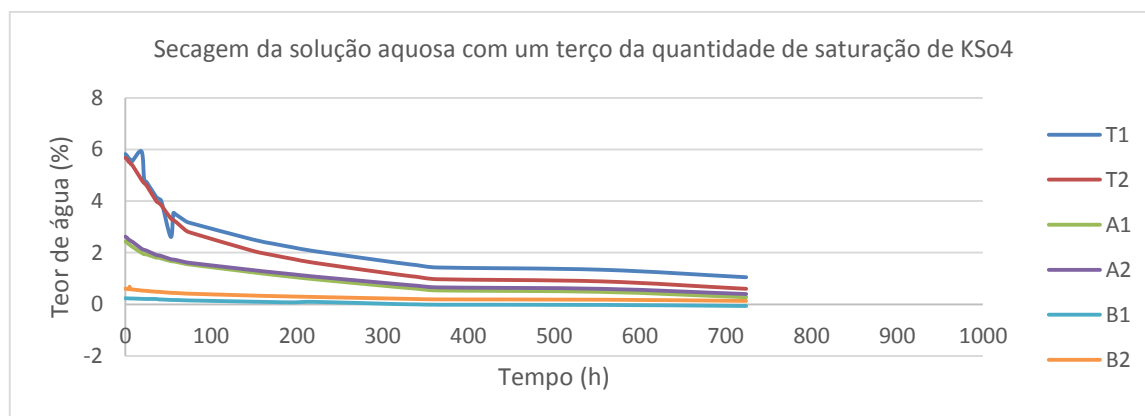


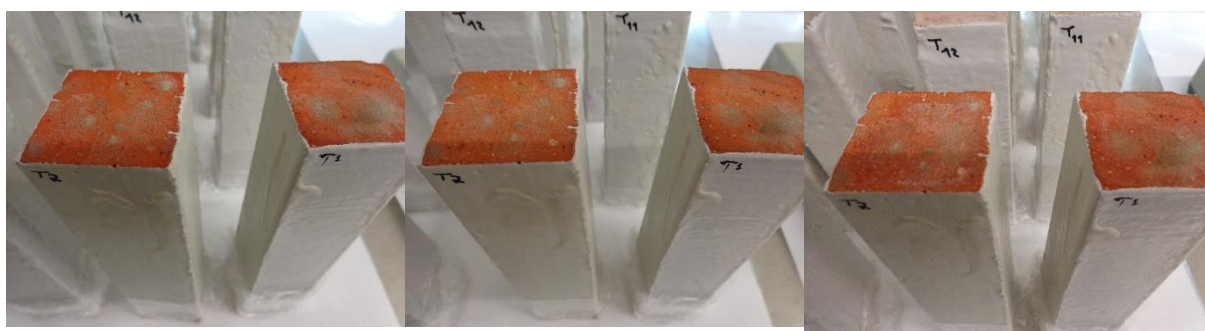
Figura 3.72 – Secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do sulfato de potássio.

Quadro 3.42 – Índice de secagem da solução aquosa com um terço da quantidade de saturação do sulfato de potássio.

Identificação do provete	Índice de secagem			
	Valor individual	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
T1	0,0075	0,0072	0,0005	6,9227
T2	0,0068			
B1	0,0089	0,0092	0,0004	3,864
B2	0,0094			
A1	0,0087	0,0086	0,0002	2,4811
A2	0,0084			

A figura 3.72 apresenta os resultados do ensaio de secagem com um terço da quantidade de saturação do sulfato de potássio ao longo de um mês. De acordo com os quadros anteriores é possível observar que o índice de secagem aumenta no tijolo e na argamassa com a quantidade de sulfato de potássio dissolvido na água. Pelo contrário, o sulfato de potássio dissolvido na água diminui o índice de secagem no betão. Contudo estes resultados têm que ser confirmados através de novos ensaios com tempo suficiente para os provetes secarem completamente.

Na figura 3.73 é possível observar a evolução da secagem dos materiais e das manifestações dos sais na superfície superior do provete. A evolução das manifestações dos sais aparenta ser semelhantes à apresentada anteriormente, ou seja, com uma fraca expressão.



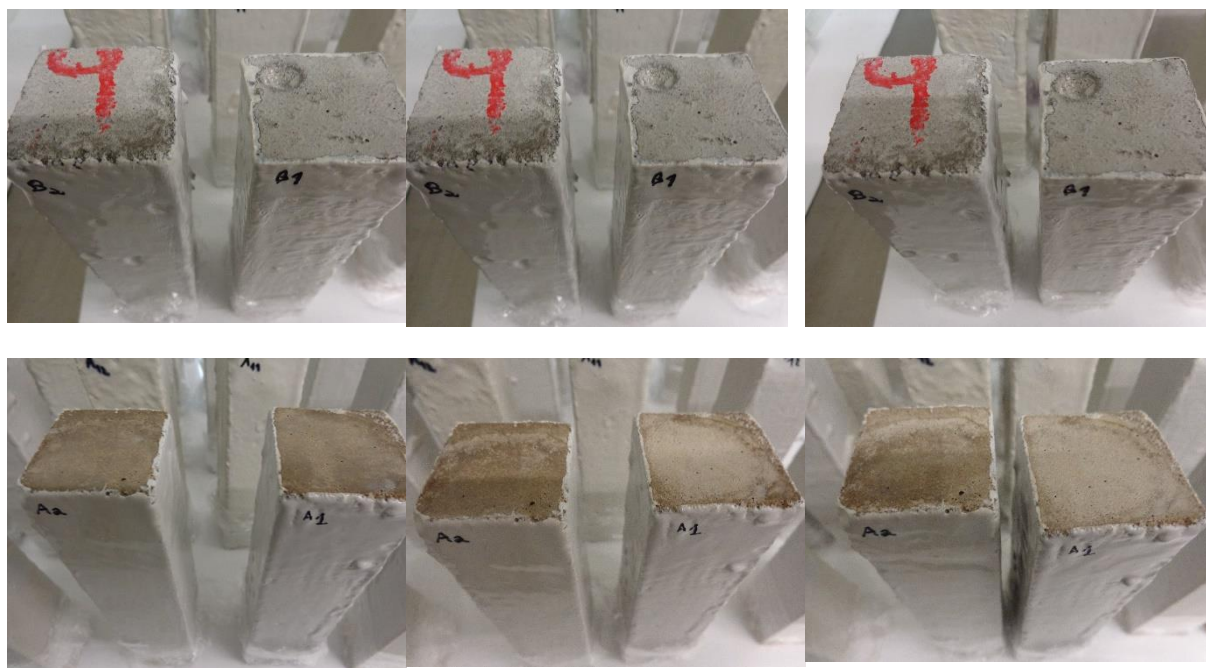


Figura 3.73 – Evolução das manifestações do sulfato de potássio dissolvido em menores quantidades nos materiais

3.3.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Não foi possível completar o ensaio de secagem uma vez que se trata de um ensaio muito lento. No entanto foi possível avaliar alguns aspetos impotentes.

O material que apresenta maior índice de secagem na água é o betão, $I.S.=0,0129$, superando os índices de secagem do tijolo e da argamassa. Também o valor do índice de secagem médio de todos os ensaios indica que o betão é o material que seca mais devagar com um índice de secagem de ($I.S.= 0,0129$) apesar do tijolo ($I.S.=0,0126$) e da argamassa ($I.S.=0,0124$) obterem valores muito próximos.

Em relação aos sais, o sal com um índice de secagem maior é o cloreto de sódio com $I.S.=0,01297$ seguido pelo sulfato de potássio ($I.S.=0,01296$) e por fim pelo nitrato de sódio ($I.S.=0,01278$). É interessante reparar que o cloreto de sódio e o sulfato de potássio apresentam valores parecidos, tendo um comportamento semelhante tanto neste ensaio como no ensaio de capilaridade, apesar de terem humidades relativas diferentes.

Comparando o efeito de aceleração/redução da secagem dos provetes (quadro 3.64) em relação ao índice de secagem com água, durante o tempo de média efetuado, os resultados revelam uma hegemonia do efeito acelerador dos sais no processo de secagem. Apenas o betão difere com o nitrato de sódio a apresentar um valor igual e o sulfato de potássio a apresentar um valor inferior ao do obtido com a água.

Quadro 3.43 – Quadro resumo do efeito dos sais no processo de secagem

Amostra	Cloreto de sódio	Nitrato de sódio	Sulfato de potássio
Tijolo	Acelera a secagem	Acelera a secagem	Acelera a secagem
Betão	Acelera a secagem	Não acelera nem reduz a secagem	Reduz a secagem
Argamassa	Acelera a secagem	Acelera a secagem	Acelera a secagem

Note-se que o quadro 3.43 deveria estar relacionado com o quadro apresentado no capítulo da absorção capilar seguindo uma ideia de continuidade entre o ensaio de absorção e o ensaio de secagem. Essa relação não se manifesta tanto como o esperado, pelo que se deverá reconhecer mais importância ao quadro do ensaio de capilaridade em detrimento deste, pois este ensaio não foi terminado.

Em relação ao teor de água, o tijolo apresenta o teor de água inicial médio maior (15%), seguido da argamassa (12%) e por fim do betão (1,6%). Verifica-se novamente a porosidade elevada do tijolo e baixa do betão. O sal com teor de água maior é o nitrato de sódio e o sal com o menor teor de água é o sulfato de potássio.

4

CONCLUSÕES

4.1. SUMÁRIO

Ao finalizar esta dissertação é possível afirmar que o objetivo fundamental inicialmente proposto foi atingido, pois foi realizado o ensaio de absorção capilar com três materiais e com três sais em concentrações diferentes. Contudo, o ensaio de secagem proposto não foi concluído por falta de tempo.

