



Bruno Monteiro Sena da Fonseca
Licenciado em Engenharia Geológica

Influência do Nevoeiro Salino na Degradação de Materiais Cerâmicos Aplicados em Construções

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica (Georrecursos)

Orientador: Joaquim Simão, Professor Auxiliar, Faculdade
de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
Co-orientador: Carlos Galhano, Assistente, Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor José António de Almeida
Arguente: Prof. Doutor Rúben Sílvio Varela dos Santos Martins
Vogal: Prof. Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão

Bruno Monteiro Sena da Fonseca

Licenciado em Engenharia Geológica

**Influência do Nevoeiro Salino na Degradação de
Materiais Cerâmicos aplicados em Construções**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica
(Georrecursos)

Orientador: Prof. Doutor Joaquim Simão
Co-orientador: Mestre A. Carlos Galhano

**Junho
2012**

Influência do Nevoeiro Salino na Degradação de Materiais Cerâmicos Aplicados em Construções

Copyright © Bruno Monteiro Sena da Fonseca, 2012

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação representa a conclusão de um árduo mas proveitoso percurso académico.

Foram várias as pessoas que me acompanharam e apoiaram durante o “fabrico” deste documento, a quem não posso deixar de agradecer:

- Ao Prof. Doutor Joaquim Simão pelo acompanhamento, conhecimentos e boa disposição com que me brindou ao longo de todo o meu percurso académico, pelas orientações, críticas e correcções durante a elaboração desta dissertação.
- Ao Mestre Carlos Galhano pela grande disponibilidade e vontade de ajudar que sempre demonstrou, pelos contactos que estabeleceu, essenciais para a elaboração deste trabalho. Também pelas orientações e conhecimentos que me transmitiu.
- Ao Departamento de Ciências da Terra pela cedência do espaço, meu local de trabalho e equipamento para a elaboração dos diversos ensaios.
- À empresa, Cobert-Uralita, na pessoa da Eng. Ana Luísa Bernardes, pela cedência das telhas utilizadas na elaboração desta dissertação.
- À empresa Aleluia, na pessoa do Dr. Fernando Leite, pela cedência dos ladrilhos utilizados na elaboração desta dissertação.
- À empresa CINCA, na pessoa do Dr. Luís Pedro Mota, pela cedência dos ladrilhos utilizados na elaboração desta dissertação.
- À Doutora Margarida Rolim do CENIMAT pela disponibilidade na elaboração dos ensaios para o cálculo dos coeficientes de dilatação linear de origem térmica.
- Ao Doutor Brás Fernandes do CENIMAT pela elaboração dos ensaios de difracção de raios-X.
- Ao Doutor Vitor Lisboa do LNEG pela cedência do equipamento para os ensaios mecânicos de flexão.
- À Doutora Paulina Faria do DEC pela cedência do equipamento Zwick utilizado nos ensaios de flexão e essencial no cálculo dos módulos de elasticidade.

Resumo

Os materiais cerâmicos estruturais, cuja principal matéria-prima é a argila, são usualmente empregues em diversos tipos de construções como revestimentos e coberturas. Problemas de degradação precoce na generalidade dos materiais presentes nestas construções, são actualmente uma grande preocupação. Estes podem acarretar consequências funcionais, estéticas, económicas e de segurança. Diversos factores podem contribuir para esta situação os quais estão relacionados com as características dos produtos usados e com as características do ambiente onde estão inseridos.

Poucos estudos foram desenvolvidos relativos à interacção entre o nevoeiro salino, próprio de um ambiente litoral, e a cerâmica estrutural.

A alteração que o nevoeiro salino provoca nestes materiais sob um ponto de vista físico, químico, mecânico e estético foi estudada e as suas variações quantificadas.

Para isso, três tipos de produtos cerâmicos foram submetidos a várias fases de envelhecimento acelerado por acção do nevoeiro salino. O efeito que este provocou na sua resistência mecânica, porosidade, características permeáveis, mineralogia, dilatação térmica, tonalidade, etc., foi monitorizado através de diversos ensaios.

Estabeleceram-se ainda comparações entre os três diferentes tipos de produtos diferentes e identificaram-se as características das matérias-primas que mais contribuem para a alterabilidade das peças.

Palavras-chave: Cerâmica estrutural, alteração, nevoeiro salino, ensaio de envelhecimento acelerado.

Abstract

The structural ceramic materials, which clay is the main raw material, are usually employed in various construction types. Problems of premature degradation of the materials in these constructions are a major concern. This can lead to functional, aesthetic, economic and safety problems. Several factors may contribute to this situation and are related to the characteristics of the products and to the characteristics of the environment where they are applied.

Only a few studies concerning the interaction between the salt spray typical of a coastal environment, and structural ceramics, were developed.

The physical, chemical, mechanical and aesthetic alteration produced by salt spray, in these materials, are study and their variations quantified.

For this purpose, three types of ceramic products were used and submitted to various stages of accelerated aging test of salt spray. The effect produced in its mechanical strength, porosity, permeability, mineralogy, thermal expansion, color, etc., were monitored by several experiments.

Were also established comparisons between the three different types of products and identified the characteristics of the raw materials that have the major contribute to their alterability.

Keywords: Structural ceramic, alteration, salt spray, accelerated aging test.

Índice geral

1. Introdução	1
1.1. Interesse e objectivos.....	1
1.2. Organização da tese.....	2
2. Breve história da utilização da argila na cerâmica	5
3. Da argila à cerâmica	11
3.1. Argila e minerais argilosos.....	11
3.1.1. Grupos de minerais argilosos.....	14
3.1.1.1. Grupo da <i>Caulinite</i>	15
3.1.1.2. Grupo da <i>Ilite</i>	16
3.1.1.3. Grupo das <i>Esmectites</i>	18
3.1.1.4. Grupo da <i>Vermiculite</i>	19
3.1.1.5. Grupo da <i>Clorite</i>	20
3.2. Processos de fabrico.....	23
3.2.1. Extracção.....	23
3.2.2. Preparação das pastas.....	24
3.2.3. Conformação.....	25
3.2.3.1 <i>Prensagem a seco</i>	26
3.2.3.2. <i>Extrusão</i>	28
3.2.4. Secagem.....	29
3.2.5. Cozedura.....	30
3.3. Produtos cerâmicos.....	32
3.3.1. Introdução.....	32
3.3.2. Cerâmica estrutural.....	34
3.3.2.1. <i>Tijolos</i>	35
3.3.2.2. <i>Telhas</i>	36
3.3.2.3. <i>Pavimentos e revestimentos cerâmicos</i>	39
4. Patologias em revestimentos e coberturas exteriores	45
4.1. Durabilidade e factores de degradação.....	45
4.2. Patologias em cerâmicos aplicados em construção.....	49
4.3. Terminologia.....	52
5. Nevoeiro salino	61
5.1. Introdução.....	61
5.2. Formação, transporte e deposição.....	62
5.3. Mecanismos de penetração.....	65
5.3.1. Influência da porosidade.....	66
5.4. Interação nevoeiro salino – materiais de construção.....	67
5.4.1. Introdução.....	67
5.4.2. Mecanismos físicos – cristalização dos sais.....	67
5.4.3. Degradação por processos químicos.....	69

5.4.4. Degradação química indirecta.....	72
6. Metodologia Experimental Ensaios e sua importância.....	75
6.1. Introdução.....	75
6.2. Tipos de produtos utilizados.....	76
6.2.1. Preparação da matéria-prima e produtos.....	78
6.3. Caracterização da matéria-prima.....	79
6.3.1. Características granulométricas.....	79
6.3.2. Consistência.....	81
6.4. Envelhecimento acelerado – Nevoeiro salino.....	83
6.4.1. Fundamentos.....	83
6.4.2. Metodologia	84
6.5. Caracterizações e ensaios aos produtos.....	86
6.5.1. Análise macroscópica e à lupa binocular.....	86
6.5.2. Análise da Tonalidade.....	87
6.5.3. Absorção de água, porosidade aparente e permeabilidade.....	89
6.5.4. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade.....	92
6.5.5. Dilatação linear de origem térmica.....	94
6.5.6. Análise mineralógica.....	96
6.5.6.1. <i>Técnicas e suas aplicações em produtos cerâmicos.....</i>	96
6.5.6.2. <i>Procedimento.....</i>	99
7. Resultados e discussão.....	101
7.1. Matéria-prima.....	101
7.1.1. Análise granulométrica.....	101
7.1.2. Consistência.....	103
7.2. Ciclos de nevoeiro salino.....	105
7.2.1. Monitorização da solução das lavagens.....	105
7.2.2. Variação de massa.....	106
7.3. Avaliação da cerâmica após acção do nevoeiro salino.....	110
7.3.1. Observação macroscópica e à lupa binocular.....	110
7.3.2. Análise da tonalidade.....	120
7.3.3. Análise mineralógica.....	125
7.3.3.1. Microscopia Petrográfica.....	125
7.3.3.2. Difracção de raio X.....	127
7.3.4. Permeabilidade.....	130
7.3.5. Absorção de água e porosidade aparente.....	133
7.3.6. Coeficiente de dilatação linear térmico.....	136
7.3.7. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade.....	138
8. Conclusões.....	141
9. Desenvolvimentos Futuros.....	147
10. Bibliografia.....	149

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Representação de Venus de DolniVestonice (Händle, 2007).....	6
Figura 2.2 – Casas actuais de adobe.....	6
Figura 2.3 – Tipos de materiais utilizados pelo Homem ao longo dos tempos (Adaptado de Bormans, 2004).....	8
Figura 2.4 – Quantidade de aplicações cerâmicas ao longo do tempo. (Adaptado de Bormans, 2004).....	8
Figura 3.1 - Configuração Octaédrica (Adaptado de Reeves <i>et al.</i> 2006).....	12
Figura 3.2 - Configuração Tetraédrica (Adaptado de Reeves <i>et al.</i> 2006).....	12
Figura 3.3 – Tipo Estrutural 1:1 (Adaptado de Reeves <i>et al.</i> 2006).....	12
Figura 3.4 – Tipo Estrutural 2:1 (Adaptado de Reeves <i>et al.</i> 2006).....	12
Figura 3.5 – Estrutura cristalina da esmectite (Adaptado de Reeves <i>et al.</i> 2006).....	13
Figura 3.6 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da caulinite (Adaptado de Weaver, 1989).....	16
Figura 3.7 – Caulinite ao microscópio electrónico.....	16
Figura 3.8 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da illite (Adaptado de Murray, 2007).....	17
Figura 3.9 – Illite ao microscópio electrónico.....	17
Figura 3.10 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da Esmectite (Adaptado de Murray, 2007).....	18
Figura 3.11 – Esmectite ao microscópio electrónico.....	18
Figura 3.12 – Modelo esquemático da estrutura básica da vermiculite (Adaptado de Murray 2007).....	19
Figura 3.13 – Aspecto macroscópico de vermiculite.....	19
Figura 3.14 – Aspecto microscópico de vermiculite.....	19
Figura 3.15 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da clorite (Adaptado de Murray 2007).....	20
Figura 3.16 – Aspecto microscópico da clorite.....	21
Figura 3.17 – Pá carregadora a carregar <i>dumper</i>	24
Figura 3.18 – Argila em purificação.....	24
Figura 3.19 – Esquema de funcionamento dos laminadores.....	25
Figura 3.20 – Fluxograma do processo de fabrico por extrusão (Adaptado de APICER, 2003).....	26
Figura 3.21 – Fluxograma do processo de fabrico por prensagem a seco (Adaptado de APICER, 2003).....	26
Figura 3.22 – Esquema de extrusora (Fonseca, 2000).....	28
Figura 3.23 – Processo de extrusão.....	29
Figura 3.24 – Curva geral de cozedura (Qz=quartzo).....	31

Figura 3.25 - Tipos de tijolos (Adaptado de Aboobaker, 2010).....	35
Figura 3.26 – Telha de canudo.....	37
Figura 3.27 – Telha de aba e canudo.....	37
Figura 3.28 – Telha Romana.....	37
Figura 3.29 – Telha Marselha.....	37
Figura 3.30 – Exemplo de aplicação de telhas em habitações.....	39
Figura 3.31 – Exemplos de aplicação de ladrilhos cerâmicos em edifícios recentes.....	43
Figura 4.1 – Lei de Sitter (Sitter, 1984).....	46
Figura 4.2 – Fluxograma de uma possível metodologia a seguir na selecção de materiais de construção.....	51
Figura 4.3 – Empolamento em revestimentos cerâmicos (APICER, 2003).....	52
Figura 4.4 – Escamação em telha (Adaptado de Garcez, 2009).....	53
Figura 4.5 – Lascagem em ladrilho cerâmico.....	53
Figura 4.6 – Alveolização provocada por desagregação granular de tijolos cerâmicos.....	54
Figura 4.7 – Alveolização de tijolos cerâmicos (UNI 11182, 2006).....	54
Figura 4.8 – Fracturação em ladrilhos (a) e telhas cerâmicas (b).....	55
Figura 4.9 – Mancha em azulejos cerâmicos.....	55
Figura 4.10 – Picamento em material cerâmico.....	56
Figura 4.11 – Alteração cromática de revestimento cerâmico.....	56
Figura 4.12 – Eflorescências em ladrilhos cerâmicos.....	57
Figura 4.13 – Criptofluorescência em ladrilho cerâmico.....	57
Figura 4.14 – Colonização biológica em ladrilhos (a) e telhas cerâmicas (b).....	58
Figura 4.15 – Vegetação em ladrilhos (a) (UNI 11182, 2006) e telhas cerâmicas (b).....	58
Figura 4.16 - Reparação em telhado cerâmico esteticamente mal sucedida.....	59
Figura 5.1 – Percentagem média dos iões presentes nas águas dos oceanos.....	61
Figura 5.2 a), b), c) – Mecanismos de formação das partículas de água do mar (Adaptado Brown <i>et al</i> , 1997).....	62
Figura 5.3 – Distribuição de deposição média (seca e húmida) de sais com origem marinha. (Foltescu <i>et al</i> . 2005).....	64
Figura 5.4 – Cristalização do NaCl	68
Figura 5.5 – Cristal formado em poro (Adaptado de Scherer, 2006).....	69
Figura 5.6 – Volume relativo dos produtos de corrosão formados a partir do ferro (Tuutti, 1982 em Montemor, 1995).....	72
Figura 6.1 – Exemplar de telha (Cobert-Uralita).	77
Figura 6.2 – Exemplar de grés extrudido (CINCA).....	77

