

COMPORTAMENTO E DURABILIDADE DE TELHAS CERÂMICAS EM AMBIENTE MARÍTIMO

ÍNDICE DO TEXTO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	4
1.3 Organização do texto	4

CAPÍTULO 2

DEGRADAÇÃO E DURABILIDADE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO POROSOS	7
2.1 Qualificação e durabilidade das telhas cerâmicas e das coberturas.....	7
2.2 Terminologia de formas de alteração e degradação	12
2.3 A degradação dos materiais de construção porosos provocada por sais solúveis	29
2.3.1 Introdução	29
2.3.2 Propriedades dos sais.....	31
2.3.3 Fontes de humidade e condições ambientais.....	33
2.3.4 Susceptibilidade dos materiais.....	34
2.3.5 Simulações experimentais de cristalização e dissolução de sais	35
2.3.6 Mecanismos de degradação	37
2.3.7 Cristalização de sais	38
2.4 Casos reais	43

CAPÍTULO 3

ASPECTOS DA PRODUÇÃO DE TELHAS CERÂMICAS	49
3.1 Tipos de telhas	49
3.2 Processos e tecnologias de fabrico	53
3.3 Influência de alguns parâmetros de fabrico nas propriedades das telhas e na sua durabilidade	61
3.3.1 Influência das matérias-primas no fabrico e propriedades dos materiais cerâmicos cozidos.....	61

3.3.2	Influência da temperatura de cozedura nas propriedades e durabilidade dos materiais cerâmicos	63
3.3.3	Influência da estrutura porosa na durabilidade de materiais porosos	66
3.3.4	Caracterização da durabilidade de materiais cerâmicos.....	73

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POROSOS DE CONSTRUÇÃO: COMPILAÇÃO, ANÁLISE CRÍTICA E SELECÇÃO DOS ENSAIOS	75
4.1 Características hídricas.....	75
4.1.1 Procedimentos de ensaio de imersão de provetes	77
4.1.2 Características hídricas de materiais porosos de construção.....	85
4.2 Características mecânicas.....	101
4.3 Ensaio de cristalização de sais	105

CAPÍTULO 5

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE TELHAS CERÂMICAS EM AMBIENTE MARÍTIMO	115
5.1 Planeamento da campanha experimental	115
5.2 Tipo de telhas e de provetes	117
5.3 Caracterização de provetes novos	119
5.3.1 Análise química e mineralógica	120
5.3.2 Absorção de água fria por imersão.....	127
5.3.3 Absorção de água sob vácuo, massas volúmicas e porosidade aberta.....	136
5.3.4 Coeficiente de saturação.....	147
5.3.5 Absorção de água por contacto superficial de esponja	154
5.3.6 Velocidade de propagação de ultra-sons - método indirecto	164
5.3.7 Porosimetria de mercúrio	171
5.3.8 Análise comparada das características de provetes novos	173
5.4 Ensaio em câmara de nevoeiro salino.....	177
5.4.1 Introdução.....	177
5.4.2 Ensaio contínuo de nevoeiro e secagem.....	177
5.4.2.1 Nevoeiro sem sal seguido de secagem	177
5.4.2.2 Nevoeiro com sal seguido de secagem.....	181