Este trabalho revelou-se laborioso pois foi necessário um estudo exaustivo da bibliografia acerca dos materiais porosos, da humidade ascensional, do processo de absorção capilar e de secagem e do fenómeno de cristalização dos sais.

Para a realização da tese foi necessário proceder a simulações de embebição e secagem dos materiais porosos, realizando ensaios de absorção capilar e de secagem no laboratório de física das construções.

Foi necessário montar todo o aparato técnico e material dos ensaios, e proceder às leituras, aos registos e à organização dos dados recolhidos, implicando deslocações periódicas ao laboratório.

A análise dos resultados obtidos nos ensaios permitiu retirar conclusões relativas à influência das soluções aquosas salinas nos processos de embebição e de secagem dos materiais porosos.

4.2. CONCLUSÕES GERAIS

O conjunto de conclusões a que se chegou durante a dissertação permite melhorar a compreensão sobre o efeito dos sais nos processos de embebição e de secagem dos materiais porosos aplicados na construção de edifícios.

O estudo realizado permitiu perceber a gravidade dos fenómenos da humidade ascensional proveniente das águas pluviais e das águas dos lençóis freáticos e dos fenómenos de cristalização dos sais dissolvidos nessa água. Os ciclos de cristalização/dissolução dos sais levam à deposição destes nas superfícies dos materiais porosos originando eflorescências superficiais e cripto-eflorescências. As características porosas dos materiais também influenciam todos estes processos.

A variação das condições de temperatura e de humidade relativa são a causa do fenómeno de cristalização dos sais. Estas condições alteram de acordo com o tipo de sal, ou seja, se o ambiente em que o sal se insere possui uma humidade relativa superior à humidade relativa de equilíbrio do sal, este sal precipita, caso contrário o sal dissolve-se. Também a temperatura influencia a degradação dos materiais porosos, pois a sua variação provoca a expansão dos sais.

A água e os sais solúveis sob variações de humidade relativa e temperatura criam mecanismos de hidratação, expansão e pressões no interior dos poros dos materiais provocando alterações físicas, químicas e mecânicas nos materiais porosos.

Desta análise surgiu o interesse em avaliar a capacidade de materiais distintos absorverem água com e sem sais solúveis em concentrações variáveis e com humidades relativas de equilíbrio diferentes.

Com o objetivo de estudar estes efeitos foram determinados os valores dos coeficientes de absorção capilar da água, sendo possível concluir que:

- O tijolo e a argamassa são materiais muito porosos, com coeficientes de absorção capilar elevados enquanto que o betão apresenta um coeficiente de absorção capilar reduzido;

- Segundo a norma alemã, concluiu-se que os provetes de tijolo e de argamassa se classificam como sendo de “sução rápida” e o betão como sendo “preventivo contra a água”. Em relação à caracterização sugerida por Sousa e P. Freitas o tijolo pode-se classificar como sendo de “sução rápida” e o betão como sendo “preventivo contra a água”, contudo a argamassa será classificada como sendo de “sução rápida” em vez de “preventiva contra a água” como sugerido por Sousa e P. Freitas. Conclui-se que temos dois materiais com elevada permeabilidade, o tijolo e a argamassa, e um material menos permeável, o betão;

Depois foi calculado o coeficiente de absorção utilizando soluções sobressaturadas e com um terço da quantidade de saturação de sais dissolvidos em vez de água. Com o objetivo de estudar os efeitos destes sais em diferentes quantidades foi possível concluir que:

- No tijolo e a argamassa, materiais muito porosos, o cloreto de sódio e o sulfato de potássio degradam a rede porosa de modo a acelerar o processo de absorção capilar e a aumentar a altura de progressão da humidade. Por outro lado, o nitrato de sódio preenche os poros colmatando-os e reduzindo a absorção capilar e a altura de progressão da humidade. No betão o cloreto de sódio e o sulfato de potássio reduzem a velocidade de absorção e o nitrato de sódio acelera a velocidade de absorção deste material. Repare-se que os sais com humidades relativas iguais apresentam comportamentos diferentes e o cloreto de sódio e o sulfato de potássio apresentam comportamentos iguais;

- A curva de absorção com um sal que acelera a absorção atinge a estabilidade mais rapidamente. Por exemplo, o tijolo sob a influência do cloreto de sódio e do sulfato de potássio atingem o patamar num tempo inferior do que sob a influência do nitrato de sódio. Em relação aos sais, por serem muito solúveis, estes apresentam uma gama de valores do ponto de transição pequena. Com o cloreto de sódio a estabilização é atingida numa gama de valores maior e mais dispersa enquanto que com o nitrato de sódio a estabilização é atingida numa gama de valores menor. A argamassa é o material que demora menos tempo a estabilizar e o betão é o que demora mais;

- O tijolo apresenta a maior variação de peso durante a absorção capilar traduzindo sua característica de elevada absorção. A argamassa apresenta um comportamento próximo ao do tijolo, também ela absorve água facilmente. O betão apresenta a menor variação de peso durante a absorção traduzindo a sua característica de baixa absorção. O sal que apresenta uma maior absorção é o nitrato de sódio;

A última etapa do trabalho consistiu em efetuar o ensaio de secagem dos materiais para observar o comportamento e as manifestações dos sais dissolvidos. Apesar de não ser possível completar o ensaio de secagem por ser um ensaio demasiado lento, calcularam-se os índices de secagem que permitiram concluir que:

- O material que apresenta maior índice de secagem é o tijolo. O sal com um índice de secagem maior é o cloreto de sódio, seguido pelo sulfato de potássio e depois pelo nitrato de sódio. É interessante reparar

que o cloreto de sódio e o sulfato de potássio apresentam valores parecidos, tendo um comportamento semelhante apesar de terem humidades relativas diferentes;

- Em geral durante a secagem os sais aceleram o processo. Apenas o betão difere com o nitrato de sódio e com o sulfato de potássio;

- O tijolo é o material que apresenta um teor de água inicial maior e o betão menor. Esta revela mais uma vez a porosidade elevada do tijolo e baixa do betão. O sal com maior teor de água é o nitrato de sódio e o sal com menor teor de água é o sulfato de potássio.

4.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Uma vez que os resultados finais do coeficiente de absorção de água e de secagem, quando influenciado pela presença de sais, apresentam alguns resultados menos esperados, seria interessante repetição destes ensaios de modo a poder corroborar o estudo efetuado neste trabalho.

Na sequência deste trabalho outros ensaios no domínio da humidade ascensional poderão ser realizados tendo em vista os seguintes objetivos:

- Estudo da variação da altura dos provetes, pois influenciaria a embebição e a secagem dos provetes;
- A influência da temperatura e da humidade relativa é tão importante no comportamento dos sais que seria interessante estudar esta área, fazendo variar estas condições nos ensaios de modo a poder averiguar humidades relativas para diferentes temperaturas e vice-versa;
- O uso de mais sais, com características diferentes permitiria enriquecer o estudo e complementá-lo, para além de se efetuar a simulação de vários ciclos de cristalização/dissolução dos sais nos materiais para poder averiguar tendências, comportamentos destes materiais e até confirmar valores de humidade relativa de equilíbrio dos sais;

Bibliografia

- [1] Guimarães, Ana Sofia. *A reabilitação como futuro da engenharia*. Jornadas de Engenharia ,2013
- [2] RILEM TC 25-PEM. *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods*, *Materials and Structures* 13, 197-199 (test No. II.2 “Coefficient of water vapour conductivity”), 204-207 (test No. II.5 “Evaporation curve”), 209 (test No. II.6 “Water absorption coefficient (capillarity)”). Paris.1980.
- [3] Guimarães, Ana S. M. G. *Caracterização experimental do funcionamento de sistemas de ventilação da base das paredes para tratamento da humidade ascensional*. Porto, FEUP.2007
- [4] Freitas, V. *Transferência de humidade em paredes de edifícios. Análise do Fenómeno de interface*. Tese de Doutoramento. Porto, FEUP.1992
- [5] Freitas, V; Torres, M.; Guimarães, A. *Humidade ascensional*. FEUP Edições.2008
- [6] [Online].Available:<http://www.valegandara.com/produtos/macico.php>. [Acedido em 7 Abril 2013]
- [7] Sousa, A. E Silva, J. *Manual de Alvenaria de Tijolo*. Coimbra: APICER. 2010
- [8] Couto, Sandra C. C. *Utilização de hidrófugos de superfície em materiais cerâmicos. Influência na secagem*. Lisboa, ISEL.2010
- [9] [Online].Available:http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40/1/Rui_Miguel_Ferreira_decivil.pdf. [Acedido em 5 Março 2013].
- [10] APEB. Norma NP EN 206-1. *A especificação do betão*. 2008
- [11] Silva, Goreti S. M. S. *Durabilidade e absorção por capilaridade em betão*.2010
- [12] A. De Sousa Coutinho, *fabrico e propriedades do betão (i,ii,iii)*,LNEC.2006
- [13] [Online].Available:
<http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/GDBAPE/construcoesembetao.pdf>[Acedido em 10 de Março 2013]
- [14] Almeida, José Luís M. S. L. *Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios*. Porto, FEUP.2010
- [15] [Online]. Available: http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/VEIGA_3Encore.pdf. [Acedido em 5 Março