Figura 6.3 – Exemplar de grés vidrado (<i>Aleluia</i>).....	78
Figura 6.4 – Aspecto da telha após o corte.....	78
Figura 6.5 a) b) e c) – Acomodamento das partículas (Adaptado de Barba <i>et al.</i> , 2002).....	79
Figura 6.6 – Exemplo de curva granulométrica.....	80
Figura 6.7 – Diagrama de Winkler (Pracidelli e Melchiades, 1997).....	80
Figura 6.8 – Peneiração por via húmida.....	81
Figura 6.9 – Gráfico de Casagrande (1948) <i>apud</i> Gippini (1969).....	82
Figura 6.10 – Gráfico de plasticidades (Bain, 1970).....	82
Figura 6.11 – Concha de Casa-Grande.....	83
Figura 6.12 – Observação à lupa binocular.....	87
Figura 6.13 – Exemplo de histograma RGB.....	88
Figura 6.14 – Esquema de cachimbo para aplicação horizontal (RILEM, 2006).....	91
Figura 6.15 – Autoclave de ebulição das amostras.....	91
Figura 6.16 – Ensaio do cachimbo em grés vidrado.....	92
Figura 6.17 – Esquema de ensaio à flexão.....	93
Figura 6.18 – Gráfico tensão/deslocamento de um material com comportamento elástico. ...	93
Figura 6.19 – Ensaio à flexão.....	94
Figura 6.20 – Amostras para a obtenção do coeficiente de dilatação linear.....	96
Figura 6.21 – Exemplo de difractograma (Adaptado de Vieira <i>et al.</i> 2003).....	99
Figura 6.22 – Observação ao microscópio petrográfico.....	100
Figura 7.1 – Curvas granulométricas das matérias-primas que originaram os produtos cerâmicos em estudo.....	101
Figura 7.2 – Localização das matérias-primas no diagrama ternário de Winkler.....	102
Figura 7.3 – Propriedades de extrusão das pastas dos dois produtos.....	104
Figura 7.4 – Trabalhabilidade das pastas dos dois produtos.....	104
Figura 7.5 – Evolução da condutividade da solução da lavagem das telhas.....	105
Figura 7.6 – Evolução da condutividade da solução da lavagem dos ladrilhos.....	106
Figura 7.7 – Variação de massa ao longo dos ciclos.....	107
Figura 7.8 – Partículas de telha provenientes da lavagem após 40 ciclos.....	108
Figura 7.9 – Evolução da massa como os ciclos antes da lavagem.....	108
Figura 7.10 – Evolução da massa como os ciclos após a lavagem.....	108
Figura 7.11 – Variações de massas cumulativas antes das lavagens.....	109
Figura 7.12 – Variações de massas cumulativas após as lavagens.....	109
Figura 7.13 – Evolução da variação de massa nas lavagens finais.....	110
Figura 7.14 – Aspecto das amostras após nevoeiro salino (a) telhas; b) grés extrudido; c) grés vidrado).....	111
Figura 7.15 – Aspecto geral da superfície da telha após fase 4.....	112

Figura 7.16 – Cristais de halite formados após acção do nevoeiro salino; a) superficiais; b) filamentar.....	112
Figura 7.17 – Filamento de halite que provocou escamação.....	113
Figura 7.18 – Aspecto dos sais de halite na superfície do grés vidrado.....	113
Figura 7.19 – Sequência ao longo das fases de um pormenor da telha (1). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.....	114
Figura 7.20 – Sequência ao longo das fases de um pormenor da telha (2). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.....	115
Figura 7.21 – Sequência ao longo das fases de um pormenor do ladrilho (1). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.....	116
Figura 7.22 – Sequência ao longo das fases de um pormenor do ladrilho (2). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.....	116
Figura 7.23 – Pormenor de defeito de fabrico de ladrilhos vidrados (1). a) Início dos ensaios, b) Fase 3.....	117
Figura 7.24 – Pormenor de defeito de fabrico de ladrilhos vidrados (2). a) Início dos ensaios, b) Fase 3.....	118
Figura 7.25 – Perda de material na telha. a) Início b) após fase 2.....	118
Figura 7.26 – Grão de moscovite na telha após fase 3.....	119
Figura 7.27 – Histogramas RGB e respectivas imagens das telhas.....	120
Figura 7.28 – Média de valores RGB de Telhas.....	121
Figura 7.29 – Percentagem de pixéis escuros, na tonalidade da telha.....	121
Figura 7.30 – Percentagem de pixéis claros, na tonalidade da telha.....	121
Figura 7.31 – Histogramas RGB e respectivas imagens do grés extrudido.....	122
Figura 7.32 – Média de valores RGB do grés extrudido.....	123
Figura 7.33 – Percentagem de pixéis escuros, grés extrudido.....	123
Figura 7.34 – Percentagem de pixéis claros, grés extrudido.....	123
Figura 7.35 – Histogramas RGB e respectivas imagens dos ladrilhos vidrados.....	124
Figura 7.36 – Média de valores RGB dos ladrilhos vidrados.....	124
Figura 7.37 – Percentagem de pixéis escuros, ladrilhos vidrados.....	125
Figura 7.38 – Percentagem de pixéis claros, ladrilhos vidrados.....	125
Figura 7.39 – Aspecto das telhas ao microscópio petrográfico (nicóis cruzados).....	126
Figura 7.40 – Aspecto dos ladrilhos extrudidos ao microscópio petrográfico (nicóis cruzados).....	126
Figura 7.41 a) e b) – Aspecto dos ladrilhos vidrados ao microscópio petrográfico (nicóis cruzados).....	126
Figura 7.42 - a) Difractograma ao produto: telha sã; b) Difractograma ao produto: grés extrudido sã; c) Difractograma ao produto: grés vidrado sã. Legenda: Qz-Quartzo; Mu-Mulite; He-Hematite.....	128
Figura 7.43 - a) Difractograma ao produto: telha após fase 4; b) Difractograma ao produto: grés extrudido após fase 4; c) Difractograma ao produto: grés vidrado após	129

fase 4. Legenda: Qz-Quartzo; Mu-Mulite; He-Hematite; Ha-Halite.....	
Figura 7.44 - Redução do nível de água no cachimbo vs. tempo (1 hora) para telhas.....	131
Figura 7.45 – Face oposta à aplicação do cachimbo com mancha de água.....	131
Figura 7.46 - Redução do nível de água no cachimbo até 4ml para telhas.....	132
Figura 7.47 – a)Absorção de água das telhas; b) Porosidade aparente das telhas.....	132
Figura 7.48 – a)Absorção de água do grés extrudido; b) Porosidade aparente do grés extrudido.....	133
Figura 7.49 – a)Absorção de água dos ladrilhos vidrados; b) Porosidade aparente dos ladrilhos vidrados.....	135
Figura 7.50 – Módulo de ruptura das telhas nas diversas fases.....	139
Figura 7.51 – Módulo de ruptura do grés extrudido nas diversas fases.....	139
Figura 7.52 – Módulo de ruptura dos ladrilhos vidrados nas diversas fases.....	139
Figura 7.53 – Módulo de elasticidade do grés extrudido nas diversas fases.....	140
Figura 7.54 – Módulo de elasticidade dos ladrilhos vidrados nas diversas fases.....	140

Índice de tabelas

Tabela 3.1 – Classificação filossilicatos hidratados planares (Adaptado de Guggenheim <i>et al.</i> 2006).....	14
Tabela 3.2 – Composições químicas das espécies de alguns minerais argilosos comuns (Adaptado de Gomes, 1988 e Deer <i>et. al.</i> 2008).....	15
Tabela 3.3 – Classificação genérica para cerâmicos (<i>adaptado de</i> Parras, 1999).....	33
Tabela 3.4 – Principais tipos de materiais cerâmicos usados em construção.....	34
Tabela 3.5 – Normas portuguesas relativas a tijolos.....	36
Tabela 3.6 – Normas portuguesas relativas a telhas cerâmicas.....	38
Tabela 3.7 – Normas portuguesas relativas a pavimentos e revestimentos cerâmicos.....	41
Tabela 3.8 – Classificação de revestimentos e pavimentos cerâmicos segundo a absorção de água (NP EN 1441).....	42
Tabela 4.1 – Vida útil para construções e respectivos produtos (adaptado de EOTA, 1999).....	45
Tabela 4.2 – Factores exógenos dos materiais de construção.....	47
Tabela 4.4 – Causas de patologias em revestimentos cerâmicos de fachadas exteriores (Adaptado de Silvestre, 2005).....	50
Tabela 5.1 – Potenciais padrão de eléctrodo a 25°C (Adaptado de Smith, 1998).....	71
Tabela 6.1 – Composição granulométrica dos produtos cerâmicos (Pracidelli e Melchiades, 1997).....	80
Tabela 6.2 – Produtos e fases de ensaio.....	84
Tabela 7.1 – Percentagens de areia, silte e argila nas matérias-primas.....	102
Tabela 7.2 – Limites de consistência das pastas.....	103
Tabela 7.3 – Percentagens relativas dos minerais, calculadas através dos difractogramas.....	130
Tabela 7.4 – Resultados do coeficiente de dilatação linear térmico.....	136
Tabela 7.5 – Dilatação linear de origem térmica dos produtos em estudo.....	137
Tabela 8.1 – Resumo das características de fabrico das peças em estudo.....	141
Tabela 8.2 – Resumo das alterações verificadas nos produtos após 60 ciclos de nevoeiro salino.....	145

1. Introdução

1.1. Interesse e objectivos

O problema da durabilidade em materiais de construção é desde há muito uma preocupação. Em grande parte, este deve-se ao desconhecimento das características físicas, químicas e mecânicas dos materiais em utilização. Também está relacionado com a falta de preocupação com a influência das características ambientais menos óbvias, mas não menos interventivas nos processos de degradação.

Os materiais cerâmicos estruturais constituem um produto de origem geológica. São frequentemente usados nas construções em todos os países. Estes apresentam diversas composições, formas e funções.

Quando sujeitos a acções de natureza química, física e mecânica provocadas pelo ambiente envolvente, produzem reacções (como todos os outros). Estas reacções podem ser da mesma natureza, ou seja, alteração química, física ou mecânica. Este facto pode afectar o seu correcto desempenho como material de construção e causar diversos problemas.

As condições ambientais, variam de local para local e realizam uma importante função na alteração dos materiais cerâmicos. A presença de substâncias provenientes do mar é comum nas zonas litorais em todos os continentes. São também conhecidos as elevadas densidades populacionais nestas zonas e as suas conseqüentes pressões ao nível da construção.

Torna-se óbvia, a interacção entre o nevoeiro salino proveniente dos oceanos e os materiais de construção, nomeadamente os cerâmicos estruturais.

Esta conjugação entre ambiente litoral e materiais cerâmicos e as suas conseqüências têm sido pouco estudadas. Considera-se esta interacção real e constitui frequentemente um problema.

Desta forma, esta dissertação tem como principal objectivo, proporcionar uma contribuição no estudo de materiais cerâmicos de construção, quando sujeitos a um ambiente litoral sob a acção do nevoeiro salino.

Através de diversos ensaios laboratoriais, pretende-se determinar as características funcionais dos produtos, mais afectados por esta acção, pois a sua eventual perturbação pode condicionar o seu correcto desempenho.

O grau de susceptibilidade destas características à acção do nevoeiro salino está dependente do tipo de material geológico utilizado e nos processos de fabrico empregues. A sua correcta caracterização tem a pretensão de identificar os materiais e os processos mais favoráveis à durabilidade.

Devido à falta de normalização para estudos desta natureza em materiais cerâmicos estruturais, a presente dissertação pretendeu também avaliar a adaptabilidade de uma normalização utilizada para materiais pétreos.

Por esta mesma razão, um outro objectivo está relacionado com o correcto desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da durabilidade dos materiais cerâmicos estruturais.

A presença de uma componente teórica, elaborada e apoiada na bibliografia, suporta e justifica a real importância desta dissertação bem como dos seus objectivos gerais.

1.2. Organização da tese

A sequência de conteúdos desta tese é a seguinte:

Após breve introdução no capítulo 1, o capítulo 2 apresenta uma breve história da utilização da argila na cerâmica. É composto por uma descrição sucinta da utilização de materiais cerâmicos ao longo dos tempos, desde o seu surgimento até aos dias de hoje. Sendo, eventualmente, o capítulo menos científico, certamente não o menos importante, pretende sensibilizar e revelar a importância do papel de destaque que a argila e os materiais cerâmicos, no geral apresentaram nas sociedades que os utilizaram.

O capítulo 3, da argila à cerâmica, é importante para o auxílio na obtenção de conclusões finais e desta dissertação, pois são aí tratadas todas as variáveis que controlam as características do produto final. Apresentam-se as características e os tipos essenciais das diferentes argilas e suas espécies minerais, sendo possível compreender a infinidade de misturas na matéria-prima que permitem influenciar as características do produto cerâmico. Trata também dos processos actualmente utilizados da transformação do material geológico em material de construção. São processos controlados pelo Homem, e as suas variações são as principais responsáveis por modificações no desempenho do cerâmico quando aplicado. Os diversos tipos de produtos dos quais resultam todos estes processos são também abordados.

O capítulo 4, patologia em revestimentos e coberturas exteriores, vem justificar a possível utilidade desta dissertação. Expõe o problema da durabilidade dos materiais e a usual falta de atenção por parte da maioria dos intervenientes na construção para a selecção mais adequada dos materiais. Apresenta ainda uma terminologia para patologias que será bastante útil na identificação destas, nos produtos em estudo.

O capítulo 5, nevoeiro salino, permite, com o recurso a bibliografia provar de uma forma teórica a ocorrência de interacção entre o nevoeiro salino e os materiais de construção, bem como de todas as características que a podem maximizar ou minimizar. Apresentam-se também os mecanismos que provocam alterações nos materiais resultado desta mesma interacção.

O capítulo 6, ensaios e sua importância, apresenta uma descrição dos ensaios utilizados na campanha experimental relevantes para uma correcta caracterização dos produtos cerâmicos e para avaliar a sua degradação após os ensaios acelerados. Não sendo elaborada uma exposição exaustiva de cada ensaio já que esta pode ser consultada na respectiva norma, pretendeu-se justificar a utilização de cada ensaio realçando a sua importância de um ponto de vista prático. Apresenta-se paralelamente a metodologia seguida na campanha experimental realizada em laboratório.