5.4.3 Ensaio preliminar cíclico de nevoeiro salino seguido de secagem	186
5.4.3.1 Introdução.....	186
5.4.3.2 Ensaio preliminar 1.....	189
5.4.3.3 Ensaio preliminar 2.....	197
5.4.3.4 Conclusões relativas aos ensaios preliminares	201
5.4.4 Ensaio cíclico de envelhecimento acelerado	205
5.4.4.1 Introdução.....	205
5.4.4.2 Ensaio cíclico de provetes do Fabricante 1	207
5.4.4.3 Ensaio cíclico de provetes do Grupo 1 do Fabricante 2	219
5.4.4.4 Ensaio cíclico de provetes do Grupo 2 do Fabricante 2	228
5.4.4.5 Conclusões relativas ao ensaio cíclico de envelhecimento acelerado.....	237
5.4.5 Ensaio composto de envelhecimento acelerado	240
5.4.5.1 Descrição do ensaio.....	240
5.4.5.2 Fase 1 - 13 ciclos seguidos de 10 dias de secagem	244
5.4.5.3 Fase 2 - 10 ciclos, pincelagem a seco e 11 dias de secagem	251
5.4.5.4 Fase 3 - 11 ciclos, pincelagem a seco, molhagem e 20 dias de secagem	264
5.4.5.5 Fase 4 - 15 ciclos seguidos de 44 dias de secagem e de pincelagem.....	288
5.4.5.6 Conclusões relativas ao ensaio composto de envelhecimento acelerado.....	316
5.5 Análise visual da degradação provocada pelo ensaio cíclico e pelo ensaio composto de envelhecimento acelerado.....	319
5.6 Caracterização de provetes após ensaio cíclico de envelhecimento acelerado	327
5.6.1 Preparação dos provetes	327
5.6.2 Variação de massa	328
5.6.3 Absorção de água fria por imersão.....	331
5.6.4 Absorção de água sob vácuo, massas volúmicas e porosidade aberta	338
5.6.5 Coeficiente de saturação.....	350
5.6.6 Absorção de água por contacto superficial de esponja.....	356

5.6.7 Velocidade de propagação de ultra-sons - método indirecto	360
5.6.8 Porosimetria de mercúrio	368
5.6.9 Teor de humidade higroscópica (HMC) e perfis de teor salino	369
5.6.10 Colorimetria	372
5.6.11 Análise dos resultados dos ensaios sobre provetes sujeitos ao ensaio cíclico de envelhecimento acelerado	374
5.7 Avaliação das consequências do envelhecimento acelerado.....	375
 CAPÍTULO 6	
CONTRIBUIÇÃO PARA A DURABILIDADE DE TELHAS EM AMBIENTE MARÍTIMO.....	
6.1 Análise dos ensaios de envelhecimento acelerado.....	379
6.2 Contribuição para a melhoria do fabrico das telhas	381
 CAPÍTULO 7	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
7.1 Conclusões gerais.....	385
7.2 Análise do cumprimento dos objectivos	390
7.3 Desenvolvimentos futuros.....	392
 BIBLIOGRAFIA.....	 393

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Degradação natural - caso 1	44
Figura 2 - Degradação natural - caso 2.....	44
Figura 3 - Degradação natural - caso 3.....	45
Figura 4 - Degradação natural - caso 4.....	46
Figura 5 - Telha lusa ou de aba e canudo [2]	49
Figura 6 - Telha lusa ou de aba e canudo (tardoz) [2].....	50
Figura 7 - Telha marselha [2].....	50
Figura 8 - Telha marselha (tardoz) [2]	51
Figura 9 - Telha de canudo [2]	51
Figura 10 - Telha romana [2].....	52
Figura 11 - Telha plana [2, 35].....	52
Figura 12 - Esquema genérico do processo de fabrico das telhas	54
Figura 13 - Prensa revólver múltipla [1]	56
Figura 14 - Disposição das telhas nos vagões unidas com arames (a) e colocadas em suportes refractários (b) [1]	58
Figura 15 - Curva de cozedura em forno túnel [1]	60
Figura 16 - Determinação da absorção de água [14].....	78
Figura 17 - Impermeabilidade. Equipamento para o método de ensaio 1 [67]	94
Figura 18 - Impermeabilidade. Equipamento para o método de ensaio 2 com moldura sobre o provete [67].....	95
Figura 19 - Impermeabilidade. Equipamento para o método de ensaio 2 com moldura em torno do provete [67]	96
Figura 20 - Determinação da absorção de água a baixa pressão [53].....	98
Figura 21 - Medição de velocidades de ultra-sons. Métodos de transmissão directa e de transmissão indirecta ou de superfície [70]	103