- 2013].
- [16] Norma NP EN 459-1:2022. *Cal de construção: Definições, especificações e critérios de conformidade*.
- [17] Sousa Armindo J. C. *Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias*. Porto, FEUP.2010
- [18] Henriques, F.M.A., *Humidade em Paredes*. 1994: LNEC.
- [19] Ulsamer, Federico. *A humidade na construção civil*. Edições CETOP.1997
- [20] Ferreira, João M. L. C., *Degradação da pedra provocada por sais em edifícios antigos*. Porto, FEUP.2012
- [21] E393. *Determinação da absorção de água por capilaridade*. Lisboa, Especificação LNEC.1993
- [22] Brito, Vânia P. S. *Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte*. Lisboa, FCT.2008
- [23] LNEC. *Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos*. Lisboa.2006
- [24] LNEC. *O Problema das Eflorescências em Alvenarias e Estuques. Sua Formação. Prevenção e Ensaio*. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.1971
- [25] Freitas, V. *Manual de apoio ao projecto de reabilitação de edifícios antigos*. Editora OERN.2012
- [26] Rijniers, L., *Salt crystallization in porous materials: an NMR study*. 2004, Technische Universiteit Eindhoven: Eindhoven.
- [27] Gonçalves, T. *Salt crystallization in plastered or rendered walls*. Tese de Doutoramento. Lisboa, LNEC e IST.2007
- [28] Edra, Lúcia. *Estudo da Formação e Controlo do Fenómeno Eflorescência*. Porto, FEUP.2008
- [29] Miranda, Andreia e Pimenta, Joana. *Eflorescências*. Porto, CIN&FEUP.2006
- [30] Charola, A.E., *Salts in the deterioration of porous materials: an overview*. JAIC, 2000. **39**.
- [31] [Online]. Available: http://www.apeb.pt/fp/GUIA_APEB.pdf [Acedido em 13 Março 2013].
- [32] [online].Available:http://www.cimporportugal.pt/produtos_artigo.aspx?Lang=pt&id_object=14&id_gama=9 [Acedido em 4 de Abril 2013]
- [33][online].Available:http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/cienciadosmateriais/apontamentos/teorica_2_0022003/JSC_031a043.pdf. [Acedido em 2 de Abril 2013]

- [34] [online].Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Nitrato_de_s%C3%B3dio. [acedido em 9 de Abril 2013]
- [35] Sousa, José M. M. S. *Caracterização da capilaridade de revestimentos de fachada*. Porto, FEUP.1996
- [36] Sousa, J.M. and V. Peixoto de Freitas, *Caracterização do Coeficiente de Capilaridade e da Permeabilidade Líquida de Materiais de Revestimento de Fachada*, in *Encontro 1997, Materiais de Construção - Inovação e qualidade*. 1997: ISMAG, Lisboa.
- [37] CNR Centro di studio di Milano e roma sulle cause di deperimento e sui metodi di conservazione delle opere d'arte – NORMAL -29/88 Mistura del indice di asciugamento. Gruppo Normal

Anexos

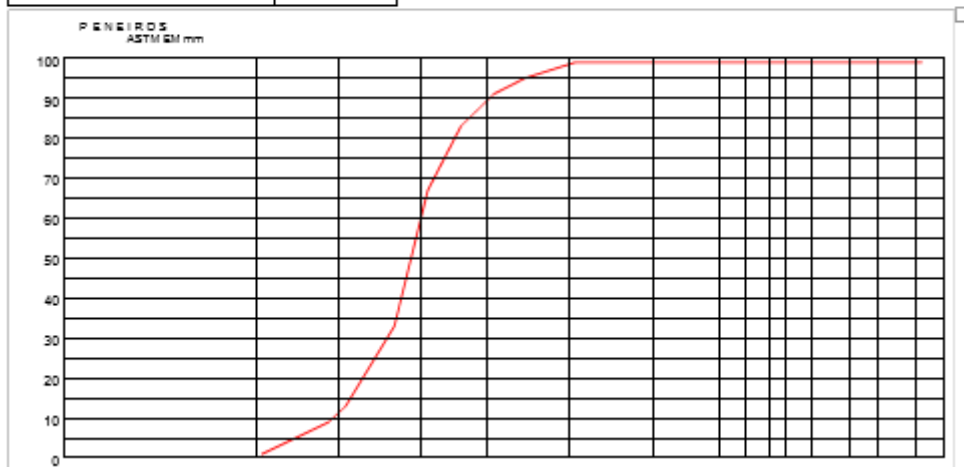
Anexo I

CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA

Obra: Ensaio de Provetas 40x40x160	Origem: Zamora	Data: 08-03-2013
Amostra: 0x1,5		Ref.: Areia fina

Análise granulométrica				
Peneiras		Material retido		% Acumuladas do material que passa
mm	ASTM	Peso (g)	% (0,1)	
75,00	3"	0,00	0,0	100,0
50,00	2"	0,00	0,0	100,0
37,50	1" 1/2	0,00	0,0	100,0
25,00	1"	0,00	0,0	100,0
19,00	3/4"	0,00	0,0	100,0
16,00	5/8"	0,00	0,0	100,0
12,50	1/2"	0,00	0,0	100,0
9,500	3/8"	0,00	0,0	100,0
6,300	1/4"	0,00	0,0	100,0
4,750	nº 4	0,00	0,0	100,0
3,360	nº 8	0,00	0,0	100,0
2,000	nº 10	0,00	0,0	100,0
1,180	nº 16	40,00	4,0	96,0
0,850	nº 20	40,00	4,0	92,0
0,600	nº 30	80,00	8,0	84,0
0,425	nº 40	160,00	16,0	68,0
0,300	nº 50	340,00	34,0	34,0
0,180	nº 80	200,00	20,0	14,0
0,150	nº 100	40,00	4,0	10,0
0,075	nº 200	80,00	8,0	2,0
< nº200		20	2,0	
SOMA		1000		

Dados complementares da amostra	
Peso total da amostra (g)	1000
Peso da amostra seca após lavagem (g)	0
Perda na lavagem (g)	1.000
Retido no funil após lavagem (g)	-930
Tela anterior ao nº200 (g)	20



Anexo II

DADOS RELATIVOS AOS PROVETES DE BETÃO:

I- Composição do betão (1m³)

Materiais doseados em peso (Quilograma)

Materiais inertes - (Pedreira Vale da Vaca- Viseu)

. Areia fina (0/2mm)	197Kg
. Areia grossa (0/4mm)	618Kg
. Brita 1 (4/12mm)	495Kg
. Brita 2 (12/20mm)	572Kg

Ligantes

. Cimento CMII A-L 42,5 R (Souselas)	247Kg
. Cinzas volantes - Central Termoelétrica Sines	82Kg

Materiais doseados em volume (litros)

Adjuvantes

. Pozzoloth 540	1,37 l
. Glenium Sky 617	0,98 l

Água	167 l
------	-------

Razão água/Ligante (A/C)	0,50
--------------------------	------

II- Fabrico do betão hidráulico em central- da firma Tecnovia -Viseu

Características do betão C25/30 XC2 S3 25%CZ

. Classe de resistência	C25/30
. Consistência	S3
. Agregado máximo	D20
. Classe de exposição	XC2
. Tipo de cimento	CEM II A-L 42,5R
. Adição de Cinzas volantes	
. Tempo de mistura 20 seg.	

III- Colheita de Provetes 15x15x15

. Data do fabrico	22/02/2013
. Compactação mecânica com utilização de vibrador de agulha	
. Consistência (abaixamento) de 130mm verificado pelo Cone Abrams	
. Temperatura ambiente de 8 0C e temperatura no betão de 13,5 0C	

Anexo III

REGISTO DOS ENSAIOS DE CAPILARIDADE E DE SECAGEM

ENSAIO COM A ÁGUA DOS PROVETES T1, T2, A1, A2,B1 E B2

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
469,96		0	0	0
472,649	0,002689	120	10,95445	1,680625
473,657	0,003697	300	17,32051	2,310625
474,539	0,004579	600	24,4949	2,861875
475,435	0,005475	900	30	3,421875
476,639	0,006679	1800	42,42641	4,174375
477,676	0,007716	2700	51,96152	4,8225
479,161	0,009201	3600	60	5,750625
485,699	0,015739	10800	103,923	9,836875
488,134	0,018174	14400	120	11,35875
491,549	0,021589	21600	146,9694	13,49313
493,128	0,023168	25200	158,7451	14,48
509,392	0,039432	86400	293,9388	24,645
515,459	0,045499	172800	415,6922	28,43688

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
485,572	0	0	0	0
486,351	0,000779	60	7,745967	0,486875
486,538	0,000966	180	13,41641	0,60375
486,795	0,001223	300	17,32051	0,764375
487,059	0,001487	600	24,4949	0,929375
487,383	0,001811	900	30	1,131875
487,752	0,00218	1800	42,42641	1,3625
488,495	0,002923	3600	60	1,826875
496,692	0,01112	28800	169,7056	6,95
510,672	0,0251	86400	293,9388	15,6875
545,201	0,059629	345600	587,8775	37,26813
546,028	0,060456	432000	657,2671	37,785
546,297	0,060725	518400	720	37,95313
546,571	0,060999	604800	777,6889	38,12438
546,729	0,061157	691200	831,3844	38,22313
547,172	0,0616	950400	974,8846	38,5

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
472,763		0	0	0
475,85	0,003087	120	10,95445	1,929375
477,059	0,004296	300	17,32051	2,685
478,073	0,00531	600	24,4949	3,31875
479,14	0,006377	900	30	3,985625
480,549	0,007786	1800	42,42641	4,86625
481,752	0,008989	2700	51,96152	5,618125
483,454	0,010691	3600	60	6,681875
490,954	0,018191	10800	103,923	11,36938
493,728	0,020965	14400	120	13,10313
497,677	0,024914	21600	146,9694	15,57125
499,522	0,026759	25200	158,7451	16,72438
517,645	0,044882	86400	293,9388	28,05125
519,852	0,047089	172800	415,6922	29,43063