No capítulo 7, resultados experimentais, os resultados obtidos nos diversos ensaios e caracterizações realizadas são apresentados, interpretados e discutidos.

O capítulo 8, considerações finais, apresenta uma síntese sob a forma de tabela relativa a todos os resultados obtidos no capítulo anterior. Através da observação deste quadro, é possível uma comparação e compreensão do comportamento geral dos produtos. Algumas das conclusões finais suportam-se na referida tabela.

No capítulo 9 são mencionados possíveis desenvolvimentos futuros e algumas questões deixadas em aberto nesta dissertação.

2. Breve história da utilização da argila na cerâmica

Em primeiro lugar, deve reconhecer-se a importância que os recursos geológicos têm tido ao longo da história da humanidade. A argila é um destes recursos, e como tal, não poderia ser excepção.

É necessário compreender a envolvimento da palavra “cerâmica”. Esta provém de uma outra de origem grega, “kéramos”, que significa “material queimado” (Washburn *et al.* 1920). Hoje, de acordo com a Norma ASTM C242-01 (2007), o termo genérico “cerâmica” diz respeito à arte ou técnica de produzir materiais por processos cerâmicos ou os materiais que advêm deste processo.

Considerando-se a definição anterior relativamente vaga e insuficiente, refere-se a de Washburn *et al.* (1920), para evitar os frequentes erros etimológicos. Estes autores estudaram esta temática e avançaram com uma definição para o termo “cerâmica” que ainda hoje é actual. Descrevem e definem as indústrias cerâmicas como aquelas que fabricam produtos utilizando a acção do calor nas matérias-primas, maioritariamente de origem natural. De acordo com esta definição, pode-se enumerar os produtos das indústrias cerâmicas:

- Todo o tipo de produtos de argila “queimada” como grés, tijolos, telhas, tubagens, terracota, porcelanas, etc.;
- Materiais cimentícios, como o cimento Portland, cal, argamassas e uma variedade de produtos de magnésio, gesso, etc.;
- Todas as variedades de vidro;
- Metais com esmalte;
- Materiais refractários fabricados com argila, sílica, alumina, magnésio, etc.;
- Materiais abrasivos como o *carborundum* ou o zircónio;
- Vários produtos de isolamento térmico e eléctrico.

Actualmente, em termos práticos, a maior parte destes materiais não é vulgarmente denominada de “cerâmicos”. No entanto, os materiais de que se pretende tratar nesta dissertação, são usualmente assim designados: Cerâmicos.

Relativamente às matérias-primas que dão origem a materiais cerâmicos podem ser, como referido anteriormente, naturais ou sintéticos. Sendo abordados neste trabalho apenas os cerâmicos cuja matéria-prima é de origem natural, nomeadamente a argila. Ainda assim, estamos na presença de uma vasta gama de materiais com uma grande variedade de utilidades, que podem apresentar funções artísticas, decorativas, utilitárias, construtivas e tecnológicas.

Desta forma, por questões práticas, nesta dissertação quando se faz referência a cerâmicos apenas se deve considerar aqueles cuja matéria-prima é o recurso geológico, argila.

Desde a Antiguidade, o Homem explora e usufrui todas estas vertentes dos produtos cerâmicos e materiais cuja matéria-prima é a argila ou simplesmente “lama”. A razão para este facto está relacionada com a sua propriedade mais evidente, a plasticidade que permite ser facilmente trabalhada obtendo a forma pretendida.

O Homem primitivo, para dificultar o acesso a inimigos às suas cavernas, usava rudimentares estruturas de troncos de árvore e folhagem e servia-se de “lama” para cobrir as referidas estruturas (Alvarez, 2007).

Na literatura, é dito que os mais antigos objectos cerâmicos apresentam uma idade entre os 26.000 e os 15.000 anos que corresponde à chamada Idade da Pedra. Numa área onde actualmente é a República Checa foram encontradas três estruturas próximas entre si, semelhantes a cabanas. Estas construções estavam equipadas com lareiras no seu centro que provavelmente teriam sido os primeiros fornos. Nas suas imediações foram descobertos milhares de fragmentos de bolas de barro com a forma de cabeças de diversos animais que datam de 27.000 a.C. (Bormans, 2004). Junto a estas partes de figuras, foi encontrada uma estátua representando uma mulher, símbolo da fertilidade, a conhecida Vénus de DolniVestonice (figura 2.1) (Carter & Norton, 2007). Ficou provado que a matéria-prima que deu origem a esta figura foi “terra queimada” (Bormans, 2004), a chamada “terra cota”.



Figura 2.1 – Representação de Venus de DolniVestonice (Händle, 2007).



Figura 2.2 – Casas actuais de adobe. (<http://www.vagabondjourney.com/209-0241-harran-turkey-beehive-houses.shtml>)

Nos milénios que se seguiram, o Homem consumiu algum do seu tempo a elaborar apenas peças de argila ou terra com significados religiosos e/ou figurativos. Foi em 10.000 a.C. que

estas peças passaram a ter uma utilidade prática, armazenamento de água e de alimentos (Händle, 2007).

Durante o Neolítico, que teve início em 8000 a.C., o interior das habitações estava repleto de argila e material cerâmico, o seu chão era constituído por uma fina camada argilosa onde assentavam os mais diversos objectos cerâmicos (Stevanović, 1997).

Foi igualmente neste período que surgiram habitações cujo revestimento era constituído por adobe (Houben & Guillaud, 1994). Conhecem-se vários exemplos em praticamente todo o mundo deste tipo de habitações (figura 2.2). As casas na cidade de Jericó (Israel) representam um desses exemplos, foram datadas de 6500 a.C. e são elaboradas com adobes em forma de pão, obtidos por raspagem de lama com um pau e mais tarde secos ao sol (Alvarez, 2007). A escolha da argila como a predominante fonte de material para um elevado número de funções nas sociedades do Neolítico, fez com que Stevanović (1997), redefina este período da pré-história como a “Idade da Argila”.

Com o passar dos anos, os métodos construtivos foram evoluindo e o processo de secagem dos adobes ao sol, passou a ser substituído por tijolos cozidos desde 3500 a.C. (Alvarez, 2007).

Após este período, estão descritos na literatura e figuram em museus milhares de achados arqueológicos que constituem provas da utilização deste recurso geológico, e com maior frequência nas épocas mais recentes da utilização da argila pelos mais diversos povos. Será evidente que ao longo dos tempos o Homem foi evoluindo os seus processos de execução das peças e com isto, a sua complexidade e qualidades mecânicas.

Um dos exemplos da vasta utilização destes materiais é a civilização egípcia que elaborava manualmente todo o tipo de magníficas peças, não só as utilizava nas suas construções como bebia e comia em peças cerâmicas, transportava líquidos, elaboravam brinquedos e utensílios, e ainda após a morte pretendiam levar algumas destas peças para os seus túmulos para ficarem preservadas na sua eternidade (<http://www.reshafim.org.il/ad/egypt/pottery/index.html>).

As civilizações orientais com as suas belas peças de olaria onde estão incluídos os admiráveis vasos chineses produzidos durante numerosas dinastias até aos dias de hoje. A cerâmica grega com diversas utilidades, as suas ânforas usadas para armazenar e transportar vinho, vasos, copos, recipientes para cozinhar ou armazenar os seus perfumes. É também sabido que na antiga Grécia, por volta do ano 800 a.C., foram inventadas e utilizadas as primeiras telhas cerâmicas (Händle, 2007). Como estes, muitos outros povos e civilizações fizeram uso de produtos cerâmicos.

Demonstra-se que na Antiguidade a cerâmica esteve presente e que apesar de não ter a mesma notoriedade que a “invenção da roda”, desempenhou indiscutivelmente um papel muito importante nas sociedades envolventes. Analisando a figura 2.3, que apresenta a percentagem

de materiais utilizados ao longo dos tempos, percebe-se que a maior parte dos produtos usados na Antiguidade (até o ano 1800) são cerâmicos. Apesar destes dados não poderem ser comprovados, o seu autor revela que foi necessária uma “boa dose de interpolação”, temos mais uma vez a ideia de que a cerâmica se sobrepôs a qualquer outro tipo de material durante muitos milénios, estando este facto agora invertido.

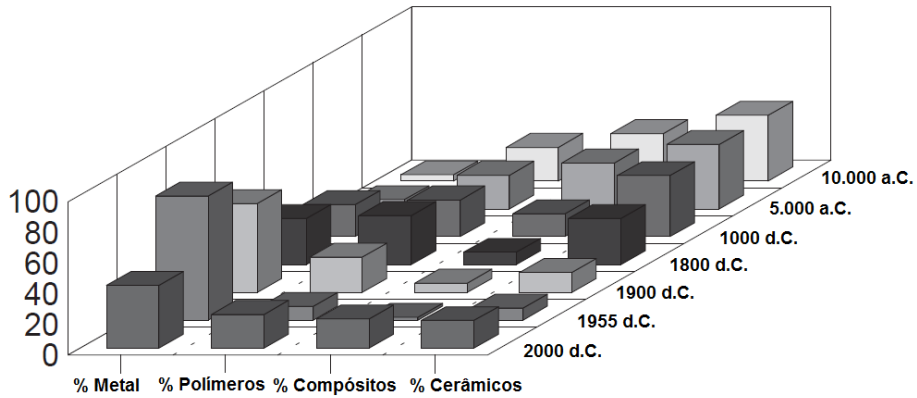


Figura 2.3 – Tipos de materiais utilizados pelo Homem ao longo dos tempos (Adaptado de Bormans, 2004).

Não obstante, o período pós 1800 d.C. não poderá ser menosprezado. Para além de ser neste que nos encontramos actualmente, sendo só por si uma razão para o qual nos deveríamos interessar, foi nesta janela temporal que ocorreu um rápido crescimento das aplicações de cerâmica industrial em que a argila passou a ser uma matéria-prima amplamente utilizada. O número de variedade de aplicações de materiais cerâmicos no período entre 1850 e 2000 é bastante superior à totalidade da história da cerâmica antes de 1850, (Bormans, 2004) como se pode ver na figura 2.4.

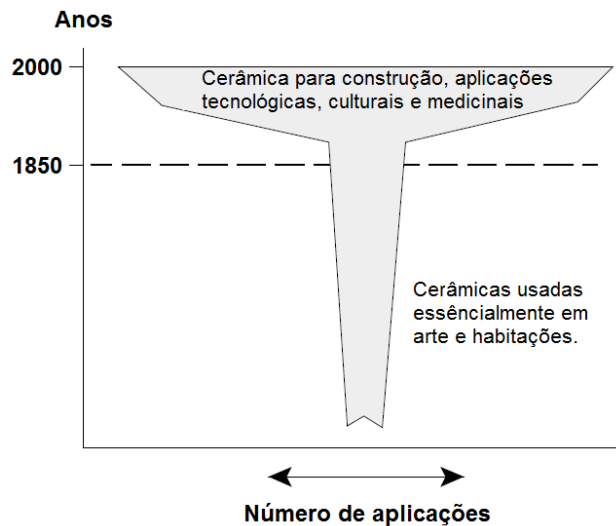


Figura 2.4 – Quantidade de aplicações cerâmicas ao longo do tempo. (Adaptado de Bormans, 2004).

O desenvolvimento intensificou-se paralelamente à industrialização, que resultou num aumento de investigação das empresas de cerâmicos. Dedicaram-se em grande parte aos produtos tecnológicos e ao melhoramento dos processos de queima. No entanto, algumas das aplicações continuam a ser as comuns, como por exemplo, as tradicionais faianças domésticas. À semelhança do que aconteceu na antiguidade, os produtos cerâmicos constituem um importante e versátil material de construção. São raras as ocasiões em que num edifício ou habitação não se vislumbra um material cerâmico, existindo revestimentos exteriores, interiores, pavimentos, coberturas ou até em funções estruturais.

3. Da argila à cerâmica

3.1. Argila e Minerais Argilosos

De acordo com diversos autores (Gomes 1988, Lagaly & Bergaya 2006, Reeves *et al* 2006, Murray 2007) não existe apenas uma correcta definição para o conceito de argila. A primeira formalização deste termo parece estar atribuída a Georgius Agricola (Guggenheim & Martin, 1995) considerado por muitos como o fundador da geologia enquanto ciência. Foi também ele, o primeiro a tentar explicar as propriedades tecnológicas das argilas com base na sua classificação (Pabst & Kořánová 2009).

Desde então, a definição e o significado do termo “argila” tem vindo a modificar-se e a ramificar-se para as diversas actividades da sociedade. Hoje existem várias terminologias de acordo com a formação ou área de trabalho de cada utilizador deste material (Gomes, 1988). Por exemplo: para um ceramista a argila é um material que misturado com água se torna plástico e após ser “queimado” se torna duro; para um sedimentólogo representa uma granulometria cujo diâmetro máximo das partículas é de 2 µm; para um mineralogista é um grupo de minerais de granulometria muito fina; etc.

Para este trabalho adoptou-se uma definição geral proposta pela *Association Internationale pour l'Etude des Argiles* (AIPEA) e da *Clay Minerals Society* (CMS) que descreve a argila como um material que ocorre naturalmente, composto principalmente por minerais de granulometria fina, com teor de água adequado apresenta-se num estado plástico e que endurece com a sua secagem (Guggenheim & Martin, 1995). Os seus constituintes podem ser atribuídos a um de dois grupos, denominados minerais argilosos que predominam e são geralmente silicatos hidratados e outros que são acessórios, não argilosos.

Existe um elevado número de minerais argilosos e todos eles têm características comuns. Normalmente ocorrem em partículas lamelares em agregados de grão fino, que são os responsáveis, quando misturados com água, por conferir plasticidade e o endurecimento após a secagem ou a queima. Não obstante, as suas características físicas e químicas não são exactamente as mesmas, estando dependentes da sua estrutura e composição que são fundamentais para explicar as variações comportamentais dos materiais argilosos. Estas diferenças permitiram a implementação de uma sistemática que individualiza os diversos tipos de minerais argilosos. Contudo, a classificação que hoje existe foi fruto de intenso debate ao longo de vários anos. Desde os anos 50, tem sofrido constantes modificações e evoluções (e.g. Brown, 1955, Brindley 1966, Bailey 1980, Guggenheim *et al*, 2006).

Para melhor compreender esta sistemática, antes de apresentar a classificação adoptada, torna-se necessário apreender alguns conhecimentos relativos aos critérios classificativos, os componentes estruturais.