Figura 22 - Determinação da velocidade de propagação de ultra-sons utilizando o método indirecto [70]	104
Figura 23 - Esquema de colocação dos transdutores exponenciais para medição da velocidade de propagação de ultra-sons pelo método indirecto	104
Figura 24 - Tipo de provetes ensaiados.....	119
Figura 25 - Difractogramas de amostras das telhas do fabricante 1.....	123
Figura 26 - Difractogramas de amostras das telhas do fabricante 2.....	123
Figura 27 - Difractogramas de amostras das telhas vermelhas do fabricante 2.....	124
Figura 28 - Difractogramas de amostras das telhas do modelo 1 do fabricante 2.....	125
Figura 29 - Difractogramas de amostras das telhas vermelhas dos dois fabricantes	125
Figura 30 - Difractogramas de amostras das telhas brancas dos 2 fabricantes	126
Figura 31 - Ensaio de absorção de água fria por imersão de telhas	128
Figura 32 - Ensaio de absorção de água fria por imersão de provetes	128
Figura 33 - Absorção de água fria dos provetes do fabricante 1	130
Figura 34 - Absorção de água fria dos provetes F2 NH, F2 H e F2 T2 NH do fabricante 2	133
Figura 35 - Absorção de água fria dos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2.....	133
Figura 36 - Absorção de água fria de todos os tipos de provetes do fabricante 2 (gráfico global).....	134
Figura 37 - Valores médios da absorção de água fria	135
Figura 38 - Imersão em água sob vácuo e balança hidrostática.....	138
Figura 39 - Pesagem hidrostática e pesagem ao ar.....	138
Figura 40 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo de provetes do fabricante 1	141
Figura 41 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 NH e F2 T2 NH do fabricante 2.....	143
Figura 42 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2.....	143
Figura 43 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes do fabricante 2 (gráfico global).....	144

Figura 44 - Valores médios da absorção de água por imersão e dos resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo	145
Figura 45 - Coeficiente de saturação dos provetes do fabricante 1	148
Figura 46 - Coeficiente de saturação dos provetes F2 NH e F2 T2 NH do fabricante 2... ..	151
Figura 47 - Coeficiente de saturação dos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2.....	151
Figura 48 - Coeficiente de saturação dos provetes do fabricante 2 (gráfico global).....	152
Figura 49 - Valores médios das absorções de água, do coeficiente de saturação e da porosidade aberta	153
Figura 50 - Ensaio de absorção de água por contacto superficial de esponja	155
Figura 51 - Água absorvida por contacto superficial de esponja pelos provetes do fabricante 1	157
Figura 52 - Água absorvida por contacto superficial de esponja pelos provetes F2 NH, F2 H e F2 T2 NH do fabricante 2	160
Figura 53 - Água absorvida por contacto superficial de esponja pelos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2	160
Figura 54 - Água absorvida por contacto superficial de esponja pelos provetes do fabricante 2 (gráfico global)	161
Figura 55 - Valores médios das absorções de água, da porosidade aberta e da água absorvida por contacto de esponja	162
Figura 56 - Aparelho e esquema para determinação da velocidade de propagação de ultra-sons	164
Figura 57 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes novos do fabricante 1	166
Figura 58 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes novos do fabricante 2	166
Figura 59 - Valores médios das absorções de água, da porosidade aberta, da massa volúmica aparente e da velocidade de propagação de ultra-sons	169
Figura 60 - Porosimetria de mercúrio de provetes novos.....	172
Figura 61 - Câmara de nevoeiro salino.....	177
Figura 62 - Telhas do fabricante 1 antes do ensaio de nevoeiro sem sal.....	178
Figura 63 - Variação de massa de telhas do fabricante 1 sob nevoeiro sem sal durante 60 h	178