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
479,852		0	0	0
480,479	0,000627	60	7,745967	0,391875
480,778	0,000926	180	13,41641	0,57875
480,985	0,001133	300	17,32051	0,708125
481,337	0,001485	600	24,4949	0,928125
481,637	0,001785	900	30	1,115625
482	0,002148	1800	42,42641	1,3425
482,695	0,002843	3600	60	1,776875
490,638	0,010786	28800	169,7056	6,74125
502,938	0,023086	86400	293,9388	14,42875
532,129	0,052277	345600	587,8775	32,67313
538,181	0,058329	432000	657,2671	36,45563
541,246	0,061394	518400	720	38,37125
542,087	0,062235	604800	777,6889	38,89688
542,302	0,06245	691200	831,3844	39,03125
542,715	0,062863	950400	974,8846	39,28938

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
588,367		0	0	0
589,718	0,001351	300	17,32051	0,844375
589,948	0,001581	600	24,4949	0,988125
590,237	0,00187	1200	34,64102	1,16875
590,37	0,002003	1800	42,42641	1,251875
590,765	0,002398	3600	60	1,49875
590,911	0,002544	5400	73,48469	1,59
591,082	0,002715	7200	84,85281	1,696875
591,338	0,002971	10800	103,923	1,856875
591,542	0,003175	14400	120	1,984375
591,629	0,003262	16200	127,2792	2,03875
593,074	0,004707	86400	293,9388	2,941875
594,345	0,005978	345600	587,8775	3,73625
594,516	0,006149	432000	657,2671	3,843125
594,645	0,006278	518400	720	3,92375
594,741	0,006374	604800	777,6889	3,98375
594,837	0,00647	691200	831,3844	4,04375
594,973	0,006606	950400	974,8846	4,12875

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
598,438		0	0	0
599,543	0,001105	300	17,32051	0,690625
599,726	0,001288	600	24,4949	0,805
599,849	0,001411	1200	34,64102	0,881875
599,997	0,001559	1800	42,42641	0,974375
600,564	0,002126	3600	60	1,32875
600,589	0,002151	5400	73,48469	1,344375
600,684	0,002246	7200	84,85281	1,40375
600,929	0,002491	10800	103,923	1,556875
601,157	0,002719	14400	120	1,699375
601,268	0,00283	16200	127,2792	1,76875
603,591	0,005153	86400	293,9388	3,220625
607,26	0,008822	345600	587,8775	5,51375
608,044	0,009606	432000	657,2671	6,00375
608,759	0,010321	518400	720	6,450625
609,402	0,010964	604800	777,6889	6,8525
609,946	0,011508	691200	831,3844	7,1925
610,394	0,011956	950400	974,8846	7,4725

	1 dia																	2 dia				3 dias			
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	15h	11h	14h	17h									
t1	547,17	548,04	547,70	547,42	547,22	546,93	546,71	546,48	546,27	546,06	542,76	542,04	541,45	538,21	537,80										
t2	542,72	543,34	543,00	542,71	542,50	542,21	541,99	541,75	541,54	541,33	539,08	538,36	537,78	534,69	534,30										
b1	594,97	596,09	596,03	596,01	595,99	595,98	595,97	595,95	595,95	595,94	595,84	595,82	595,80	595,74	595,73										
b2	611,39	612,46	612,37	612,34	612,32	612,30	612,29	612,27	612,26	612,25	612,15	612,12	612,10	612,02	612,01										
a1	549,82	550,72	550,45	550,20	550,02	549,78	549,59	549,40	549,22	549,05	546,52	545,98	545,57	543,52	543,27										
a2	511,55	512,63	512,37	512,14	511,96	511,73	511,54	511,37	511,19	511,02	508,48	507,95	507,55	505,61	505,38										

4dias			5dias			6dias			7dias		
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h
			530,19	529,70							
			527,20	526,88							
			595,61	595,56							
			611,83	611,82							
			540,57	540,45							
41389,00	502,65	502,53	f d s								
provetes utilizados para ensaio do k2so4 3%											

ENSAIO DE SECAGEM

ENSAIO COM O CLORETO DE SÓDIO SOBRESSATURADO DOS PROVETES T3, T4, A3, A4,B3 E B4

Pesagem (gramas)	Δmassa(kg)	t(s)	t^0,5	mi
484,2		0	0	0
486,243	0,002043	60	7,745967	1,276875
486,784	0,002584	180	13,41641	1,615
487,435	0,003235	300	17,32051	2,021875
488,269	0,004069	600	24,4949	2,543125
488,738	0,004538	900	30	2,83625
489,682	0,005482	1800	42,42641	3,42625
491,338	0,007138	3600	60	4,46125
502,945	0,018745	28800	169,7056	11,71563
518,16	0,03396	86400	293,9388	21,225
552,27	0,06807	345600	587,8775	42,54375
555,882	0,071682	432000	657,2671	44,80125
556,251	0,072051	518400	720	45,03188
556,447	0,072247	604800	777,6889	45,15438
556,546	0,072346	691200	831,3844	45,21625
556,706	0,072506	950400	974,8846	45,31625

Pesagem (gramas)	Δmassa(kg)	t(s)	t^0,5	mi
490,764		0	0	0
493,207	0,002443	60	7,745967	1,526875
493,954	0,00319	180	13,41641	1,99375
494,485	0,003721	300	17,32051	2,325625
495,44	0,004676	600	24,4949	2,9225
495,96	0,005196	900	30	3,2475
497,08	0,006316	1800	42,42641	3,9475
498,893	0,008129	3600	60	5,080625
513,274	0,02251	28800	169,7056	14,06875
531,589	0,040825	86400	293,9388	25,51563
564,186	0,073422	345600	587,8775	45,88875
564,834	0,07407	432000	657,2671	46,29375
564,994	0,07423	518400	720	46,39375
565,188	0,074424	604800	777,6889	46,515
565,297	0,074533	691200	831,3844	46,58313
565,409	0,074645	950400	974,8846	46,65313

Pesagem (gramas)	Δmassa(kg)	t(s)	t^0,5	mi
485,149		0	0	0
488,22	0,003071	120	10,95445	1,919375
489,553	0,004404	300	17,32051	2,7525
490,958	0,005809	600	24,4949	3,630625
492,055	0,006906	900	30	4,31625
493,425	0,008276	1800	42,42641	5,1725
494,037	0,008888	2700	51,96152	5,555
495,009	0,00986	3600	60	6,1625
500,867	0,015718	10800	103,923	9,82375
503,04	0,017891	14400	120	11,18188
506,592	0,021443	21600	146,9694	13,40188
508,049	0,0229	25200	158,7451	14,3125
525,882	0,040733	86400	293,9388	25,45813
542,271	0,057122	345600	587,8775	35,70125
542,611	0,057462	432000	657,2671	35,91375
542,829	0,05768	518400	720	36,05
543,118	0,057969	604800	777,6889	36,23063
543,292	0,058143	691200	831,3844	36,33938
543,669	0,05852	950400	974,8846	36,575

Pesagem (gramas)	Δmassa(kg)	t(s)	t^0,5	mi
492,681		0	0	0
495,713	0,003032	120	10,95445	1,895
496,953	0,004272	300	17,32051	2,67
498,6	0,005919	600	24,4949	3,699375
499,442	0,006761	900	30	4,225625
500,979	0,008298	1800	42,42641	5,18625
502,677	0,009996	2700	51,96152	6,2475
502,56	0,009879	3600	60	6,174375
508,431	0,01575	10800	103,923	9,84375
510,705	0,018024	14400	120	11,265
514,205	0,021524	21600	146,9694	13,4525
515,668	0,022987	25200	158,7451	14,36688
533,499	0,040818	86400	293,9388	25,51125
550,701	0,05802	345600	587,8775	36,2625
551,051	0,05837	432000	657,2671	36,48125
551,336	0,058655	518400	720	36,65938
551,63	0,058949	604800	777,6889	36,84313
551,847	0,059166	691200	831,3844	36,97875
552,297	0,059616	950400	974,8846	37,26

Pesagem (gramas)	Δmassa(kg)	t(s)	t^0,5	mi
569,884		0	0	0
570,31	0,000426	300	17,32051	0,26625
570,379	0,000495	600	24,4949	0,309375
570,47	0,000586	1200	34,64102	0,36625
570,589	0,000705	1800	42,42641	0,440625
570,837	0,000953	3600	60	0,595625
570,935	0,001051	5400	73,48469	0,656875
571,07	0,001186	7200	84,85281	0,74125
571,296	0,001412	10800	103,923	0,8825
571,474	0,00159	14400	120	0,99375
571,576	0,001692	16200	127,2792	1,0575
572,821	0,002937	86400	293,9388	1,835625
573,798	0,003914	345600	587,8775	2,44625
573,902	0,004018	432000	657,2671	2,51125
573,981	0,004097	518400	720	2,560625
573,997	0,004113	604800	777,6889	2,570625
574,021	0,004137	691200	831,3844	2,585625
574,023	0,004139	950400	974,8846	2,586875

Pesagem (gramas)	Δmassa(kg)	t(s)	t^0,5	mi
570,023		0	0	0
570,759	0,000736	300	17,32051	0,46
570,911	0,000888	600	24,4949	0,555
571,105	0,001082	1200	34,64102	0,67625
571,299	0,001276	1800	42,42641	0,7975
571,631	0,001608	3600	60	1,005
571,759	0,001736	5400	73,48469	1,085
571,969	0,001946	7200	84,85281	1,21625
572,293	0,00227	10800	103,923	1,41875
572,523	0,0025	14400	120	1,5625
572,631	0,002608	16200	127,2792	1,63
574,607	0,004584	86400	293,9388	2,865
576,12	0,006097	345600	587,8775	3,810625
576,318	0,006295	432000	657,2671	3,934375
576,492	0,006469	518400	720	4,043125
576,547	0,006524	604800	777,6889	4,0775
576,56	0,006537	691200	831,3844	4,085625
576,664	0,006641	950400	974,8846	4,150625