Os minerais argilosos são maioritariamente constituídos pelos seguintes elementos químicos: O, Si, Al, H, Fe, Mg, Ca, K e Na, que no seu estado iónico se podem organizar em diferentes modelos estruturais e consequentemente em grupos estruturais.

As folhas estruturais são agrupamentos de átomos distribuídos por vários planos atómicos que podem possuir configurações octaédricas ou tetraédricas, figura 3.1 e 3.2, respectivamente.

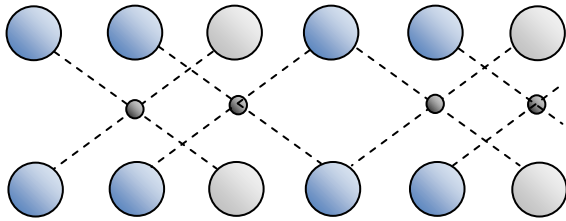


Figura 3.1 - Configuração Octaédrica (Adaptado de Reeves *et al.* 2006)

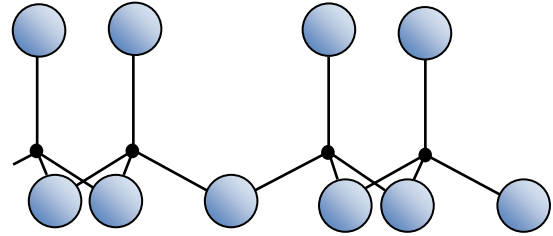


Figura 3.2 - Configuração Tetraédrica (Adaptado de Reeves *et al.* 2006)

Através do tipo destas folhas estruturais e da natureza dos agrupamentos entre si, obtemos diferentes tipos estruturais:

Tipo 1:1, que consiste numa folha de configuração octaédrica ligada a uma folha de configuração tetraédrica.

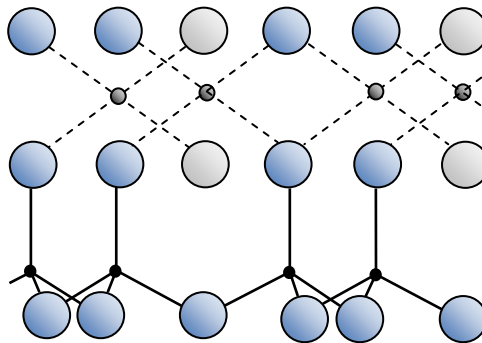


Figura 3.3 – Tipo Estrutural 1:1 (Adaptado de Reeves *et al.* 2006)

Tipo 2:1, que consiste numa folha de configuração octaédrica ligada a duas folhas de configuração tetraédrica.

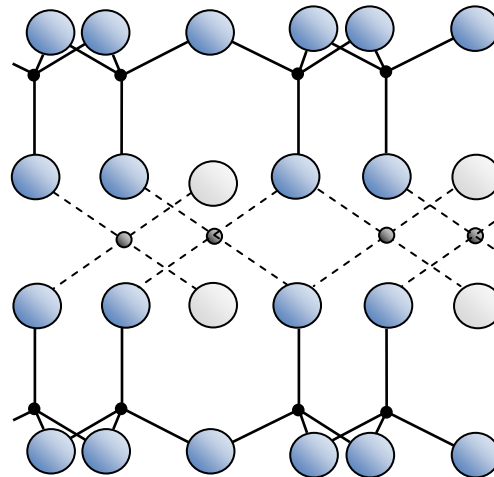


Figura 3.4 – Tipo Estrutural 2:1 (Adaptado de Reeves *et al.* 2006)

A estas estruturas está ainda associado o espaçamento basal, isto é, o espaçamento entre as bases das folhas adjacentes (Sampaio, 2006). Numa estrutura 1:1 este espaçamento é ligeiramente superior a 7 Å (ângstrom) ou 0,7nm (nanómetro), enquanto, que o de uma estrutura 2:1 é de cerca de 10 Å ou mais, (Gomes, 2002) como se pode constatar pela figura 3.5 que corresponde à estrutura cristalina da esmectite.

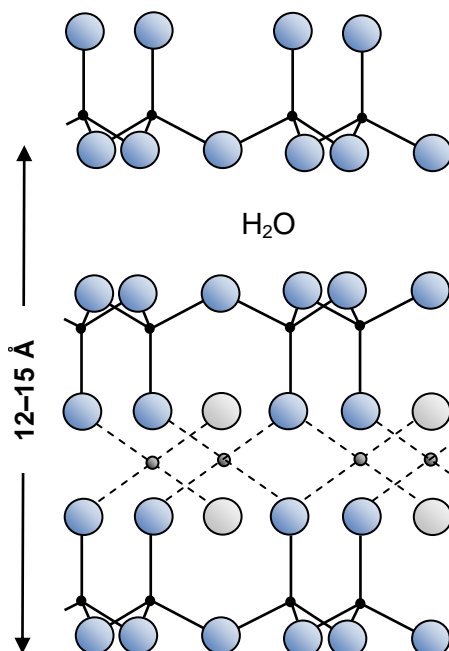


Figura 3.5 – Estrutura cristalina da esmectite (Adaptado de Reeves *et al.* 2006)

A carga eléctrica é também um critério muito importante utilizado na sistemática dos minerais argilosos, constitui uma propriedade indicadora da capacidade de fixar catiões e adsorver água e várias moléculas orgânicas polares (Gomes, 2002).

Na tabela 3.1 está expressa a actual classificação de minerais argilosos, proposta por Guggenheim *et al.* (2006), dividida em filossilicatos hidratados planares e filossilicatos hidratados não planares.

O nome de filossilicatos hidratados planares, deve-se ao hábito planar destes cristais. Nesta classificação existe uma primeira separação que está relacionada com o tipo estrutural. Segue-se a carga eléctrica a que corresponde um grupo estrutural. Para os vários grupos pode haver diferentes sub-grupos, isto é, diferentes números de átomos da folha octaédrica. A classificação também faz referência a diversas espécies de cada sub-grupo.

No que diz respeito aos filossilicatos hidratados não planares, o modelo estrutural é bastante diferente pois estes ao contrário dos filossilicatos hidratados planares que são constituídos por “folhas”, apresentam hábitos fibrosos. Estes minerais apresentam ligeiras semelhanças aos filossilicatos tradicionais (Guggenheim *et al.* 2006), no entanto apresentam perturbações à estrutura básica dos silicatos (Martin *et al.* 1991).

Tabela 3.1 – Classificação filossilicatos hidratados (Adaptado de Guggenheim *et al.* 2006).

Filossilicatos hidratados planares				
Tipo Estrutural	Carga Eléctrica	Grupo Estrutural	Sub-grupo Estrutural	Exemplos de Minerais
1:1	0	Serpentina-Caulino	Trioctaédrico	Lizardite, amesite, berthierite
			Dioctaédrico	Caulinite, dickite, nacrite, halloysite
			Di, trioctaédrico	Odinite
2:1	0	Talco-pirofillite	Trioctaédrico	Talco, kerolite, pimelite
			Dioctaédrico	Pirofillite
	0,20-0,60	Esmectite	Trioctaédrico	Saponite, sauconite
			Dioctaédrico	Montmorilonite, nontronite
	0,60-0,90	Vermiculite	Trioctaédrico	Vermiculite
			Dioctaédrico	Vermiculite
	0,85-1,00	Mica Elástica	Trioctaédrico	Flogopite, Lepidolite
			Dioctaédrico	Moscovite, paragonite
	0,60-0,85	Mica com intercama da deficiente	Trioctaédrico	Illite, glauconite
			Dioctaédrico	Wonesite
	1,80-2,00	Mica Frágil	Trioctaédrico	Clintonite, Anandite
			Dioctaédrico	Margarite
	Variável	Clorite	Trioctaédrico	Chamosite, nimate
			Dioctaédrico	Donbassite
Di, trioctaédrico			Sudoite	
Tri,dioctaédrico			-	
2:1	Variável	Variável	Trioctaédrico	Caorrensite, Hidrobiotite
Dioctaédrico			Rectorite, tosudite	
Trioctaédrico			Dozyite	
1:1, 2:1				
Filossilicatos hidratados não-planares				
Tipo Estrutural	Tipo de Camada	Sub-grupo estrutural		Exemplos de Minerais
1:1	Tetraédrica	Fitas		Antigorite, bementite
				Nelenite, schaletite, friedelite
2:1	Tetraédrica	Fitas		Ganofilite, Eggletonite
		Outras		Gonierite
	Octaédrica	Fitas		Sepiolite, paligorskite
1:1	-	Trioctaédrico		Crisótilo
		Dioctaédrico		Halosite (não planar)

3.1.1. Grupos de Minerais Argilosos

As espécies de minerais argilosos diferenciam-se, conjuntamente, pela composição química e como vimos, pela organização estrutural. Desta forma, mostra-se a título de exemplo composições químicas padrão para diversas espécies de minerais argilosos (tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Composições químicas das espécies de alguns minerais argilosos comuns.
(Adaptado de Gomes, 1988 e Deer *et. al.* 2008).

	Caulinite	Illite	Montmorilonite	Vermiculite	Clorite
SiO ₂	46,20	51,25	56,59	34,04	27,56
TiO ₂	0,09	0,17	0,06	-	-
Al ₂ O ₃	39,20	23,53	20,06	15,37	24,47
Fe ₂ O ₃	0,23	2,02	3,19	8,01	3,85
FeO	-	0,33	-	-	10,51
MnO	-	-	0,03	-	-
MgO	0,07	3,32	3,10	22,58	20,86
CaO	0,06	0,59	0,68	0,00	-
Na ₂ O	0,09	0,05	2,17	0,00	-
K ₂ O	0,21	7,61	0,45	0,00	-
H ₂ O+	13,8	5,87	13,67	19,93	11,35
H ₂ O-	-	5,26	-	-	-
Total	99,95	100,00	100,00	99,93	98,60

3.1.1.1. Grupo da Caulinite

Para além da caulinite que é o mineral principal deste grupo, fazem também parte outros, como a dickite, nacrite, halosite, alofana e a imogolite.

A figura 3.6 corresponde ao modelo estrutural deste grupo em que o espaçamento basal é de 7 Å e que cada camada é constituída por associação de uma folha tetraédrica de sílica com uma folha octaédrica de gibsite ou brucite. Como é possível constatar, a ligação entre camadas estruturais é efectuada por intermédio de átomos O²⁻ e grupos de OH⁻ (Weaver, 1989). Segundo Gomes (1988), todos os OH são eliminados a temperaturas que variam entre 500°C e os 700°C, valores próximos aos citados por Deer *et al.* (2008) que refere temperaturas entre os 400°C a 525°C para a caulinite e temperaturas ligeiramente superiores para a dickite e nacrite. O produto resultante desta desidroxilação denomina-se metacaulino. Quando se submete estes cristais a temperaturas superiores, na ordem dos 800°C, as suas estruturas ficam bastante danificadas, ocorrendo inclusive a temperaturas entre os 900°C e os 1000°C a formação de mulite e/ou alumina e cristobalite (Deer *et al.*, 2008).

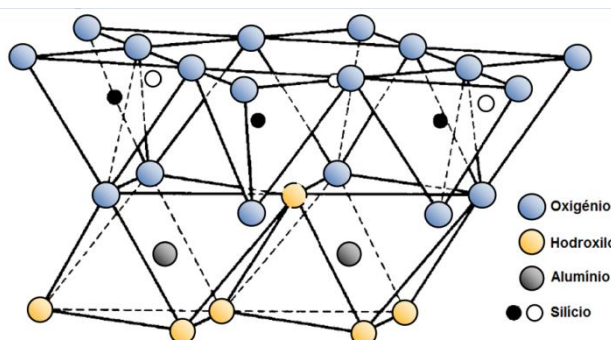


Figura 3.6 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da caulinite (Adaptado de Weaver, 1989).

Os minerais deste grupo podem ocorrer em blocos maciços e compactos, em agregados vermiformes ou granulares, sob a forma de lamelas com disposição radial ou em pilhas de lamelas (Deer *et. al.*, 2008). De acordo com Gomes (1988), em média, em cada uma destas lamelas de caulinite entram 40-50 camadas estruturais. Nas microfotografias da figura 3.7, é possível observar imagens destes cristais. Estas revelam as dimensões dos cristais, de aproximadamente 1 μm , o que está de acordo com o mesmo autor que refere para dimensão média valores entre 0,5 μm e 1 μm , mencionando ainda que a relação diâmetro/espessura é próxima de 25.

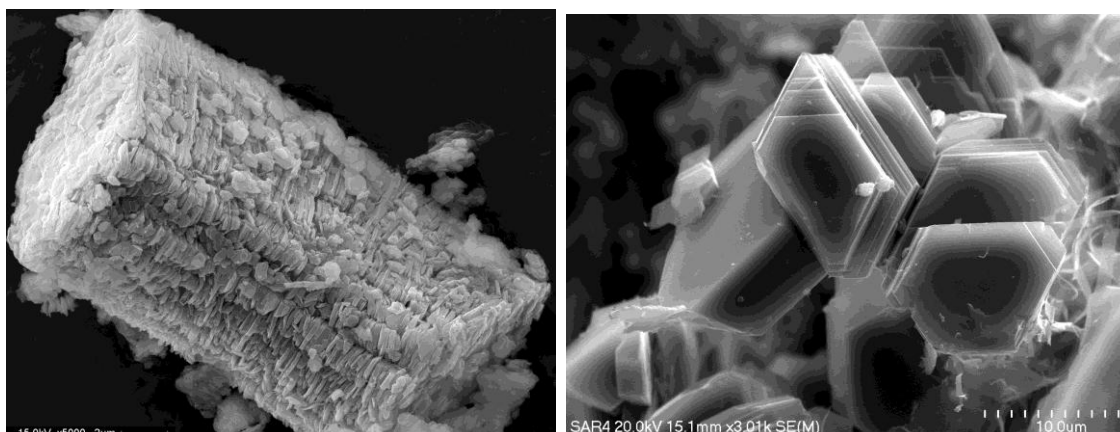


Figura 3.7 – Caulinite ao microscópio electrónico (<http://www.minersoc.org/>).

3.1.1.2. Grupo da Ilite

O grupo da ilite apresenta grande complexidade estrutural e é também consensualmente designado por grupo das micas argilosas (Gomes, 2002 e Deer *et al.* 2008). Rieder *et al.* (1998) refere que o termo “ilite” tem sido utilizado de uma forma relativamente vaga, devido ao elevado espectro composicional que têm abrangido. Diferentes composições químicas têm sido encontradas (Brigatti *et al.* 2006). Desta forma, o grupo da ilite, faz referência a todos os tipos de micas argilosas (Reeves *et. al.* 2006), tais como a sericite e glauconite.