Figura 64 - Secagem a 35 °C de telhas do fabricante 1 após nevoeiro sem sal.....	179
Figura 65 - Variação de massa de telhas do fabricante 1 sob nevoeiro com sal durante 48 h.....	182
Figura 66 - Variação de massa sob nevoeiro sem sal e sob nevoeiro com sal.....	183
Figura 67 - Secagem a 35 °C durante 48 h de telhas do fabricante 1 após nevoeiro com sal.....	184
Figura 68 - Comparação da secagem a 35 °C após nevoeiro sem sal e nevoeiro com sal.....	185
Figura 69 - Secagem em estufa não ventilada a 60 °C após nevoeiro com sal e secagem	185
Figura 70 - Provetes T3 B, T3 e T3 C.....	187
Figura 71 - Disposição dos provetes no ensaio preliminar 1 e no ensaio preliminar 2.....	187
Figura 72 - Variação de massa dos provetes T1, T2 e T3 nos ciclos de 24 horas.....	190
Figura 73 - Variação de massa dos provetes T3, T3 B e T3 C nos ciclos de 24 horas	191
Figura 74 - Evolução da degradação do provete T1 no ensaio preliminar 1.....	193
Figura 75 - Provete T2 no ensaio preliminar 1.....	194
Figura 76 - Evolução da degradação do provete T3 no ensaio preliminar 1.....	194
Figura 77 - Degradação na aba do provete T3 após ensaio preliminar 1	195
Figura 78 - Evolução da degradação do provete T3 B no ensaio preliminar 1	195
Figura 79 - Evolução da degradação do provete T3 B no ensaio preliminar 1 (cont.)	196
Figura 80 - Evolução da degradação do provete T3 C no ensaio preliminar 1	196
Figura 81 - Variação de massa dos provetes F1NH1, T2 e T3 nos ciclos de 48 horas	198
Figura 82 - Variação de massa dos provetes T3, T3 B e T3 C nos ciclos de 48 horas	199
Figura 83 - Provete T2	202
Figura 84 - Provete T3	202
Figura 85 - Provete T3 B.....	203
Figura 86 - Provete T3 C.....	203
Figura 87 - Montagem dos provetes na câmara de nevoeiro salino	207

Figura 88 - Provetes do fabricante 1 no início do ensaio	207
Figura 89 - Provetes F1 NH após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	208
Figura 90 - Provetes F1 B após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	209
Figura 91 - Provetes F1 H após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	210
Figura 92 - Provetes do fabricante 1 na câmara entre os ciclos 11 e 30	211
Figura 93 - Provetes F1 NH após 20 e 30 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	212
Figura 94 - Provetes F1 B após 20 e 30 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	213
Figura 95 - Provetes F1 H após 20 e 30 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	214
Figura 96 - Evolução da degradação do provete F1 H 3 C	216
Figura 97 - Evolução da degradação do provete F1 H 7 C	217
Figura 98 - Pormenores da degradação do provete F1 H 7 C após ensaio.....	218
Figura 99 - Provetes F1 H 3 C e F1 H 7 C após ensaio, pincelagem e extracção da camada superficial degradada.....	219
Figura 100 - Provetes F2 NH após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	220
Figura 101 - Provetes F2 T2 NH após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	221
Figura 102 - Provetes F2 H após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	222
Figura 103 - Provetes do grupo 1 do fabricante 2 na câmara entre os ciclos 11 e 30	223
Figura 104 - Provetes F2 NH após 20 e 24 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	224
Figura 105 - Provetes F2 T2 NH após 20 e 24 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	225
Figura 106 - Provetes F2 H após 20 e 24 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	226
Figura 107 - Provetes do grupo 2 do fabricante 2 no início do ensaio	228
Figura 108 - Provetes F2 B após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem.....	229

Figura 109 - Provetes F2 T3 NH após 10 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	230
Figura 110 - Provetes do grupo 2 do fabricante 2 na câmara entre os ciclos 11 e 30	232
Figura 111 - Provetes F2 B submetidos a 20 ciclos, após 10 e 20 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	232
Figura 112 - Provetes F2 T3 NH submetidos a 20 ciclos, após 10 e 20 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	233
Figura 113 - Provetes F2 B submetidos a 30 ciclos após 20 e 30 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	234
Figura 114 - Provetes F2 T3 NH submetidos a 30 ciclos após 20 e 30 ciclos de nevoeiro salino seguido de secagem	235
Figura 115 - Provetes submetidos ao ensaio composto.....	243
Figura 116 - Provetes do fabricante 1 após 13 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 1	244
Figura 117 - Provetes do fabricante 2 após 13 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 1	245
Figura 118 - Variação de massa dos provetes durante a secagem de 10 dias da fase 1	248
Figura 119 - Provetes do fabricante 1 após secagem da fase 1	249
Figura 120 - Provetes do fabricante 2 após secagem da fase 1	250
Figura 121 - Provetes do fabricante 1 após 10 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 2.....	251
Figura 122 - Provetes do fabricante 2 após 10 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 2.....	252
Figura 123 - Perda de massa na pincelagem a seco 1 em relação à massa seca	256
Figura 124 - Provetes do fabricante 1 após pincelagem da fase 2	257
Figura 125 - Provetes do fabricante 2 após pincelagem da fase 2	258
Figura 126 - Variação de massa dos provetes mais degradados da fase 2 durante as secagens da fase 1 e da fase 2	260
Figura 127 - Variação de massa dos provetes menos degradados da fase 2 durante as secagens da fase 1 e da fase 2	261
Figura 128 - Provetes do fabricante 1 após secagem da fase 2	261
Figura 129 - Provetes do fabricante 2 após secagem da fase 2	262
Figura 130 - Provetes do fabricante 1 após 11 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 3.....	264