	1 dia										2dia					3 dias		
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	15h	11h	14h	17h		
t3	554,706	557,72	557,632	557,586	557,561	557,575	557,497	557,474	557,447	557,41	556,94	556,885	556,829	556,549	556,51			
t4	565,409	566,39	566,286	566,243	566,211	566,178	566,144	566,114	566,088	566,05	565,63	565,57	565,502	565,177	565,138			
b3	574,023	575,34	575,311	575,298	575,3	575,285	575,277	575,275	575,273	575,26	575,21	575,218	575,202	575,166	575,171			
b4	576,964	578,1	578,081	578,072	578,066	578,048	578,045	578,042	578,039	578,03	577,97	577,968	577,953	577,921	577,92			
a3	543,669	544,59	544,445	544,347	544,286	544,224	544,189	544,156	544,13	544,11	543,79	543,748	543,703	543,516	543,497			
a4	552,297	553,19	553,057	552,97	552,927	552,889	552,86	552,836	552,81	552,79	552,51	552,48	552,434	552,259	552,241			

4dias			5dias			6dias			7dias			dia8	dia9	dia 10	dia 11	dia 12	
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	14h	14h	14h	14h	14h	
			555,774	555,723									554,944	554,73		554,376	554,208
			564,353	564,3									563,373	563,088		562,614	562,384
			575,103	575,1									574,942	574,894		574,836	574,797
			577,857	577,853									577,69	577,65		577,581	577,534
			543,179	543,3									542,781	542,662		542,466	542,378
25/abr			551,922	551,906													
			551,547	551,434													1 de maio

ENSAIO DE SECAGEM																										
dia 13		dia 14		dia 15		dia 16		dia 17		dia 18		dia 19		dia 20		semana 1		semana 2		semana 4		semana 5		semana 6		
14h	4h	14h	14h	14h	14h	14h	14h	14h	14h					4f as 14h	4f as 14h											
fds			553,747		553,433	553,255								552,36	551,442	550,581	549,674	549,032								
			561,739		561,318	561,088								559,973	558,764	557,664	556,534	555,67								
			574,72		574,691	574,687								574,523	574,331	574,16	573,984	573,935								
			577,443		577,407	577,403								577,202	576,981	576,784	576,59	576,522								
			542,14		542,002	541,979								541,636	541,218	540,835	540,432	540,207								
			550,979		550,864	550,832								550,533	550,178	549,858	549,515	549,322								

ENSAIO DE SECAGEM

ENSAIO COM O CLORETO DE SÓDIO COM UM TERÇO DA SATURAÇÃO DOS PROVETES T5, T6, A5, A6, B5 E B6

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
473,984		0	0	0
474,484	0,0005	60	7,745967	0,3125
474,987	0,001003	180	13,41641	0,626875
475,25	0,001266	300	17,32051	0,79125
475,62	0,001636	600	24,4949	1,0225
475,97	0,001986	900	30	1,24125
476,047	0,002063	1800	42,42641	1,289375
477,194	0,00321	3600	60	2,00625
484,647	0,010663	28800	169,7056	6,664375
495,807	0,021823	86400	293,9388	13,63938
509,244	0,03526	172800	415,6922	22,0375
529,711	0,055727	345600	587,8775	34,82938
539,344	0,06536	604800	777,6889	40,85

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
488,916		0	0	0
490,443	0,001523	60	7,745967	0,951875
491,87	0,00295	180	13,41641	1,84375
492,832	0,003912	300	17,32051	2,445
493,716	0,004796	600	24,4949	2,9975
494,575	0,005655	900	30	3,534375
496,791	0,007871	1800	42,42641	4,919375
497,765	0,008845	3600	60	5,528125
514,155	0,025235	28800	169,7056	15,77188
535,494	0,046574	86400	293,9388	29,10875
553,328	0,064408	172800	415,6922	40,255
553,902	0,064982	345600	587,8775	40,61375
554,255	0,065335	604800	777,6889	40,83438

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
492,864		0	0	0
496,008	0,003144	120	10,95445	1,965
496,937	0,004073	300	17,32051	2,545625
498,155	0,005291	600	24,4949	3,306875
499,397	0,006533	900	30	4,083125
501,294	0,00843	1800	42,42641	5,26875
502,013	0,009149	2700	51,96152	5,718125
503,886	0,011022	3600	60	6,88875
511,867	0,019003	10800	103,923	11,87688
514,889	0,022025	14400	120	13,76563
519,151	0,026287	21600	146,9694	16,42938
521,148	0,028284	25200	158,7451	17,6775
542,06	0,049196	86400	293,9388	30,7475
548,676	0,055812	172800	415,6922	34,8825
549,459	0,056595	345600	587,8775	35,37188
550,145	0,057281	604800	777,6889	35,80063

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
465,978		0	0	0
468,865	0,002887	120	10,95445	1,804375
469,814	0,003836	300	17,32051	2,3975
470,779	0,004801	600	24,4949	3,000625
471,864	0,005886	900	30	3,67875
473,486	0,007508	1800	42,42641	4,6925
474,089	0,008111	2700	51,96152	5,069375
475,696	0,009718	3600	60	6,07375
482,445	0,016467	10800	103,923	10,29188
485,004	0,019026	14400	120	11,89125
488,589	0,022611	21600	146,9694	14,13188
490,589	0,024611	25200	158,7451	15,38188
507,073	0,041095	86400	293,9388	25,68438
514,498	0,04852	172800	415,6922	30,325
515,362	0,049384	345600	587,8775	30,865
516,124	0,050146	604800	777,6889	31,34125

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
575,108		0	0	0
575,986	0,000878	300	17,32051	0,54875
576,235	0,006351	600	24,4949	3,969375
576,43	0,006546	1200	34,64102	4,09125
576,667	0,006783	1800	42,42641	4,239375
577,153	0,007269	3600	60	4,543125
577,549	0,007665	5400	73,48469	4,790625
577,808	0,007924	7200	84,85281	4,9525
578,136	0,008252	10800	103,923	5,1575
578,396	0,008512	14400	120	5,32
578,439	0,008555	16200	127,2792	5,346875
580,01	0,010126	86400	293,9388	6,32875
580,575	0,010691	172800	415,6922	6,681875
580,886	0,011002	345600	587,8775	6,87625
581,137	0,011253	604800	777,6889	7,033125

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
606,118		0	0	0
606,83	0,000712	300	17,32051	0,445
606,855	0,000737	600	24,4949	0,460625
607,059	0,000941	1200	34,64102	0,588125
607,22	0,001102	1800	42,42641	0,68875
607,547	0,001429	3600	60	0,893125
607,748	0,00163	5400	73,48469	1,01875
607,927	0,001809	7200	84,85281	1,130625
608,133	0,002015	10800	103,923	1,259375
608,333	0,002215	14400	120	1,384375
608,388	0,00227	16200	127,2792	1,41875
609,745	0,003627	86400	293,9388	2,266875
610,286	0,004168	172800	415,6922	2,605
610,669	0,004551	345600	587,8775	2,844375
610,973	0,004855	604800	777,6889	3,034375

	1 dia										2dia		
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	15h
t5	539,344	540,42	540,292	540,105	539,895	539,764	539,591	539,474	539,39	539,26	537,99	537,68	
t6	544,255	555,56	555,476	555,363	555,213	555,131	555,016	554,934	554,871	554,78	553,85	553,625	
a5	550,145	551,7	551,566	551,372	551,146	550,995	550,813	550,684	550,576	550,42	549,11	548,837	
a6	516,124	517,4	517,279	517,079	516,854	516,691	516,481	516,343	516,23	516,07	514,62	514,329	
b5	581,137	582,34	582,33	582,321	582,305	582,285	582,268	582,267	582,262	582,24	582,14	582,127	
b6	610,973	612,29	612,258	612,228	612,211	612,192	612,172	612,164	612,155	612,14	612,05	612,037	

3 dias			4dias			5dias			6dias			7dias			8 dia	9 dia	10 dia
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	14h		14h
			18/jun	535,305	535,206	534	534,44	534,333							532,01		530,361
			552,057	551,938	551,852	551	551,265	551,178							549,679		548,821
			547,75	547,695	547,664	547	547,465	547,437							547,029		546,813
			512,917	512,837	512,779	512	512,428	512,372							511,671		511,319
			581,994	581,989	581,955	582	581,917	581,916							581,759		581,683
1 de maio			611,903	611,895	611,88	612	611,818	611,805							611,66		611,588
															</		

ENSAIO DE SECAGEM

11 dia	12 dia	13dia	14dia	15 dia	16 dia	17 dia	18 dia	19 dia	20 dia	dia 21	semana1	semana2
529,774					527,406	526,843	526,379	525,94	525,486	523,442	520,875	518,323
548,466					547,023	546,695	546,349	545,99	545,666	544,096	542,012	539,909
546,733					546,355	546,265	546,18	546,07	545,993	545,592	545,048	544,473
511,184					510,637	510,515	510,39	510,25	510,141	509,612	508,868	508,146
581,663					581,487	581,44	581,391	581,34	581,297	581,116	580,871	580,639
611,573					611,404	611,374	611,335	611,27	611,245	611,095	610,883	610,681