A ilite apresenta um tipo estrutural 2:1. Como podemos observar pela figura 3.8, a uma folha octaédrica, por intermédio de OH, estão ligadas duas folhas tetraédricas de sílica. O seu espaçamento basal é de 10 Å e o catião coordenado poderá ser de Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} ou Mg^{2+} (Velho *et. al.*, 1998).

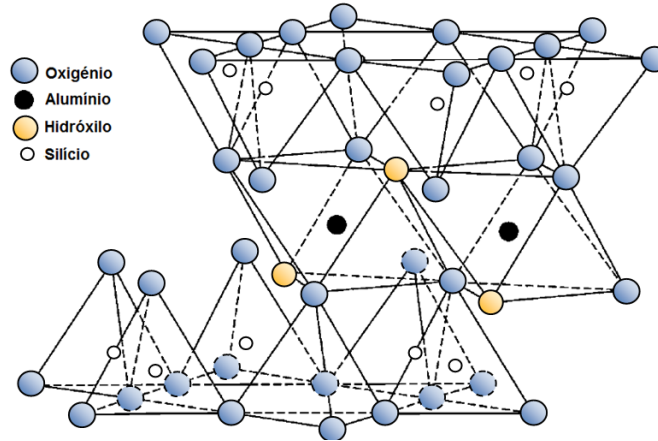


Figura 3.8 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da ilite (Adaptado de Murray, 2007).

A sua estrutura microscópica assemelha-se ao seu aspecto macroscópico, das quais resultam geralmente por divisão física e alteração química. O microscópio electrónico (figura 3.9), evidencia lamelas de forma alongada com bordos irregulares de diâmetros geralmente entre 0,1 µm e 2 µm.

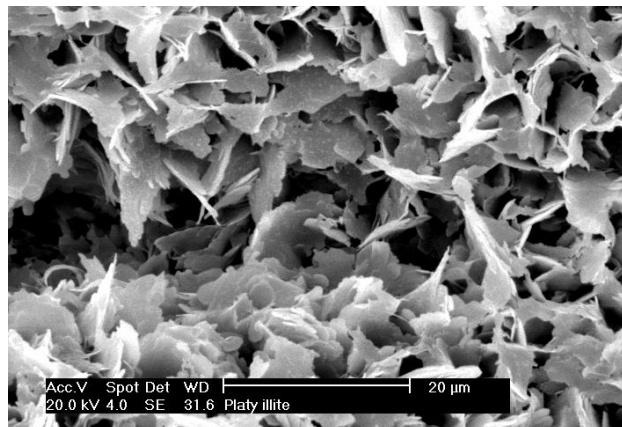


Figura 3.9 – Ilite ao microscópio electrónico (<http://www.minersoc.org/>).

As curvas da análise térmica diferencial (ATD) deste mineral, elaboradas por Deer *et. al.* (2008), revelam um pico endotérmico (entre outros) entre os 550°C e os 650°C correspondente à perda do OH por desidroxilação. Adicionalmente, Gomes (2002) refere que esta ocorre a temperaturas entre os 500°C e os 600°C. A temperaturas superiores, em torno dos 900°C, a estrutura restante é decomposta ocorrendo posteriormente formação de espinela (Deer *et al.* 2008).

3.1.1.3. Grupo das Esmectites

A denominação deste grupo evidencia à partida uma estrutura lamelar (Gomes, 1988). Os minerais principais são a montmorilonite sódica, montmorilonite cálcica, saponite (Mg), nontronite (Fe), hectorite (Li) e beidelite (Al).

Estes minerais exibem uma estrutura do tipo 2:1, similar ao grupo da illite, que apresenta duas folhas tetraédricas de sílica e uma central octaédrica (figura 3.10). Este grupo manifesta uma considerável troca de elementos em toda a sua estrutura, como por exemplo a substituição do alumínio pelo silício, ou magnésio e ferro pelo alumínio (Murray, 2007). Assim, de acordo com estas trocas, o espaçamento entre camadas estruturais pode variar de 10 a 17,5 Å.

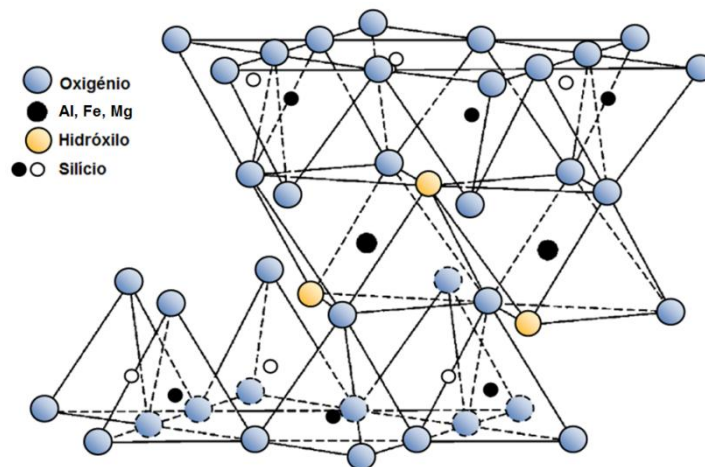


Figura 3.10 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da Esmectite (Adaptado de Murray, 2007).

Devido a estas características, este grupo apresenta expansibilidade, adsorvendo água ou matéria orgânica entre as suas camadas estruturais e também acentuada capacidade de troca catiónica (Deer *et al.* 2008), estando as utilizações tecnológicas dependentes destas reacções que ocorrem no espaço inter-camadas.

Os cristais apresentam dimensões muito reduzidas, com espessuras bastante inferiores às da illite ou da caulinite apresentando limites muito irregulares (figura 3.11).

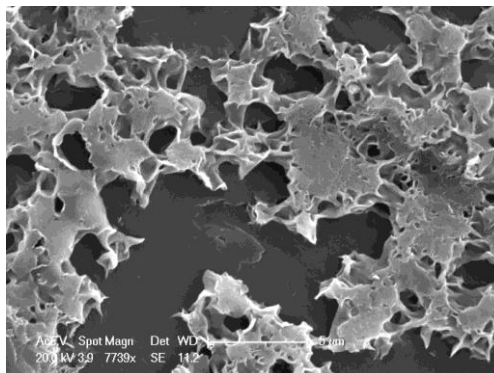


Figura 3.11 – Esmectite ao microscópio electrónico (<http://www.minersoc.org/>).

A perda do ião hidróxido dá-se a cerca de 500°C, completando-se por volta dos 750°C. A temperaturas superiores, a decomposição ocorre para fases de altas temperaturas tais como a cristobalite, mulite, cordierite ou para um composto do tipo espinela (Deer *et al.* 2008).

3.1.1.4. Grupo da Vermiculite

A designação deste grupo tem origem na palavra *vermiculus* em latim, pois este tipo de argila quando aquecida assemelha-se a um conjunto de pequenos vermes.

À semelhança do que acontece nas esmectites, o espaço entre os tipos estruturais 2:1 (figura 3.12) é ocupado por catiões hidratados, no entanto ocorrem substituições do silício pelo alumínio. O aspecto macroscópico da vermiculite argilosa é semelhante ao seu aspecto quando observada a grandes ampliações (ver figuras 3.13 e 3.14). As camadas típicas das micas trioctaédricas estão separadas por moléculas de água, estruturadas, com orientação planar e paralela àquelas camadas (Gomes, 2002), encontrando-se a solvatar certos catiões de troca.

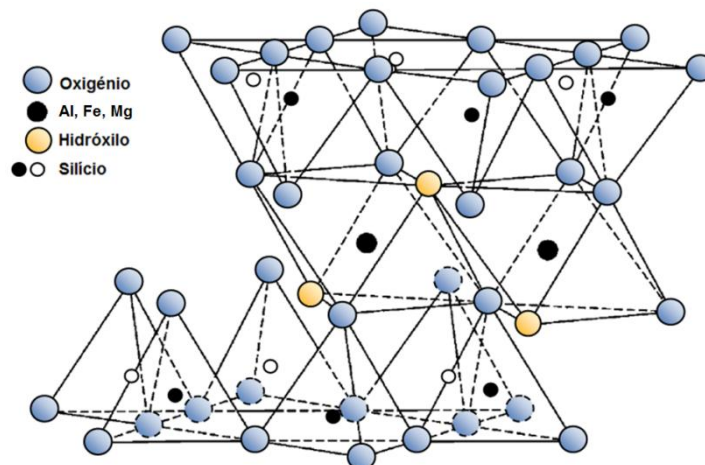


Figura 3.12 – Modelo esquemático da estrutura básica da vermiculite (Adaptado de Murray, 2007).



Figura 3.13 – Aspecto macroscópico de vermiculite (<http://troiska.com/>).

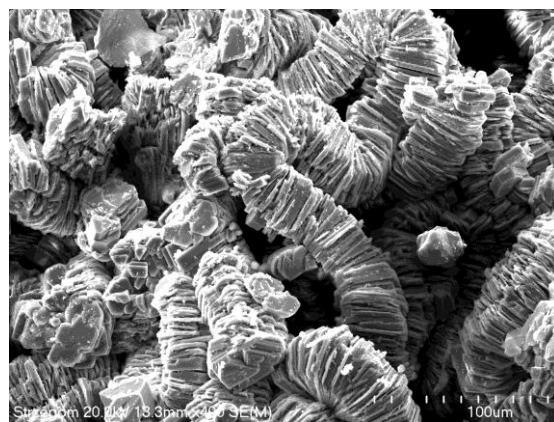


Figura 3.14 – Aspecto microscópico de vermiculite (<http://www.minersoc.org/>).

Para condições de humidade baixa ou temperaturas elevadas, este mineral apresenta um espaçamento basal de 11,7 Å, em condições de humidade e temperatura normais, exibem um espaçamento de 14,3 Å (Deer *et al.* 2008).

Às temperaturas de 140°C e de 240°C, ocorre a transição de duas camadas de água para uma e de uma para zero, respectivamente. Estas perdas podem ser reversíveis até aos 500°C, a desintegração das estruturas ocorrem por volta dos 800°C (Deer *et al.* 2008).

3.1.1.5. Grupo da Clorite

O grupo da clorite compreende dois subgrupos, o que apresenta uma estrutura dioctaédrica da qual faz parte a dombassite e o que apresenta uma estrutura trioctaédrica (Gomes, 2002).

Como se pode observar na figura 3.15, a clorite é um mineral com o tipo de estrutura 2:1 com uma folha de brucite inter-camadas, podendo ser considerado também do tipo 2:1:1. Existe uma grande variedade de substituições de catiões, a maioria entre o Fe^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e Fe^{3+} (Murray, 2007). Refere Gomes (2002) que o seu espaçamento basal apresenta um valor um pouco superior a 14 Å, valor também referido por Murray (2007) e outros autores.

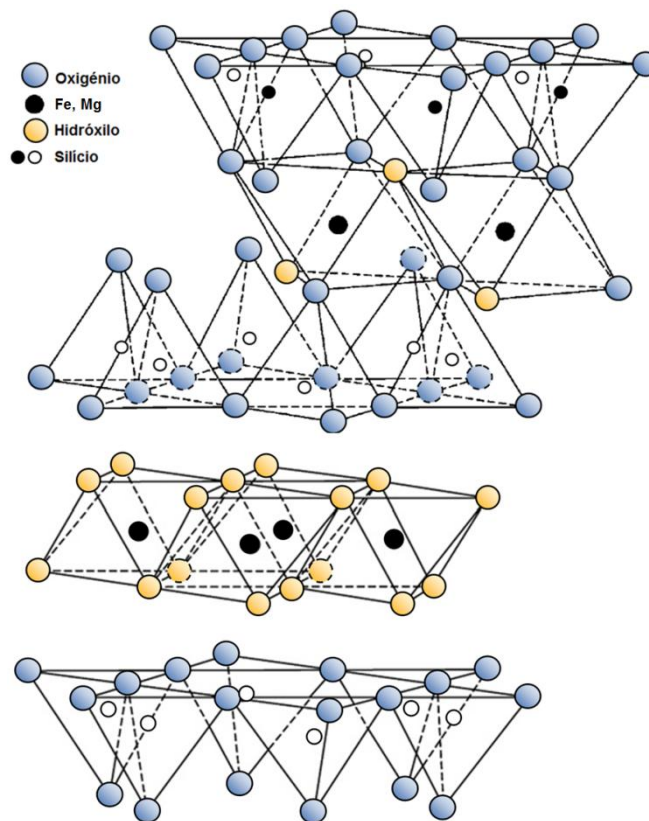


Figura 3.15 – Modelo Esquemático da camada estrutural básica da clorite (Adaptado de Murray 2007).

A desidratação das clorites ocorre geralmente a temperaturas entre os 600°C e os 850°C, a desintegração estrutural ocorre a cerca de 900°C, podendo variar consideravelmente de acordo com a composição química da amostra (Deer *et al.* 2008).

Apresentam-se geralmente verdes e pleocróicas, de aspecto muito semelhante às micas (figura 3.16), com clivagem perfeita e lâminas basais flexíveis. Produto de alteração hidrotermal de minerais ferromagnesianos em rochas ígneas (Deer *et al.* 2008).

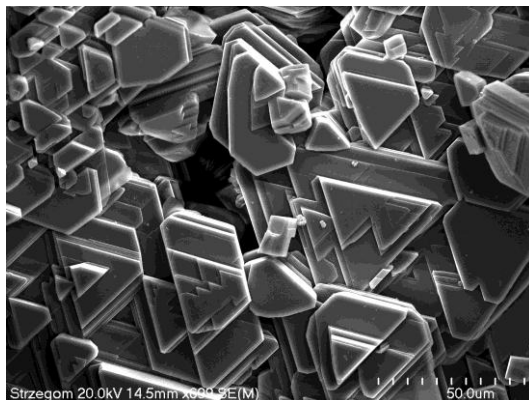


Figura 3.16 – Aspecto microscópico da clorite (<http://www.minersoc.org/>)

3.2. Processos de Fabrico

3.2.1. Extracção

A extracção de argilas é efectuada em explorações normalmente designadas por barreiros.