Figura 131 - Provetes do fabricante 2 após 11 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 3	265
Figura 132 - Evolução da degradação localizada do provete F2 B 10 B nos ciclos da fase 3	269
Figura 133 - Degradação localizada do provete F2 B 11 B nos ciclos da fase 3	270
Figura 134 - Pormenores da degradação dos provetes F1 B 17 D e F2 T2 NH 10 B após ciclos da fase 3	271
Figura 135 - Perda de massa nas pincelagens a seco 1 e 2 em relação à massa seca	276
Figura 136 - Provetes do fabricante 1 após pincelagem a seco da fase 3	278
Figura 137 - Provetes do fabricante 2 após pincelagem a seco da fase 3	279
Figura 138 - Variação de massa dos provetes do fabricante 1 durante as pincelagens e molhagem da fase 3	280
Figura 139 - Variação de massa dos provetes F2 NH e F2 B do fabricante 2 durante as pincelagens e molhagem da fase 3	280
Figura 140 - Variação de massa dos provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH do fabricante 2 durante as pincelagens e molhagem da fase 3	281
Figura 141 - Variação de massa dos provetes durante a secagem de 20 dias da fase 3	282
Figura 142 - Variação de massa dos provetes mais degradados durante a secagem da fase 3	284
Figura 143 - Variação de massa dos provetes menos degradados durante a secagem da fase 3	284
Figura 144 - Provetes do fabricante 1 após secagem da fase 3	286
Figura 145 - Provetes do fabricante 2 após secagem da fase 3	287
Figura 146 - Provetes do fabricante 1 após 15 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 4	288
Figura 147 - Provetes do fabricante 2 após 15 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 4	289
Figura 148 - Evolução da degradação localizada do provete F2 B 11 B nos ciclos da fase 4	294
Figura 149 - Variação de massa dos provetes durante a secagem de 44 dias da fase 4	295
Figura 150 - Variação de massa dos provetes mais degradados durante a secagem da fase 4	296
Figura 151 - Variação de massa dos provetes menos degradados durante a secagem da fase 4	297

Figura 152 - Provetes do fabricante 1 após secagem da fase 4	297
Figura 153 - Provetes do fabricante 2 após secagem da fase 4	298
Figura 154 - Face inferior da aba dos provetes F1 NH após secagem da fase 4.....	299
Figura 155 - Aspectos da degradação do provete F1 B 6 D após secagem da fase 4	299
Figura 156 - Aspectos da degradação do provete F1 B 17 D após secagem da fase 4	300
Figura 157 - Pormenor do provete F2 B 10 B após secagem da fase 4	300
Figura 158 - Degradação localizada do provete F2 B 11 B após secagem da fase 4.....	300
Figura 159 - Pormenor da face inferior do canudo dos provetes F2 T2 NH após secagem da fase 4	301
Figura 160 - Provetes F1 B 17 D e F2 T2 NH 10 B após pincelagem a seco da fase 4....	306
Figura 161 - Provetes F2 B 10 B e F2 B 11 B após pincelagem a seco da fase 4.....	307
Figura 162 - Perda de massa nas pincelagens a seco em relação à massa seca	307
Figura 163 - Secagens na câmara durante ensaio composto - todos os provetes	312
Figura 164 - Secagens na câmara durante ensaio composto - provetes mais degradados.....	313
Figura 165 - Secagens na câmara durante ensaio composto - provetes menos degradados.....	314
Figura 166 - Aspectos da degradação de provetes do fabricante 1 no ensaio cíclico e no ensaio composto	320
Figura 167 - Aspectos da degradação de provetes do fabricante 2 no ensaio cíclico e no ensaio composto	321
Figura 168 - Aspectos da degradação de provetes F1 B, F2 B e F2 T2 NH no ensaio composto	322
Figura 169 - Dessalinização de provetes sujeitos a nevoeiro salino	327
Figura 170 - Absorção de água fria dos provetes do fabricante 1 antes e após envelhecimento.....	333
Figura 171 - Absorção de água fria dos provetes F2 NH, F2 H e F2 T2 NH do fabricante 2 antes e após envelhecimento	336
Figura 172 - Absorção de água fria dos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2 antes e após envelhecimento	336