ENSAIO COM O NITRATO DE SÓDIO SOBRESSATURADO DOS PROVETES T7, T8, A7, A8,B7 E B8

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
484,079		0	0	0
484,6	0,000521	60	7,745967	0,325625
484,859	0,00078	180	13,41641	0,4875
485,06	0,000981	300	17,32051	0,613125
485,355	0,001276	600	24,4949	0,7975
485,562	0,001483	900	30	0,926875
485,982	0,001903	1800	42,42641	1,189375
486,664	0,002585	3600	60	1,615625
492,687	0,008608	28800	169,7056	5,38
501,93	0,017851	86400	293,9388	11,15688
512,544	0,028465	172800	415,6922	17,79063
535,369	0,05129	345600	587,8775	32,05625
549,248	0,065169	604800	777,6889	40,73063

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
485,916		0	0	0
487,469	0,001553	60	7,745967	0,970625
488,378	0,002462	180	13,41641	1,53875
489,098	0,003182	300	17,32051	1,98875
489,712	0,003796	600	24,4949	2,3725
490,247	0,004331	900	30	2,706875
491,329	0,005413	1800	42,42641	3,383125
493,119	0,007203	3600	60	4,501875
506,303	0,020387	28800	169,7056	12,74188
522,895	0,036979	86400	293,9388	23,11188
539,143	0,053227	172800	415,6922	33,26688
555,159	0,069243	345600	587,8775	43,27688
566,74	0,080824	604800	777,6889	50,515

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
492,38		0	0	0
494,788	0,002408	120	10,95445	1,505
495,952	0,003572	300	17,32051	2,2325
496,642	0,004262	600	24,4949	2,66375
497,789	0,005409	900	30	3,380625
498,908	0,006528	1800	42,42641	4,08
499,87	0,00749	2700	51,96152	4,68125
501,479	0,009099	3600	60	5,686875
508,38	0,016	10800	103,923	10
511,127	0,018747	14400	120	11,71688
515,017	0,022637	21600	146,9694	14,14813
516,853	0,024473	25200	158,7451	15,29563
534,579	0,042199	86400	293,9388	26,37438
549,038	0,056658	172800	415,6922	35,41125
558,459	0,066079	345600	587,8775	41,29938
566,235	0,073855	604800	777,6889	46,15938

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
496,14		0	0	0
497,928	0,001788	120	10,95445	1,1175
498,929	0,002789	300	17,32051	1,743125
499,36	0,00322	600	24,4949	2,0125
500,326	0,004186	900	30	2,61625
501,264	0,005124	1800	42,42641	3,2025
502,077	0,005937	2700	51,96152	3,710625
503,496	0,007356	3600	60	4,5975
509,354	0,013214	10800	103,923	8,25875
511,688	0,015548	14400	120	9,7175
515,07	0,01893	21600	146,9694	11,83125
516,719	0,020579	25200	158,7451	12,86188
533,218	0,037078	86400	293,9388	23,17375
547,777	0,051637	172800	415,6922	32,27313
562,459	0,066319	345600	587,8775	41,44938
567,447	0,071307	604800	777,6889	44,56688

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
576,961		0	0	0
578,08	0,001119	300	17,32051	0,699375
578,42	0,001459	600	24,4949	0,911875
578,708	0,001747	1200	34,64102	1,091875
578,951	0,00199	1800	42,42641	1,24375
579,537	0,002576	3600	60	1,61
579,968	0,003007	5400	73,48469	1,879375
580,345	0,003384	7200	84,85281	2,115
580,857	0,003896	10800	103,923	2,435
581,289	0,004328	14400	120	2,705
581,436	0,004475	16200	127,2792	2,796875
584,888	0,007927	86400	293,9388	4,954375
586,632	0,009671	172800	415,6922	6,044375
587,886	0,010925	345600	587,8775	6,828125
588,745	0,011784	604800	777,6889	7,365

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
584,038		0	0	0
584,542	0,000504	300	17,32051	0,315
584,713	0,000675	600	24,4949	0,421875
584,839	0,000801	1200	34,64102	0,500625
585,031	0,000993	1800	42,42641	0,620625
585,269	0,001231	3600	60	0,769375
585,476	0,001438	5400	73,48469	0,89875
585,667	0,001629	7200	84,85281	1,018125
585,98	0,001942	10800	103,923	1,21375
586,167	0,002129	14400	120	1,330625
586,26	0,002222	16200	127,2792	1,38875
587,787	0,003749	86400	293,9388	2,343125
588,461	0,004423	172800	415,6922	2,764375
588,951	0,004913	345600	587,8775	3,070625
589,103	0,005065	604800	777,6889	3,165625

1 dia																
2dia																
3 dias																
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	15h	11h	14h	17h
t7	549,248	550,31	550,277	550,247	550,229	550,212	550,2	550,185	550,176	550,17	550,02	549,983				
t8	566,74	567,96	567,935	567,924	567,904	567,902	567,888	567,882	567,871	567,86	567,77	567,764				
a7	566,235	567,46	567,374	567,295	567,227	567,189	567,142	567,122	567,082	567,06	566,68	566,56				
a8	567,447	568,57	568,49	568,38	568,275	568,22	568,139	568,101	568,041	567,98	567,21	567,03				
b7		591,6	591,582	591,576	591,565	591,548	591,54	591,528	591,521	591,5	591,39	591,37				
b8		595,12	595,094	595,072	595,05	595,031	595,019	595,011	594,989	594,97	594,68	594,623		1 de maio		

4dias			5dias			6dias			7dias			dia8	dia 9	da 10	dia 11
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	14h			
02/ul	549,616	549,592	549	549,407	549,382										547,515
567,466	567,432	567,412	567	567,287	567,269										547,252
565,696	565,619	565,578	565	565,276	565,234										566,665
566,045	565,953	565,578	566	565,664	565,63										566,623
591,263	591,264	591,25	591	591,201	592,201										564,013
594,291	594,271	594,253	594	594,162	594,157										563,81
															564,708
															564,565
															591,01
															591,003
															593,07
															593

dia 16	dia 17	dia 18	dia 19	dia 20	dia 21	semana1
545,542	545,202	544,837	544,48	544,183	542,982	540,49
566,404	566,358	566,306	566,25	566,196	565,947	565,179
563,304	563,195	563,084	562,95	562,859	562,429	561,845
564,228	564,149	564,079	563,99	563,926	563,626	562,828
590,833	590,798	590,755	590,7	590,652	590,467	590,102
593,719	593,69	593,657	593,61	593,581	593,545	593,157

ENSAIO DE SECAGEM

ENSAIO COM O CLORETO DE SÓDIO COM UM TERÇO DA SATURAÇÃO DOS PROVETES T9, T10, A9, A10, B9 E B10

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
473,343		0	0	0
473,509	0,000166	60	7,745967	0,10375
473,63	0,000287	180	13,41641	0,179375
473,716	0,000373	300	17,32051	0,233125
473,787	0,000444	600	24,4949	0,2775
473,924	0,000581	900	30	0,363125
474,025	0,000682	1800	42,42641	0,42625
474,311	0,000968	3600	60	0,605
478,194	0,004851	28800	169,7056	3,031875
484,639	0,011296	86400	293,9388	7,06
500,185	0,026842	259200	509,1169	16,77625
506,994	0,033651	345600	587,8775	21,03188
524,282	0,050939	604800	777,6889	31,83688
543,288	0,069945	1123200	1059,811	43,71563

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
482,219		0	0	0
482,457	0,000238	60	7,745967	0,14875
482,581	0,000362	180	13,41641	0,22625
482,786	0,000567	300	17,32051	0,354375
482,835	0,000616	600	24,4949	0,385
482,909	0,00069	900	30	0,43125
483,179	0,00096	1800	42,42641	0,6
483,581	0,001362	3600	60	0,85125
488,956	0,006737	28800	169,7056	4,210625
497,286	0,015067	86400	293,9388	9,416875
516,931	0,034712	259200	509,1169	21,695
525,512	0,043293	345600	587,8775	27,05813
544,647	0,062428	604800	777,6889	39,0175
549,562	0,067343	1123200	1059,811	42,08938

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
469,96		0	0	0
491,13	0,02117	120	10,95445	13,23125
491,834	0,021874	300	17,32051	13,67125
493,202	0,023242	600	24,4949	14,52625
493,997	0,024037	900	30	15,02313
495,03	0,02507	1800	42,42641	15,66875
495,392	0,025432	2700	51,96152	15,895
496,383	0,026423	3600	60	16,51438
500,426	0,030466	10800	103,923	19,04125
501,532	0,031572	14400	120	19,7325
503,182	0,033222	21600	146,9694	20,76375
504,011	0,034051	25200	158,7451	21,28188
512,085	0,042125	86400	293,9388	26,32813
519,835	0,049875	259200	509,1169	31,17188
520,143	0,050183	345600	587,8775	31,36438
520,707	0,050747	604800	777,6889	31,71688
521,526	0,051566	1123200	1059,811	32,22875

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
472,763		0	0	0
494,993	0,02223	120	10,95445	13,89375
495,677	0,022914	300	17,32051	14,32125
497,063	0,0243	600	24,4949	15,1875
497,916	0,025153	900	30	15,72063
498,905	0,026142	1800	42,42641	16,33875
499,304	0,026541	2700	51,96152	16,58813
500,314	0,027551	3600	60	17,21938
504,198	0,031435	10800	103,923	19,64688
505,343	0,03258	14400	120	20,3625
507,1	0,034337	21600	146,9694	21,46063
508,077	0,035314	25200	158,7451	22,07125
517,463	0,0447	86400	293,9388	27,9375
524,207	0,051444	259200	509,1169	32,1525
524,483	0,05172	345600	587,8775	32,325
525,035	0,052272	604800	777,6889	32,67
525,886	0,053123	1123200	1059,811	33,20188