Após prospecção de um barreiro com um possível potencial de exploração, inicia-se um programa de sondagens para determinar a sua extensão, espessura e qualidade do seu material, para recolher amostras em profundidade (um mapa de furação será elaborado). As amostras obtidas são sujeitas a diversos ensaios para obter dados sobre a sua granulometria, percentagens de óxidos de ferro e cálcio e matéria orgânica, entre outros.

De acordo com os resultados, pode-se concluir se à partida este material argiloso é próprio para o fabrico de materiais cerâmicos. O tipo de produto a fabricar poderá também ser ditado pelas suas características, por exemplo, através da relação entre teores dos iões Fe^- e Ca^- , que dita a cor após o cozimento (Bormans, 2004).

Num barreiro, é igualmente importante caracterizar e quantificar, o recobrimento, que terá de ser removido. Se apresentar uma elevada espessura, poderá inviabilizar a exploração devido aos elevados custos na sua remoção. No entanto, usualmente é materializado apenas por uma pequena camada de solo. Após a sua remoção este será armazenado, para quando a exploração terminar ser repostado, diminuindo assim o impacte visual e dando possibilidade à reutilização do local para outros fins, como por exemplo para a agricultura.

Outros aspectos devem ser avaliados, como possíveis impactes ambientais, transporte, proximidade de indústria cerâmica transformadora e todos os outros factores económicos associados a uma exploração, por exemplo, o preço e tipo de matéria-prima no mercado e a sua própria necessidade.

Após o estudo de todas estas variáveis, é determinada a viabilidade económica e elaborado um plano de extracção.

Métodos de exploração a céu aberto são utilizados para a extracção dos depósitos de argila em todo o mundo (Murray, 2007). Diversos processos e equipamentos podem ser utilizados, sendo estes, função das características, essencialmente da dimensão do barreiro e do caudal de extracção necessário para satisfazer o mercado.

Devido ao material argiloso se apresentar muito incoerente, brando e de fácil extracção, na generalidade dos casos, o mesmo equipamento que realiza o arranque é o mesmo que elabora a carga.

O método mais simples e utilizado em Portugal é a de escavação em flanco de encosta com recurso a retroescavadoras e pás carregadoras (“shovel”). Estes equipamentos desmontam o

flanco e carregam as argilas em *dumpers*, que as transportam até ao local de destino (figura 3.17).



Figura 3.17 – Pá carregadora a carregar *dumper* (<http://www.thielekaolin.com/>).

Uma outra forma de explorar estes flancos recorre a escavadores de baldes múltiplos. Existem dois tipos de equipamentos dentro deste grupo que permitem uma extracção eficaz de argilas; escavadora de cadeia de baldes e escavadora de roda de baldes (Jimeno, 1998).

Norton (1973), acrescenta ainda um outro método de extracção que consiste na desagregação da argila, com o auxílio de um jacto de água para a sua posterior recolha através de um poço colector. Método usualmente utilizada na extracção de argilas caulínicas.

3.2.2. Preparação das pastas

A preparação da mistura argilosa para utilização no fabrico de produtos cerâmicos de construção inicia-se com o apodrecimento. A argila é revolvida e depositada ao ar livre, para que fique sujeita aos agentes atmosféricos (figura 3.18). Esta fase tem como finalidade eliminar impurezas e substâncias prejudiciais, tais como compostos de ferro, enxofre e matéria orgânica (Malinovzsky, 1921). Desta forma, a percentagem de partículas coloidais aumenta tornando a argila mais plástica (Leggerini, s/d).



Figura 3.18 – Argila em purificação.

Quando o apodrecimento está concluído, o material argiloso apresenta-se agregado, por vezes com torrões de 20 a 30 cm. Para a confecção da pasta, é de extrema importância que estes sejam fragmentados até todas as partículas constituintes estarem individualizadas.

Numa fase inicial, os equipamentos que permitem a desagregação do material argiloso para elaboração de telhas, denominam-se de laminadores. Consistem, basicamente em dois cilindros de grandes dimensões que giram em sentidos contrários, estão aproximados entre si e dispostos de uma forma paralela (figura 3.19). Os torrões são encaminhados para os laminadores normalmente através de telas transportadoras e a sua passagem pelo equipamento dá-se por gravidade e pela própria rotação dos cilindros.

É usual que o material passe múltiplas vezes por estes sistemas, sendo passagens seguintes em laminadores cujos cilindros estão mais próximos entre si, para provocar uma maior desagregação do material.

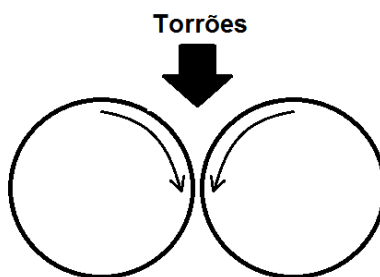


Figura 3.19 – Esquema de funcionamento dos laminadores.

De acordo com os requisitos do produto final, podem ser utilizados outros equipamentos em substituição ou em conjugação com os laminadores que permitem a desagregação dos torrões, e inclusive a moagem das partículas de maiores dimensões. Existem britadores de máxilas, moinhos de bolas, cilindros dentados, entre outros.

Após esta fase, de acordo com o tipo de material, em alguns casos ocorre separação magnética, esta consiste na extração das impurezas com propriedades magnéticas como os minerais de ferro, cuja presença na peça final é penalizante. Para que esta etapa se processe, é necessário que o material esteja com uma granulometria suficientemente fina (Pukasiewicz, 2001).

3.2.3. Conformação

A partir desta fase, existe uma grande variedade de sequências de processo de fabrico que dependem essencialmente do tipo de produto a produzir. Por sua vez, ainda dentro do mesmo produto, existem algumas variações de fabricante para fabricante que estão dependentes de particularidades que estes pretendam fornecer às peças ou, na maior parte dos casos, à tecnologia disponível.

Não obstante, existem dois processos gerais de conformação de pastas para o fabrico de cerâmica para construção: prensagem a seco e extrusão (Souza Santos, 1992), cujos fluxogramas gerais são apresentados nas figuras 3.20 e 3.21 respectivamente.

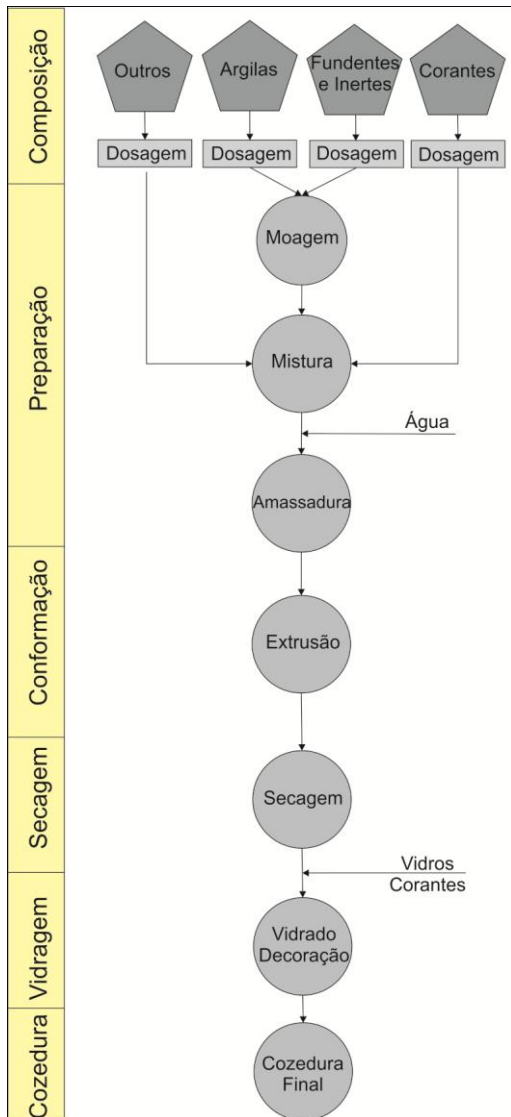


Figura 3.20 – Fluxograma do processo de fabricação por extrusão (Adaptado de APICER, 2003).

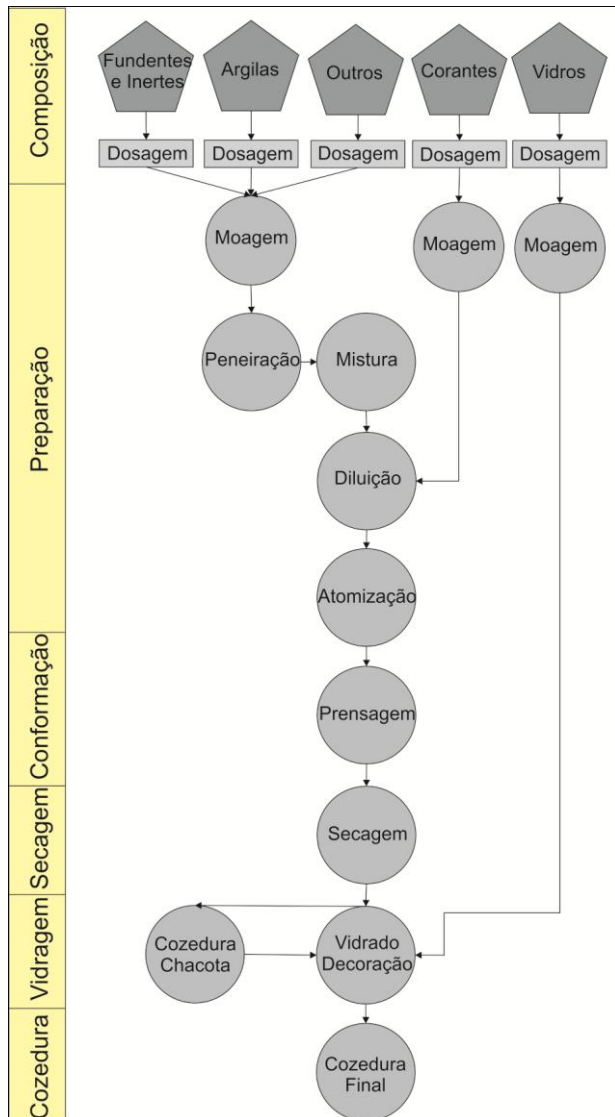


Figura 3.21 – Fluxograma do processo de fabricação por prensagem a seco (Adaptado de APICER, 2003).

Nestes dois principais tipos de processamento podem existir variações, em que o processo de prensagem pode ocorrer a seco ou a semi-húmido bem como a pasta, que pode ser preparada a seco ou a húmida. Dentro do processo de extrusão, a preparação da pasta também pode ser efectuada por via seca ou húmida.

Devido à óbvia multiplicidade de variações, apenas serão descritos os dois tipos de preparação de pastas e confeção genéricas.

3.2.3.1. Prensagem a seco

O processo de fabricação por prensagem a seco é mais frequente no fabrico de ladrilhos e azulejos.

Este processo inicia-se pela moagem da argila. É usualmente realizada por moinhos de bolas (APICER, 2003) que representam um equipamento de moagem fina (Norton, 1973). Permite a obtenção de uma granulometria mais fina reduzindo as dimensões das impurezas contidas nas massas a valores que não causam problemas no produto final (Lolli *et al.* 2000).

O material que resulta desta fase, é misturado num agitador ou diluidor em conjunto com outros componentes, por exemplo, corantes e agentes desfloculantes. Nesta etapa, é adicionada água sendo esta mistura normalmente chamada de barbotina (APICER, 2003).

Para a prensagem da massa a seco, esta necessita de passar pelo processo de atomização. Nesta etapa, a barbotina é encaminhada até ao atomizador ou torre de secagem. Este equipamento consiste numa câmara aquecida que transforma a suspensão aquosa de partículas sólidas em partículas secas. A suspensão é pulverizada no interior do atomizador que provoca uma rápida evaporação da água, resultando um pó ou aglomerados de partículas (Ribeiro *et al.* 2001) este é então armazenado nos silos. Antes da conformação, o material é sujeito a uma peneiração que pretende individualizar as partículas e os aglomerados, que são prejudiciais na fase de prensagem a seco pelo facto de que normalmente apresentam um teor de água superior (Fonseca, 2000). Os mesmos são reaproveitados e retornam à fase inicial do processamento.

Após esta fase, o material segue para a prensagem através de tremonhas. Este tipo de conformação, onde o teor de humidade varia entre os 0 e os 10%, pretende a densificação do material, isto é, a eliminação da porosidade entre as partículas e nas partículas (Fonseca, 2000).

As prensas utilizadas podem ser de diversos tipos: prensas hidráulicas, prensas mecânicas (normalmente unidireccionais) e prensas isostáticas (Oliveira & Maganha, 2006). Os cunhos, que fazem o contacto entre a prensa e o pó, apresentam diversos formatos de acordo com a geometria e dimensão da peça pretendida.

O processo de prensagem apresenta várias etapas, iniciando-se com o enchimento da matriz. Segue-se a aplicação de uma força de prensagem inicial, onde a punção é afastada para o processo de desaerização (libertação do ar). Finalmente ocorre uma segunda prensagem onde é atingida a força máxima, com valores entre os 275 e 300 bar (Fonseca, 2000). Poderá também ser empregue uma compactação cíclica, em que são aplicados vários ciclos de força-alívio, pretende-se desta forma obter uma carga de prensagem superior à capacidade máxima da prensa (Fonseca, 2000).

A extracção da peça do molde é um processo delicado. Quando a prensagem é isostática a peça é facilmente libertada após a conclusão da aplicação de carga. Contudo, em prensas de acção unidireccional, quando ocorre o desmolde, o atrito entre a peça e as paredes laterais podem originar fissuras e deformações nas peças (Fonseca, 2000).

Caso se pretenda um acabamento vidrado no caso de monocozedura, é aplicada uma fina camada homogénea de esmalte que após a cozedura se torna vítreo. Este pode ser aplicado

por pulverização a seco de partículas de granulometria fina. No caso de outras decorações, como a serigrafia, pode ser também elaborada nesta fase.

Caso a cozedura dos produtos seja elaborada em duas fases, por bicozedura, estes processos são normalmente executados entre as duas cozeduras.

3.2.3.2. Extrusão

O tipo de conformação por extrusão destina-se geralmente ao fabrico de produtos de secção constante (Fonseca, 2000 e Bresciani, 2007). Apesar da principal diferença no processo de conformação por extrusão e por prensagem a seco ser a forma de moldagem das peças, a preparação da matéria-prima é também ligeiramente distinta. Na realidade, a pasta requerida pela extrusão é bastante diferente da utilizada no processo de prensagem a seco. A mistura para a elaboração da extrusão apresenta uma fase líquida de 14 a 15% e por vezes de 20 a 22%, dependendo da matéria-prima (Bresciani, 2007).