Figura 173 - Absorção de água fria dos provetes do fabricante 2 antes e após envelhecimento (gráfico global).....	337
Figura 174 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes do fabricante 1	341
Figura 175 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 NH e F2 T2 NH do fabricante 2	344
Figura 176 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2	347
Figura 177 - Coeficientes de saturação dos provetes do fabricante 1	351
Figura 178 - Coeficientes de saturação dos provetes F2 NH, F2 H e F2 T2 NH	354
Figura 179 - Coeficientes de saturação dos provetes F2 B e F2 T3 NH do fabricante 2	354
Figura 180 - Coeficientes de saturação dos provetes do fabricante 2 (gráfico global)	355
Figura 181 - Água absorvida por contacto superficial de esponja por provetes do fabricante 1 antes e após envelhecimento.....	359
Figura 182 - Água absorvida por contacto superficial de esponja por provetes do fabricante 2 antes e após envelhecimento.....	359
Figura 183 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 1	362
Figura 184 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 2 - grupo 1.....	366
Figura 185 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 2 - grupo 2.....	366
Figura 186 - Porosimetria de mercúrio de provetes novos e de provetes degradados.....	369
Figura 187 - Amostras C1	370
Figura 188 - Camadas reduzidas a pó e amostras de controlo	370
Figura 189 - Teor de humidade higroscópica (HMC) das camadas A, B, C, D e E.....	371
Figura 190 - Teor de humidade higroscópica (HMC) das camadas e das amostras de NaCl.....	371
Figura 191 - Teor de humidade higroscópica (HMC) das amostras de provetes novos....	371
Figura 192 - Ensaio com tiras colorimétricas sensíveis a cloretos	373
Figura 193 - Ensaio com tiras colorimétricas sensíveis a sulfatos e a nitratos	373

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Periodicidade das operações de manutenção [2].....	10
Quadro 2 - Materiais pétreos e similares. Terminologia das formas de alteração e degradação. LNEC, ITPRC 2 [13]	13
Quadro 3 - Defeitos em telhas cerâmicas. NP EN 1304 [6].....	16
Quadro 4 - Defeitos em telhas cerâmicas decorrentes do ensaio de gelo-degelo. NP EN 539-2 [14]	17
Quadro 5 - Defeitos em telhas cerâmicas decorrentes do ensaio de gelo-degelo. NF P 31-301 [15].....	18
Quadro 6 - Compilação e comparação da terminologia das formas de alteração e degradação de materiais pétreos e similares (ITPRC 2 [13]), dos defeitos definidos na norma europeia de telhas cerâmicas NP EN 1304 [6] e dos defeitos decorrentes do ensaio de gelo-degelo de telhas (NP EN 539-2 [14]).	21
Quadro 7 - Tipos de degradação provocados em telhas cerâmicas sujeitas a ensaios de nevoeiro salino e a exposição natural a atmosferas marítimas.....	28
Quadro 8 - Composição da água do mar [19].....	30
Quadro 9 - Humidade relativa de equilíbrio do Cloreto de Sódio.....	33
Quadro 10 - Pressões de cristalização teóricas do NaCl	40
Quadro 11 - Fracções granulométricas dos solos	61
Quadro 12 - Teores de fracções granulométricas adequadas para telhas cerâmicas	62
Quadro 13 - Tipos de características das matérias-primas e dos materiais cerâmicos cozidos determinadas no estudo [42]	64
Quadro 14 - Relação entre a durabilidade e a absorção de água das telhas cerâmicas	68
Quadro 15 - Tipos de características das telhas determinadas no estudo [43]	70
Quadro 16 - Classificação da durabilidade face ao gelo segundo vários modelos propostos	71
Quadro 17 - Análise química por fluorescência de raios X (FRX)	121
Quadro 18 - Composição mineralógica qualitativa	122
Quadro 19 - Absorção de água fria de telhas do fabricante 1.....	127