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
575,26		0	0	0
576,149	0,000889	300	17,32051	0,555625
576,345	0,001085	600	24,4949	0,678125
576,671	0,001411	1200	34,64102	0,881875
576,802	0,001542	1800	42,42641	0,96375
577,126	0,001866	3600	60	1,16625
577,474	0,002214	5400	73,48469	1,38375
577,697	0,002437	7200	84,85281	1,523125
577,962	0,002702	10800	103,923	1,68875
578,247	0,002987	14400	120	1,866875
578,368	0,003108	16200	127,2792	1,9425
580,304	0,005044	86400	293,9388	3,1525
581,988	0,006728	259200	509,1169	4,205
582,483	0,007223	345600	587,8775	4,514375
583,648	0,008388	604800	777,6889	5,2425
585,661	0,010401	1123200	1059,811	6,500625

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	$t^{0,5}$	mi
585,032		0	0	0
586,687	0,001655	300	17,32051	1,034375
587,033	0,002001	600	24,4949	1,250625
587,479	0,002447	1200	34,64102	1,529375
587,685	0,002653	1800	42,42641	1,658125
588,174	0,003142	3600	60	1,96375
588,702	0,00367	5400	73,48469	2,29375
589,187	0,004155	7200	84,85281	2,596875
589,869	0,004837	10800	103,923	3,023125
590,352	0,00532	14400	120	3,325
590,664	0,005632	16200	127,2792	3,52
594,349	0,009317	86400	293,9388	5,823125
597,577	0,012545	259200	509,1169	7,840625
598,501	0,013469	345600	587,8775	8,418125
600,399	0,015367	604800	777,6889	9,604375
603,262	0,01823	1123200	1059,811	11,39375

1 dia																
2 dia																
3 dias																
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	15h	11h	14h	17h
t9	543,29	544,4	544,282	544,127	543,952	543,802	543,72	543,617	543,514	543,48	542,18	541,915	541,687	540,457	540,267	540
t10	549,56	550,25	550,139	549,992	549,82	549,668	549,579	549,481	549,378	549,34	548,05	547,788	547,567	546,387	546,201	546
a9	521,53	522,15	522,02	521,856	521,647	521,443	521,336	521,191	521,045	521	519,03	518,664	518,373	516,946	516,771	517
a10	525,89	526,54	526,399	526,236	526,016	525,815	525,693	525,553	525,406	525,35	523,38	523,023	522,747	521,345	521,179	521
b9	585,66	586,55	586,511	586,495	586,476	586,456	586,453	586,439	586,442	586,44	586,34	586,323	586,305	586,22	586,216	586
b10	603,26	604,52	604,474	604,461	604,431	604,407	604,393	604,371	604,361	604,35	604,11	604,075	604,034	603,82	603,787	604

4 dias				5 dias				6 dias				7 dias			dia8		dia9	dia10	dia11
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h					
21/jun	538,579	538,408	537	537,251	537,121											534,097	533,257	532,501	531,759
544,718	544,499	544,331	543	543,211	543,08											540,019	539,096	538,295	537,541
515,64	515,519	515,413	515	514,708	514,64											513,225	512,885	512,578	512,297
520,022	519,896	519,784	519	519,017	518,938											517,273	516,85	516,472	516,129
586,088	586,077	586,067	586	585,977	585,97											585,716	585,654	585,599	585,533
603,52	603,496	603,468	603	603,259	603,241	513										602,7	602,569	602,459	602,358

ENSAIO DE SECAGEM

dia 15	dia 16	dia 17	dia 18	dia 19	dia 20	1 semana	2semanas
529,049	528,453	527,883				527,324	525,336
534,618	534,02	533,49				532,946	530,961
511,348	511,153	510,943				510,777	510,164
514,933	514,688	514,426				514,219	513,471
585,282	585,244	585,18				585,138	584,96
602,006	601,954	601,868				601,818	601,61

ENSAIO COM O SULFATO DE POTÁSSIO SOBRESSATURADO DOS PROVETES T11, T12, A11, A12, B11 E B12

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
491,756		0	0	0
493,537	0,001781	60	7,745967	1,113125
494,277	0,002521	180	13,41641	1,575625
495,104	0,003348	300	17,32051	2,0925
495,861	0,004105	600	24,4949	2,565625
496,406	0,00465	900	30	2,90625
497,272	0,005516	1800	42,42641	3,4475
499,015	0,007259	3600	60	4,536875
514,903	0,023147	28800	169,7056	14,46688
533,982	0,042226	86400	293,9388	26,39125
547,27	0,055514	259200	509,1169	34,69625
547,452	0,055696	345600	587,8775	34,81
548,019	0,056263	604800	777,6889	35,16438
548,151	0,056395	777600	881,8163	35,24688
548,634	0,056878	1123200	1059,811	35,54875

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
499,103		0	0	0
500,717	0,001614	60	7,745967	1,00875
501,409	0,002306	180	13,41641	1,44125
502,109	0,003006	300	17,32051	1,87875
502,915	0,003812	600	24,4949	2,3825
503,426	0,004323	900	30	2,701875
504,285	0,005182	1800	42,42641	3,23875
505,481	0,006378	3600	60	3,98625
522,373	0,02327	28800	169,7056	14,54375
543,624	0,044521	86400	293,9388	27,82563
555,335	0,056232	259200	509,1169	35,145
555,45	0,056347	345600	587,8775	35,21688
555,852	0,056749	604800	777,6889	35,46813
556,118	0,057015	777600	881,8163	35,63438
556,653	0,05755	1123200	1059,811	35,96875

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
474,085		0	0	0
476,908	0,002823	120	10,95445	1,764375
478,148	0,004063	300	17,32051	2,539375
479,246	0,005161	600	24,4949	3,225625
480,269	0,006184	900	30	3,865
481,496	0,007411	1800	42,42641	4,631875
482,492	0,008407	2700	51,96152	5,254375
483,874	0,009789	3600	60	6,118125
491,996	0,017911	10800	103,923	11,19438
494,236	0,020151	14400	120	12,59438
497,651	0,023566	21600	146,9694	14,72875
499,498	0,025413	25200	158,7451	15,88313
515,259	0,041174	86400	293,9388	25,73375
524,419	0,050334	259200	509,1169	31,45875
524,872	0,050787	345600	587,8775	31,74188
525,813	0,051728	604800	777,6889	32,33
526,226	0,052141	777600	881,8163	32,58813
526,589	0,052504	1123200	1059,811	32,815

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
484,632		0	0	0
488,194	0,003562	120	10,95445	2,22625
489,746	0,005114	300	17,32051	3,19625
491,093	0,006461	600	24,4949	4,038125
492,345	0,007713	900	30	4,820625
493,78	0,009148	1800	42,42641	5,7175
494,89	0,010258	2700	51,96152	6,41125
496,485	0,011853	3600	60	7,408125
505,588	0,020956	10800	103,923	13,0975
508,178	0,023546	14400	120	14,71625
512,083	0,027451	21600	146,9694	17,15688
514,199	0,029567	25200	158,7451	18,47938
532,36	0,047728	86400	293,9388	29,83
539,343	0,054711	259200	509,1169	34,19438
539,791	0,055159	345600	587,8775	34,47438
540,583	0,055951	604800	777,6889	34,96938
540,528	0,055896	777600	881,8163	34,935
541,268	0,056636	1123200	1059,811	35,3975

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
569,728		0	0	0
570,677	0,001528	300	17,32051	0,955
570,921	0,001772	600	24,4949	1,1075
571,262	0,002113	1200	34,64102	1,320625
571,429	0,00228	1800	42,42641	1,425
571,848	0,002699	3600	60	1,686875
572,263	0,003114	5400	73,48469	1,94625
572,505	0,003356	7200	84,85281	2,0975
572,858	0,003709	10800	103,923	2,318125
573,119	0,00397	14400	120	2,48125
573,215	0,004066	16200	127,2792	2,54125
574,891	0,005742	86400	293,9388	3,58875
575,977	0,006828	259200	509,1169	4,2675
576,227	0,007078	345600	587,8775	4,42375
576,698	0,007549	604800	777,6889	4,718125
576,965	0,007816	777600	881,8163	4,885
577,245	0,008096	1123200	1059,811	5,06

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
587,764		0	0	0
588,294	0,00053	300	17,32051	0,33125
588,437	0,000673	600	24,4949	0,420625
588,657	0,000893	1200	34,64102	0,558125
588,74	0,000976	1800	42,42641	0,61
589,013	0,001249	3600	60	0,780625
589,289	0,001525	5400	73,48469	0,953125
589,493	0,001729	7200	84,85281	1,080625
589,777	0,002013	10800	103,923	1,258125
589,978	0,002214	14400	120	1,38375
590,074	0,00231	16200	127,2792	1,44375
591,466	0,003702	86400	293,9388	2,31375
592,266	0,004502	259200	509,1169	2,81375
592,399	0,004635	345600	587,8775	2,896875
592,705	0,004941	604800	777,6889	3,088125
592,824	0,00506	777600	881,8163	3,1625
592,843	0,005079	1123200	1059,811	3,174375

1 dia															2dia		
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	15h				
t11	548,63	549,21	549,168	549,155	549,129	549,108	549,693	549,081	549,064	549,07	548,88	548,85	548,826				
t12	556,65	557,15	557,069	557,031	557	556,976	556,957	556,937	556,92	556,92	556,71	556,675	556,643				
a11	526,59	527,23	527,09	526,938	526,736	526,503	526,457	526,335	526,213	526,18	525,67	524,922	524,811				
a12	541,27	541,83	541,698	541,562	541,38	541,234	541,153	541,065	540,972	540,95	540,17	540,058	539,974				
b11	577,25	577,93	577,905	577,896	577,882	577,864	577,859	577,853	577,837	577,84	577,75	577,724	577,706				
b12	592,84	593,72	593,686	593,671	593,653	593,646	593,633	593,618	593,615	593,61	593,51	593,484	593,466				