Assim, após a moagem da matéria-prima e dos restantes componentes, é-lhes adicionada água e outros aditivos como ligantes, modificadores de viscosidade, dispersantes, floculantes e lubrificantes. Os ligantes apresentam funções de aumento de resistência do produto em verde seco, bem como a viscosidade da fase líquida (Fonseca, 2000). Para uma extrusão adequada, de um modo geral, têm-se como objectivo uma optimização das características plásticas da pasta. Esta fase necessita de ser cuidada e as proporções estudadas, para que se evite empenos ou distorções, escamação, fissuras, segregação e inclusões (Robinson, 1978).

Actualmente a mistura final da pasta e os seus constituintes pode ser realizada no equipamento de extrusão (figura 3.22).

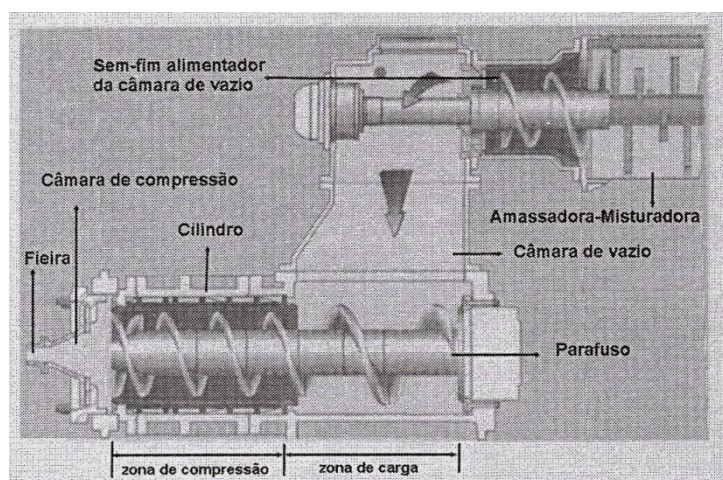


Figura 3.22 – Esquema de extrusora (Fonseca, 2000).

A extrusão propriamente dita consiste na passagem da pasta através de um molde de secção aberta com o formato desejado e de coluna contínua (Bresciani, 2007) (figura 3.23).

A passagem da pasta é forçada devido à rotação de um parafuso sem fim. Como resultado da diminuição da secção entre a câmara onde se encontra o parafuso e o molde, a pasta é submetida a elevadas tensões que lhe provocam uma certa compactação. A este equipamento, está ainda acoplada uma bomba de vácuo que permite a remoção do ar existente na mistura a extrudir.



Figura 3.23 – Processo de extrusão.

Após o material ser extrudido, procede-se ao corte da massa contínua no comprimento desejado.

Caso se pretenda que as peças apresentem uma secção variável, como o caso de algumas telhas, os materiais são ainda alvo de uma moldagem por prensagem.

3.2.4. Secagem

O processo de secagem é uma operação importante na fabricação da grande maioria dos produtos cerâmicos. Para que exista sucesso no resultado final, as peças provenientes dos dois tipos de processos de fabrico anteriormente referidos, necessitam de uma adequada etapa de secagem. O objectivo primordial da secagem é uma eficaz e adequada eliminação do excesso de humidade.

Esta é uma fase crítica em todo o processo de fabrico e deverá ter como preocupações, o não aparecimento de defeitos como fissuras e deformações nas peças e os custos energéticos associados a esta operação.

As peças já conformadas passam por um processo de secagem, geralmente, por convecção (Fonseca, 2000 e APICER, 2003). Ocorrem assim dois fenómenos, transferência de energia, sob a forma de calor, da atmosfera envolvente para a peça húmida e libertação de humidade do sólido para atmosfera sob a forma de vapor.

Numa primeira fase, a superfície de secagem encontra-se saturada de líquido decorrendo assim o processo como se existisse uma superfície livre líquida e onde o sólido não apresenta grande influência. Caso as condições externas não sejam as adequadas, e não possibilitem que este líquido seja repostado pela humidade que se dirige do interior para a superfície, a velocidade de secagem diminui. É necessária uma difusão inicial do interior para a superfície seca e somente depois para a atmosfera (Fonseca, 2000).

Estas condições originam retracções diferenciais e portanto uma heterogeneidade da peça entre a sua superfície (mais seca) e o seu interior (mais húmido). Ocorrem assim tensões de tracção que podem vencer as forças de ligação entre as partículas, resultando no aparecimento de fissuras. Podem também agravar defeitos que tiveram origem nos processos de fabrico anteriores como a presença de heterogeneidades micro-estruturais (Fonseca, 2000).

Por estas razões, o processo de secagem necessita de ser cuidadosamente elaborado e as condições de temperatura, humidade relativa e velocidade de circulação do ar deverão ser monitorizados e ser adequadas ao produto em questão.

Industrialmente, para esta função, existem diversos tipos de equipamentos que permitem garantir um bom processo de secagem. Há equipamentos com sistemas de secagem contínuos em que as peças são introduzidas em vagões que percorrem um túnel de várias etapas com diferentes temperaturas, humidades e velocidades de circulação de ar. Por outro lado, em equipamentos descontínuos ou estáticos as peças estão imóveis num compartimento onde vão variando as condições de secagem ao longo do tempo.

3.2.5. Cozedura

Após a conformação e secagem, as peças seguem para um forno, onde são submetidas a um tratamento térmico que provoca transformações para a obtenção de produtos com as características desejadas. Estas transformações são bastante complexas e dependem da composição química e mineralógica do material, as quais provocam alterações de dimensão e de massa dos produtos. Desta forma, os parâmetros de cozedura devem ser estabelecidos de acordo com a composição do material.

De um modo geral, a temperaturas entre os 200 e os 250°C, ocorre a eliminação da água presente nos poros. Entre os 350°C e os 600°C ocorrem diversas alterações como a queima de matéria orgânica, a eliminação da água combinada quimicamente nos minerais e decomposição dos minerais argilosos (Norton, 1973). Aos 575°C dá-se a inversão do quartzo α em quartzo β que provoca uma rápida expansão do volume da generalidade da peça, pelo que a taxa de aquecimento deve ser bastante lenta. A sua consequente retracção ocorre durante a diminuição de temperatura o que requer uma taxa lenta de arrefecimento (Reeves *et al.* 2006). Entre os 700 e 900°C ocorre a decomposição de minerais micáceos e dos carbonatos (Fonseca, 2000). A partir dos 1000°C inicia-se a formação de mulite e a peça começa a contrair devido à formação do vidro (Norton, 1973). A partir desta temperatura a vitrificação torna-se abundante, a ilite entra em fusão a temperaturas entre os 1050 e 1150°C (Reeves *et al.* 2006), os grãos de feldspato iniciam a sua vitrificação a 1100°C, a 1150°C existe alguma fusão dos grãos de sílica. Entre os 1200°C a 1300°C o corpo apresenta-se estabilizado e a vitrificação completa (Norton 1973) a sua porosidade apresenta valores próximos de zero.

Durante o arrefecimento ocorre uma solidificação gradual da fase líquida entretanto formada, e o início das cristalizações, pelo que a sua velocidade deverá igualmente ser efectuada de forma controlada.

Cada tipo de mistura e de produto devem ser estudados na perspectiva da elaboração de uma correcta curva de cozedura. De uma forma geral, o processo inicia-se à temperatura ambiente e sofre um aumento gradual até aos 500°C, entre este valor e os 600°C o incremento deverá ser bastante reduzido, ou poderá ser efectuada um patamar a uma temperatura de cerca de

570°C. Após a conclusão das transformações referidas anteriormente, a temperatura sofre novo aumento a uma taxa definida até à temperatura máxima pretendida. A esta temperatura, novo patamar deve ser efectuado. O arrefecimento deve ocorrer igualmente de forma gradual. Na figura 3.24, apresenta-se um esquema não quantificado do processo de cozedura.

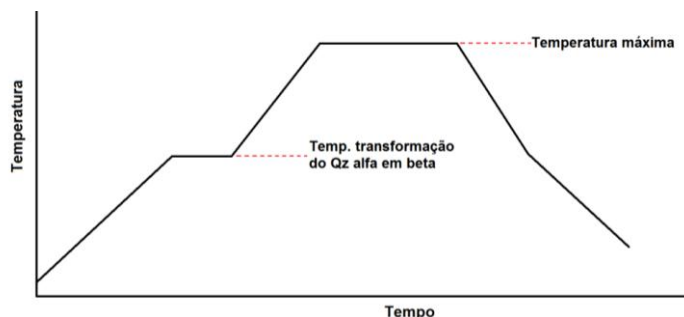


Figura 3.24 – Curva geral de cozedura (Qz:quartzo).

Para efectuar este tipo de cozedura existem numerosos tipos e formas de fornos, a sua energia térmica pode ser resultado de combustíveis gasosos ou sólidos e ou por energia eléctrica. Os fornos podem ser agrupados em dois grandes tipos, contínuos e intermitentes.

Nos fornos do tipo contínuo, as peças a cozer são colocadas em vagões que se vão deslocando ao longo das várias divisões do forno. Cada uma destas divisões está a uma temperatura constante, diferindo entre si. O deslocamento dos vagões ao longo do forno, proporciona às peças uma sequência de temperaturas semelhante àquela descrita anteriormente.

Ainda neste grupo, situam-se os fornos onde a carga é fixa e a movimentação é realizada pelo próprio forno. Os queimadores a diferentes temperaturas deslocam-se ao longo das peças.

Nos fornos do tipo intermitente, um mesmo lote de peças está estático e é submetido às diversas fases de cozedura em todos os pontos do forno. A temperatura varia ao longo do tempo e não ao longo do espaço.

Em termos práticos, a sequência de temperatura dos dois tipos de fornos poderá ser equivalente. A sua selecção está normalmente associada ao tipo de produto e à quantidade de peças a ser fabricadas. No entanto, actualmente os fornos de câmara contínua são os mais utilizados e foram desenvolvidos devido aos elevados gastos energéticos dos restantes tipos de fornos (Norton, 1973).

Após completa a cozedura, as peças são inspeccionadas visualmente por operadores. São ainda realizados frequentes ensaios para garantir a homogeneidade e o nível de qualidade segundo os diversos critérios.

3.3. Produtos cerâmicos

3.3.1. Introdução

Como referido anteriormente, a argila constitui uma matéria-prima bastante importante para a sociedade, sendo a fonte de uma série de produtos utilizados pelo Homem, Gomes (2002) afirma que, de todos os produtos naturais e minerais, a argila é o que tem maior diversidade de aplicações, e com os avanços na investigação, vão sendo ainda encontradas novas e variadas utilizações.

Como se pode constatar, as argilas variam na composição e nas propriedades, desta forma, sendo comum do ponto de vista de utilização serem classificadas em argilas especiais e comuns.

Segundo Gomes (2002), entre as argilas especiais destacam-se o caulino, a bentonite, argilas fibrosas, plásticas e refractárias. Por outro lado, entre as argilas comuns destacam-se a argila para cerâmica estrutural e a argila para olaria. Os materiais cerâmicos a que estas se destinam são distintos. As argilas especiais destinam-se geralmente ao fabrico de produtos avançados ou de alta tecnologia, as argilas comuns são usadas na produção dos materiais cerâmicos tradicionais ou convencionais como ladrilhos, telhas, refractários, etc.

Ainda nos cerâmicos tradicionais, existe uma ampla gama de produtos onde surgem vários critérios possíveis para a sua subclassificação. Estão relacionados com os campos de aplicação e estão de acordo com diversos parâmetros como a porosidade, presença ou não de vidro, cor e tipologia das matérias-primas. Neste contexto, Parras (1999) adapta uma classificação genérica que se apresenta na tabela 3.3.

No âmbito desta dissertação, por razões práticas, optou-se por seleccionar o grande campo de aplicação que é a construção civil para elaborar uma classificação expedita. De acordo com Gomes (2002) estes produtos podem ser denominados de cerâmicos estruturais.

Tabela 3.3 – Classificação genérica para cerâmicos (*adaptado de Parras, 1999*).

Tipo de material cerâmico	Revestimento	Cor da pasta	Classe de cerâmica	Campo de aplicação	Gama de cozedura	Matéria-prima
Poroso	Sem vidrado	Pasta corada	Cerâmica estrutural	Tijolo e Telha	900 – 1000 °C	Margas calcárias; margas argilosas; calcário-ferruginosas
			Cerâmica de olaria			
		Refractários	Tijolo e peças usadas na construção de fornos industriais	Variável (dependendo da matéria-prima empregue)	Argilas refractárias Hidróxidos de Al	
	Pasta branca	Louça	Louça refractária	1200 – 1500°C	Argilas Brancas	
	Com Vidrado	Pasta corada	Ladrilhos	Pavimentos e revestimentos cerâmicos	920 – 980°C	Argilas calcárias e ferruginosas
		Pasta branca	Louça Sanitária	Tijolo para pavimentação e revestimento	900 - 1000°C 1250 – 1280°C	Argilas brancas com feldspato, quartzo e carbonatos
Não Poroso	Sem Vidrado	Pasta corada	Grés	Pavimento de grés	950 – 1100°C	Argilas brancas com feldspato e quartzo
		Pasta branca	Porcelana	Material para odontologia	1200 °C	Argilas caulínicas feldspáticas
	Com Vidrado	Pasta corada	Grés	Pavimentos recipientes resistentes ao ácido	1100 – 1300°C	Argilas brancas com feldspato e quartzo
		Pasta branca	Porcelana	Membranas isoladoras de alta e baixa tensão eléctrica e louça para uso alimentar.	1200 – 1600°C	Argilas caulíferas com quartzo e feldspato; materiais fosfatados e cordieríticos

3.3.2. Cerâmica estrutural

Norton (1973) engloba no grupo da cerâmica estrutural as telhas, vários tipos de tijolos e manilhas cerâmicas, mais recentemente, Gomes (2002) quando se refere aos cerâmicos estruturais apenas cita dois sub-grupos:

- Tijolos e telhas;
- Pavimentos e revestimentos cerâmicos.

Considerando a classificação de Gomes (2002) por ser mais actual e simplificada, foi elaborado a tabela 3.4 que apresenta um resumo dos principais cerâmicos estruturais.

Tabela 3.4 – Principais tipos de materiais cerâmicos usados em construção.