Quadro 20 - Absorção de água fria de provetes do fabricante 1	129
Quadro 21 - Absorção de água fria de telhas inteiras do fabricante 2	130
Quadro 22 - Absorção de água fria dos provetes F2 NH, F2 B e F2 H do fabricante 2 ...	131
Quadro 23 - Absorção de água fria dos provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH do fabricante 2	132
Quadro 24 - Ordenação dos tipos de provetes por sequência da temperatura de cozedura e da absorção de água.....	135
Quadro 25 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo de provetes F1 NH ...	140
Quadro 26 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo de provetes F1 B.....	140
Quadro 27 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 NH..	141
Quadro 28 - Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 B, F2 T2 NH e F2 T3 NH	142
Quadro 29 - Ordenação dos tipos de provetes por sequência da temperatura de cozedura, da absorção de água e dos resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo	145
Quadro 30 - Coeficiente de saturação dos provetes F1 NH do fabricante 1	147
Quadro 31 - Coeficiente de saturação dos provetes F1 B do fabricante 1	148
Quadro 32 - Coeficiente de saturação dos provetes F2 NH e F2 B do fabricante 2	149
Quadro 33 - Coeficiente de saturação dos provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH do fabricante 2	150
Quadro 34 - Ordenação dos tipos de provetes por sequência da temperatura de cozedura, da absorção de água, da porosidade, da massa volúmica e do coeficiente de saturação.....	154
Quadro 35 - Absorção de água por contacto superficial de esponja de provetes do fabricante 1	156
Quadro 36 - Absorção de água por contacto superficial de esponja de provetes F2 NH, F2 B e F2 H do fabricante 2	158
Quadro 37 - Absorção de água por contacto superficial de esponja de provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH do fabricante 2	159
Quadro 38 - Ordenação dos tipos de provetes por sequência da temperatura de cozedura, absorção de água, porosidade, massa volúmica, coeficiente de saturação e água absorvida após contacto de esponja	162
Quadro 39 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 1	165

Quadro 40 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes F2 NH, F2 B e F2 H do fabricante 2	167
Quadro 41 - Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH do fabricante 2	168
Quadro 42 - Ordenação dos tipos de provetes por sequência da temperatura de cozedura, absorção de água, porosidade, massa volúmica, coeficiente de saturação, água absorvida após contacto de esponja e velocidade de propagação de ultra-sons	169
Quadro 43 - Características médias dos tipos de provetes	173
Quadro 44 - Massa seca das telhas e teor de água após nevoeiro sem sal e após secagem	180
Quadro 45 - Absorção de água das telhas do fabricante 1	180
Quadro 46 - Variação de massa das telhas do fabricante 1 após 48 h de nevoeiro salino.	182
Quadro 47 - Absorção de água dos provetes usados nos ensaios preliminares.....	188
Quadro 48 - Degradação sofrida pelos provetes durante o ensaio preliminar 1.....	192
Quadro 49 - Degradação sofrida pelos provetes durante o ensaio preliminar 2.....	200
Quadro 50 - Tipo e número de provetes sujeitos a ciclos de nevoeiro salino/secagem	206
Quadro 51 - Inspeção visual dos provetes do fabricante 1 após 10 ciclos de nevoeiro/secagem	211
Quadro 52 - Inspeção visual dos provetes do fabricante 1 após 10, 20 e 30 ciclos de nevoeiro/secagem	215
Quadro 53 - Provetes do grupo 1 do fabricante 2 colocados na câmara no início do ensaio.....	219
Quadro 54 - Inspeção visual dos provetes do grupo 1 do fabricante 2 após 10 ciclos de nevoeiro/secagem	223
Quadro 55 - Inspeção visual dos provetes do grupo 1 do fabricante 2 após 10, 20 e 30 ciclos de nevoeiro/secagem.....	227
Quadro 56 - Inspeção visual dos provetes do grupo 2 do fabricante 2 após 10 ciclos de nevoeiro/secagem	231
Quadro 57 - Inspeção visual dos provetes do grupo 2 do fabricante 2 após 10, 20 e 30 ciclos de nevoeiro/secagem.....	236
Quadro 58 - Formas de alteração e degradação - provetes do fabricante 1.....	238