3 dias			4dias			5dias			6dias			7dias			dia8	
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h		
548,697	548,697	549	01/jul	548,5	548,486	548	548,358	548,339							547,965	
556,487	556,472	556	556,285	556,271	556,25	556	556,116	556,101							555,712	
524,277	524,213	524	523,714	523,667	523,612	523	523,243	523,191							522,188	
539,565	539,518	539	539,13	539,688	539,049	539	538,775	538,742							538,013	
577,609	577,603	578	577,472	577,469	577,453	577	577,357	577,344							577,069	
593,375	593,357	593	593,23	593,219	593,207	593	593,128	593,113							592,892	

ENSAIO DE SECAGEM

dia9	dia10	dia11	dia12	dia13	dia14	dia15	dia16	dia17	dia18	dia19	dia20	1 semana	2semanas
547,842	547,734	547,618				547,18	547,068	546,961				546,855	546,462
555,598	555,478	555,354				554,889	554,769	554,65				554,546	554,129
521,868	521,574	521,266				520,115	519,845	519,57				519,336	518,481
537,76	537,58	537,371				536,541	536,337	536,131				535,95	535,271
576,997	576,922	576,858				576,585	576,532	576,47				576,427	576,247
592,84	592,79	592,747				592,525	592,485	592,441				592,41	592,258

ENSAIO COM O CLORETO DE SÓDIO COM UM TERÇO DA SATURAÇÃO DOS PROVETES T11, T12, A11, A12, B1 E B2

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
518,822		0	0	0
518,886	6,4E-05	60	7,745967	0,04
518,974	0,000152	180	13,41641	0,095
519,083	0,000261	300	17,32051	0,163125
519,258	0,000436	600	24,4949	0,2725
519,35	0,000528	900	30	0,33
519,55	0,000728	1800	42,42641	0,455
519,946	0,001124	3600	60	0,7025
525,135	0,006313	28800	169,7056	3,945625
535,557	0,016735	86400	293,9388	10,45938
545,46	0,026638	259200	509,1169	16,64875
546,222	0,0274	345600	587,8775	17,125
547,012	0,02819	604800	777,6889	17,61875
547,734	0,028912	777600	881,8163	18,07
548,272	0,02945	1123200	1059,811	18,40625

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
515,419		0	0	0
515,43	1,1E-05	60	7,745967	0,006875
515,48	6,1E-05	180	13,41641	0,038125
515,499	8E-05	300	17,32051	0,05
515,53	0,000111	600	24,4949	0,069375
515,555	0,000136	900	30	0,085
515,621	0,000202	1800	42,42641	0,12625
515,746	0,000327	3600	60	0,204375
518,042	0,002623	28800	169,7056	1,639375
522,559	0,00714	86400	293,9388	4,4625
534,138	0,018719	259200	509,1169	11,69938
538,004	0,022585	345600	587,8775	14,11563
542,71	0,027291	604800	777,6889	17,05688
543,36	0,027941	777600	881,8163	17,46313
543,913	0,028494	1123200	1059,811	17,80875

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
537,81		0	0	0
538,202	0,000392	120	10,95445	0,245
538,27	0,00046	300	17,32051	0,2875
538,381	0,000571	600	24,4949	0,356875
538,448	0,000638	900	30	0,39875
538,574	0,000764	1800	42,42641	0,4775
538,638	0,000828	2700	51,96152	0,5175
538,816	0,001006	3600	60	0,62875
539,816	0,002006	10800	103,923	1,25375
540,219	0,002409	14400	120	1,505625
540,842	0,003032	21600	146,9694	1,895
541,193	0,003383	25200	158,7451	2,114375
545,019	0,007209	86400	293,9388	4,505625
548,689	0,010879	259200	509,1169	6,799375
549,02	0,01121	345600	587,8775	7,00625
549,523	0,011713	604800	777,6889	7,320625
549,843	0,012033	777600	881,8163	7,520625
550,067	0,012257	1123200	1059,811	7,660625

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
499,663		0	0	0
499,988	0,000325	120	10,95445	0,203125
500,082	0,000419	300	17,32051	0,261875
500,207	0,000544	600	24,4949	0,34
500,298	0,000635	900	30	0,396875
500,462	0,000799	1800	42,42641	0,499375
500,519	0,000856	2700	51,96152	0,535
500,706	0,001043	3600	60	0,651875
501,98	0,002317	10800	103,923	1,448125
502,46	0,002797	14400	120	1,748125
503,211	0,003548	21600	146,9694	2,2175
503,645	0,003982	25200	158,7451	2,48875
507,898	0,008235	86400	293,9388	5,146875
510,959	0,011296	259200	509,1169	7,06
511,121	0,011458	345600	587,8775	7,16125
511,473	0,01181	604800	777,6889	7,38125
511,824	0,012161	777600	881,8163	7,600625
512,138	0,012475	1123200	1059,811	7,796875

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi
594,276		0	0	0
594,412	0,000136	300	17,32051	0,085
594,466	0,00019	600	24,4949	0,11875
594,44	0,000164	1200	34,64102	0,1025
594,422	0,000146	1800	42,42641	0,09125
594,46	0,000184	3600	60	0,115
594,458	0,000182	5400	73,48469	0,11375
594,478	0,000202	7200	84,85281	0,12625
594,452	0,000176	10800	103,923	0,11
594,462	0,000186	14400	120	0,11625
594,467	0,000191	16200	127,2792	0,119375
594,528	0,000252	86400	293,9388	0,1575
594,626	0,00035	259200	509,1169	0,21875
594,626	0,00035	345600	587,8775	0,21875
594,672	0,000396	604800	777,6889	0,2475
594,742	0,000466	777600	881,8163	0,29125
594,774	0,000498	1123200	1059,811	0,31125

Pesagem (gramas)	Δ massa(kg)	t(s)	t ^{0,5}	mi	t ^{0,5}	mi
610,428		0		0		0
610,59	2,236067977	5	0,000162	300	17,32051	0,10125
610,652	3,16227766	10	0,000224	600	24,4949	0,14
610,6	4,472135955	20	0,000172	1200	34,64102	0,1075
610,644	5,477225575	30	0,000216	1800	42,42641	0,135
610,663	7,745966692	60	0,000235	3600	60	0,146875
610,687	9,486832981	90	0,000259	5400	73,48469	0,161875
610,727	10,95445115	120	0,000299	7200	84,85281	0,186875
610,764	13,41640786	180	0,000336	10800	103,923	0,21
610,834	15,49193338	240	0,000406	14400	120	0,25375
610,864	16,43167673	270	0,000436	16200	127,2792	0,2725
611,33	37,94733192	1440	0,000902	86400	293,9388	0,56375
612,071	65,7267069	4320	0,001643	259200	509,1169	1,026875
612,415	75,89466384	5760	0,001987	345600	587,8775	1,241875
612,914	100,3992032	10080	0,002486	604800	777,6889	1,55375
613,13	113,8419958	12960	0,002702	777600	881,8163	1,68875
613,227	136,821051	18720	0,002799	1123200	1059,811	1,749375

	1 dia										2dia		
	0h s/ ad.	0h c/ ad	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	11h	14h	17h
t1	548,27	549,03	548,884	548,705	548,458	548,214	548,058	547,869	547,635	547,56	549,56	543,89	543,371
t2	543,91	544,7	544,544	544,381	544,14	543,899	543,753	543,568	543,346	543,28	540,28	539,628	539,11
a1	550,07	550,94	550,814	550,694	550,51	550,35	550,233	550,111	549,971	549,83	548,55	548,248	548,215
a2	512,14	512,78	512,663	512,544	512,368	512,2	512,101	511,988	511,862	511,82	510,43	510,207	510,05
b1	594,77	595,69	595,674	595,672	595,659	595,646	595,644	595,628	595,631	595,63	595,55	595,531	595,516
b2	613,23	614,14	614,102	614,082	614,052	614,027	614,608	613,986	613,966	613,96	613,7	613,656	613,611

3 dias			4dias			5dias			6dias			7dias	
11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	14h	17h	11h	17h
540,422	540,044	540	15/jun	537,129	536,877	536	535,32	535,167	fds				
536,06	535,67	535	532,588	532,228	531,9	530	529,936	529,744					
547,545	547,567	547	546,826	546,755	546,677	546	546,16	546,09					
509,233	509,147	509	508,409	508,335	508,256	508	507,745	507,677					
595,52	595,423	595	595,298	595,289	595,279	595	595,194	595,174					
613,407	613,388	613	613,158	613,142	613,119	613	612,96	612,942					

dia8	dia9	dia10	dia11	dia12	dia13	dia 1, dia 15	dia 16	dia 17	dia 18	dia 19	dia 20	1 semana	2semanas
531,881	531,026	530,254	529,524			527,208	526,703	526,228				525,773	524,27
526,132	525,256	524,467	523,725			521,411	520,918	520,444				520	518,518
544,495	543,982	543,512	543,054			541,434	541,069	540,711				540,407	539,29
506,301	505,868	505,462	505,048			503,604	503,269	502,946				502,666	501,651
594,895	594,81	594,736	594,859			594,345	594,273	594,194				594,148	593,906
612,512	612,39	612,279	612,177			611,777	611,687	611,6				611,528	611,241

ENSAIO DE SECAGEM