Quadro 59 - Formas de alteração e degradação - provetes do fabricante 2	239
Quadro 60 - Provetes sujeitos ao ensaio composto	243
Quadro 61 - Inspeção visual nos 13 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 1	246
Quadro 62 - Secagem durante 10 dias na fase 1	248
Quadro 63 - Inspeção visual após 10 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 2	253
Quadro 64 - Pincelagem a seco 1, após 10 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 2	255
Quadro 65 - Secagem durante 11 dias na fase 2	259
Quadro 66 - Estado da superfície dos provetes no fim da fase 2 do ensaio composto	263
Quadro 67 - Inspeção visual após 11 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 3	266
Quadro 68 - Camadas de sal acumuladas nas superfícies dos provetes	272
Quadro 69 - Pincelagem a seco 2, após 11 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 3	273
Quadro 70 - Secagem durante 20 dias na fase 3	283
Quadro 71 - Variação de massa dos provetes decorrentes das secagens das fases 1, 2 e 3	285
Quadro 72 - Inspeção visual após 15 ciclos de nevoeiro/secagem da fase 4	291
Quadro 73 - Secagem durante 44 dias na fase 4	296
Quadro 74 - Pincelagem a seco 3, após 15 ciclos de nevoeiro/secagem e 44 dias de secagem da fase 4	302
Quadro 75 - Variação de massa dos provetes decorrentes das secagens das fases 3 e 4 ..	310
Quadro 76 - Variação de massa dos provetes decorrente do ensaio composto	315
Quadro 77 - Formas de alteração e degradação de provetes do fabricante 1	323
Quadro 78 - Formas de alteração e degradação de provetes do fabricante 2	324
Quadro 79 - Variações de massa dos provetes do fabricante 1	328
Quadro 80 - Variações de massa dos provetes do fabricante 2	329
Quadro 81 - Absorção de água fria dos provetes do fabricante 1 antes e após envelhecimento	332
Quadro 82 - Absorção de água fria dos provetes F2 NH, F2 B e F2 H do fabricante 2 antes e após envelhecimento	334

Quadro 83	- Absorção de água fria dos provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH do fabricante 2 antes e após envelhecimento	335
Quadro 84	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F1 NH	339
Quadro 85	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F1 B	340
Quadro 86	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 NH	342
Quadro 87	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 T2 NH.....	343
Quadro 88	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 B	345
Quadro 89	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 T3 NH.....	346
Quadro 90	- Resultados do ensaio de imersão em água sob vácuo dos provetes F2 H	348
Quadro 91	- Comparação das absorções de água de provetes F2 NH e F2 H.....	348
Quadro 92	- Absorções de água por imersão e sob vácuo dos provetes F2 H	349
Quadro 93	- Coeficientes de saturação dos provetes do fabricante 1	350
Quadro 94	- Coeficientes de saturação dos provetes F2 NH do fabricante 2.....	351
Quadro 95	- Coeficientes de saturação dos provetes F2 B, F2 T2 NH e F2 T3 NH	352
Quadro 96	- Coeficiente de saturação dos provetes F2 H do fabricante 2	353
Quadro 97	- Absorção de água por contacto superficial de esponja de provetes degradados e novos do fabricante 1	357
Quadro 98	- Absorção de água por contacto superficial de esponja de provetes degradados e novos do fabricante 2	358
Quadro 99	- Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes do fabricante 1	361
Quadro 100	- Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes F2 NH, F2 B e F2 H do fabricante 2.....	364
Quadro 101	- Velocidade de propagação de ultra-sons em provetes F2 T2 NH e F2 T3 NH	365
Quadro 102	- Teor de NaCl.....	372