Tijolos e Telhas	Tijolos (Aboobaker, 2010)	Maciços
		Perfurados
		Furados
	Telhas (APICC, 1998)	Canudo
		Aba e canudo
		Romana
Marselha		
Pavimentos e Revestimentos	Ladrilhos (Lucas, 2003)	Duplo encaixe
		Barro vermelho
		Azulejo
		Grés e semi-grés
		Porcelânico

Para além da sua diferente aplicação e utilidade na construção civil, nestes variam uma considerável quantidade de factores que os distingue, tipo de matéria-prima, tipos de processamento e fabrico e parâmetros de cozedura, resultando diferentes características nos produtos finais.

Trata-se de produtos cerâmicos porosos sem revestimento, com cor avermelhada devido à presença de óxidos de ferro. A sua matéria-prima pode ser bastante variada, com pequenas restrições na sua composição (mineralógica e química), se bem que as suas propriedades mecânicas, aspecto e resistência a determinadas acções atmosféricas podem ser alteradas (Parras, 1999). O teor da fracção argilosa é baixo, em regra entre os 30 e 50% (Gomes, 2002), a pasta é mais ao menos heterogénea fundamentalmente de natureza ílítica com caulinite, clorite e esmectite como minerais secundários, a percentagem de quartzo é cerca de 15-30% e de carbonatos entre 5-25% (Parras, 1999). A temperatura de cozedura oscila entre os 900°C e os 1000°C.

A granulometria da matéria-prima é também um importante factor a ter em conta, não só para a maximização das propriedades físicas e mecânicas da peça final, mas também no que se refere à trabalhabilidade da pasta.

3.3.2.1. Tijolos

Os tijolos dividem-se em três grandes grupos; maciços, perfurados e furados (figura 3.25). Dentro destes grupos básicos podem existir um número quase ilimitado de variações que provocam uma grande diversidade de formas e aplicações.

Os tijolos maciços apresentam normalmente uma função estrutural, isto é, as tensões exercidas numa estrutura são suportadas por estes, usando-se essencialmente com funções resistentes e apresentam fracas características à exposição atmosférica.

Os tijolos perfurados apresentam furos com áreas entre os 15 e 50% da área da face correspondente (U.N.L. – F.C.T., 1996), facilitando a cozedura, a sua função ainda é resistente. Os tijolos furados apresentam canais paralelos às suas maiores arestas, tais que a sua área, não é inferior a 75% da mesma área. As suas funções são essencialmente de preenchimento, por outro lado, a sua relativa leveza facilita a aplicação.

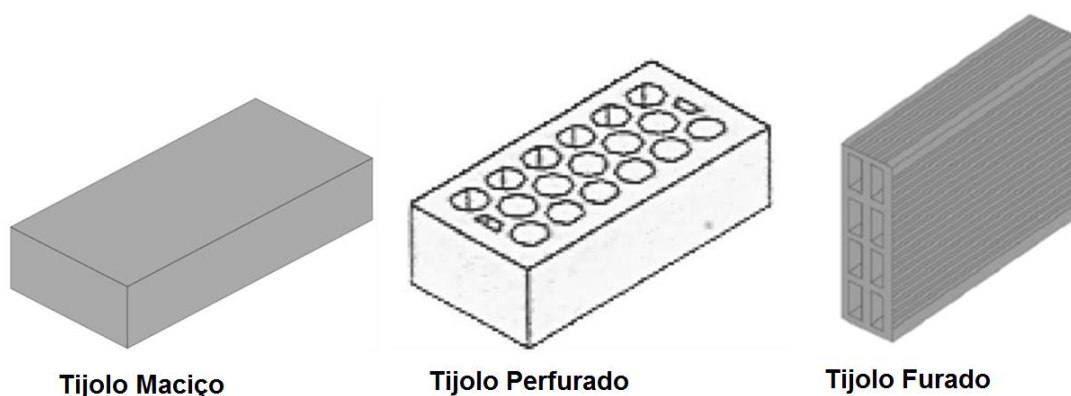


Figura 3.25 - Tipos de tijolos (Adaptado de Aboobaker, 2010).

Em virtude da existência no mercado de uma grande variedade de formatos, houve necessidade de normalizar os tijolos de modo a facilitar o projecto, controlo de qualidade, a racionalização do uso e a industrialização do seu fabrico.

Assim, a norma europeia harmonizada de referência para os tijolos cerâmicos é a *NP EN 771-1:2006 – Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Tijolos Cerâmicos para Alvenaria*. Esta norma define as características, ensaios e critérios de aceitação aplicáveis em tijolos cerâmicos destinados à construção de alvenarias, sendo que, quando estes se revelam estar em conformidade com a norma, garantem a capacidade de desempenhar a sua função. A tabela 3.5 corresponde a uma lista de normas aplicáveis às diferentes características dos tijolos de alvenaria.

Tabela 3.5 – Normas portuguesas relativas a tijolos.

Propriedades	Norma de Ensaio
Planeza das faces dos leitos	NP EN 772-20
Expansão com a humidade	EN 772-19
Dimensões	NP EN 772-16
Paralelismo das faces dos leitos	
Espessuras das paredes externas e septos	
Espessura combinada das paredes externas e septos	
Massa volúmica	NP EN 772-13
Taxa inicial de absorção de água	NP EN 772-11
Volume total de vazios moldados	EN 772-9
Teor de sais solúveis activos	NP EN 772-5
Volume líquido e percentagem de vazios	NP EN 772-3
Durabilidade	NP EN 771-1: Anexo
Absorção de água	NP EN 771-1: Anexo
Resistência à compressão	NP EN 772-1
Aderência	NP EN 1052-3
Propriedades térmicas	NP EN 1745
Permeabilidade ao vapor de água	
Reacção ao fogo	NP EN 13501-1

Baio Dias (2002) refere que actualmente os edifícios com estrutura resistente total ou parcialmente constituída por paredes de alvenaria não são frequentes, apesar de estar demonstrada a sua competitividade em termos económicos e de desempenho para edifícios correntes de 2 ou 3 pisos. No entanto, o autor menciona ainda que, sendo o material cerâmico particularmente resistente à compressão, é frequente a adopção de tijolos com furação vertical para a realização de alvenarias estruturais recorrendo a armaduras de aço colocadas nas juntas horizontais para melhorar a resistência ao corte e à flexão.

Os tijolos furados são utilizados em geral na execução de paredes simples exteriores ou interiores, neste último caso como forma de incrementar o isolamento acústico, bem como no fabrico de paredes duplas onde estão combinados dois panos de tijolo separados por um espaço de ar, o que tem a vantagem de apresentar um bom isolamento contra a penetração da água das chuvas.

3.3.2.2. Telhas

As telhas para a realização de coberturas constituem uma tradição bastante antiga (Garcez, 2009) e foi o primeiro elemento da construção a ser fabricado em dimensões *standard* (Simão, 2000).

Actualmente tem-se verificado uma revalorização das coberturas inclinadas revestidas com telhas cerâmicas, com especial incidência na área da habitação (APICC, 1998). A sua utilização possibilita uma sequência na tradição arquitectónica do país, por outro lado, a sua diversidade de formas, peças e acessórios permite variados efeitos estéticos (Garcez, 2009).

As telhas apresentam algumas vantagens face a outros revestimentos exteriores de coberturas inclinadas. Têm um bom desempenho perante condições atmosféricas rigorosas, são constituídas por matérias-primas de baixo custo, sem toxicidade e são biodegradável (Rocha, 2008).

Existem variados tipos de telhas, muito embora as mais usadas em Portugal sejam as de canudo, aba e canudo, romana, Marselha e de duplo encaixe (U.N.L. – F.C.T. 1996).

A telha de canudo (figura 3.26), apresenta uma aplicação de carácter tradicional pois exhibe deficiências de estanquicidade e de resistência.

As telhas de aba e canudo (Figura 3.27) surgem como uma tentativa de melhoramento às de canudo simples conservando o mesmo aspecto tradicional, mas permitindo cobrir maiores vãos e diminuir o número de juntas de ligação.

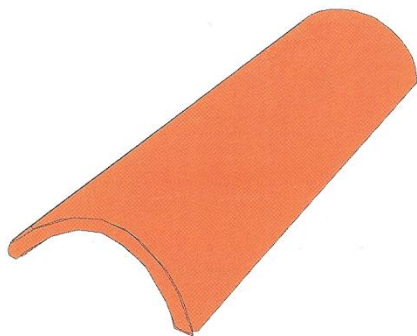


Figura 3.26 – Telha de canudo.

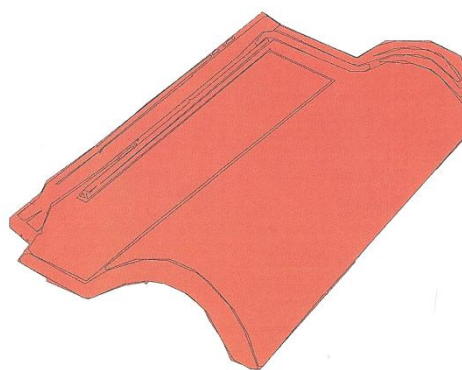


Figura 3.27 – Telha de aba e canudo.

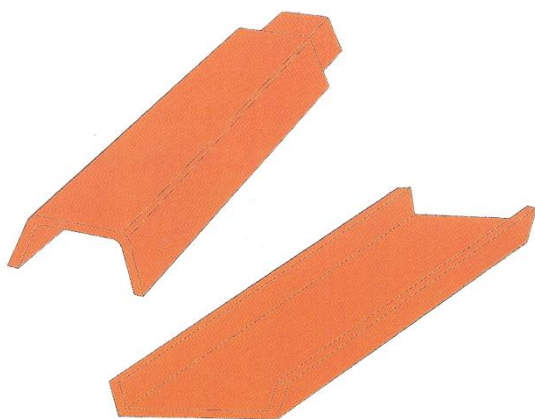


Figura 3.28 – Telha Romana.

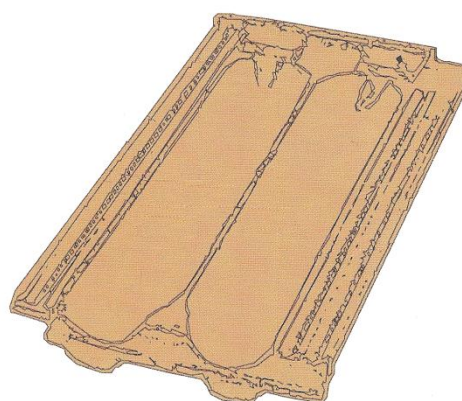


Figura 3.29 – Telha Marselha.

As telhas romanas (figura 3.28) são de aplicação restrita, apresentando os mesmos problemas do que a de canudo, no entanto, o sistema de fixação confere-lhe vantagens em termos de segurança na colocação.

A telha Marselha (figura 3.29), é a que apresenta uma aplicação mais generalizada em Portugal (Simão, 2000), apresenta uma massa baixa, estanquicidade adequada, fácil transporte e colocação.

A telha de duplo encaixe apresenta resultados satisfatórios para pequenas inclinações, no entanto, o seu baixo peso, torna-a susceptível a deslocações devido à acção do vento.

Como em todas as coberturas, as telhas cerâmicas devem possuir determinadas características que lhes permitam desempenhar diversas funções, tais como (APICC, 1998):

- A estanquidade à água, é a exigência mais importante para qualquer cobertura.
- Um bom comportamento ao gelo-degelo, isto é, resistir às variações de temperatura, sujeitando as telhas a fadiga física e mecânica e conseqüente fracturação.
- Isolamento térmico, que devem permitir uma boa conservação de energia e conforto.
- Adequado comportamento mecânico, quando solicitadas a esforços à flexão.
- Resistentes à acção do vento para evitar o levantamento de elementos.
- Bom comportamento acústico do ponto de vista do isolamento sonoro.
- Devem possuir uma uniformidade do aspecto, por exemplo na homogeneidade da cor.
- Resistência aos agentes químicos.

A norma europeia harmonizada de referência para as telhas cerâmicas é a *NP EN 1304:2007 - Telhas cerâmicas e acessórios*, onde define as especificações dos produtos e as características, ensaios e critérios de aceitação aplicáveis a telhas cerâmicas e acessórios. Quando estas se estão em conformidade com a norma, garantem a capacidade de desempenhar a sua função segundo os níveis de desempenho declarados.

Na tabela 3.6 apresenta-se a lista de normas para a determinação das propriedades de telhas cerâmicas.

Tabela 3.6 – Normas portuguesas relativas a telhas cerâmicas.

Propriedades	Norma de Ensaio
Ensaio da orelha de aramar	NP 498
Resistência ao gelo	NP EN 539-2
Absorção de água	EN 539-2: Anexo A
Resistência à flexão	NP EN 538
Impermeabilidade	EN 539-1
Características geométricas	NP EN 1024
Comportamento ao fogo exterior	EN 13501-5
Reacção ao fogo	EN 13501-1
Definições e especificações dos produtos	NP EN 1304

O aparecimento no mercado de outros tipos de coberturas com melhores propriedades e de mais simples aplicação, reduziram a utilização das telhas cerâmicas. No entanto, os fabricantes para manter a competitividade, produziram telhas vidradas e com uma grande variedade de

cores, o que permite uma grande variedade de escolha por parte de arquitectos e clientes sob o ponto de vista económico e estético.

Constata-se que a cobertura da grande maioria das vivendas, moradias e pequenos edifícios em Portugal é assegurada por telhas de cariz cerâmico, mantendo-se actualmente como um importante material de construção.



Figura 3.30 – Exemplo de aplicação de telhas em habitações.

3.3.2.3. - Pavimentos e Revestimentos Cerâmicos

O sector de produção de pavimentos e revestimentos cerâmicos é actualmente o que se apresenta mais interessante, sofreu a maior revolução tecnológica em termos de fabrico e tipos de produtos (Parras, 1997).

Os ladrilhos são o principal produto utilizado no revestimento de pavimentos e paredes. Estes são produzidos numa gama muito variada de características, em função das matérias-primas e dos métodos e procedimentos de fabrico (Lucas, 2003). Estes parâmetros influenciam as características porosas dos materiais e o seu grau de vitrificação. A matéria-prima utilizada na fabricação deste tipo de cerâmicos é tendencialmente de granulometria mais reduzida do que a utilizada em cerâmica estrutural. Devido às exigências em termos de resistência que estas peças necessitam após a sua aplicação, os materiais porosos devem apresentar um bom grau de impermeabilização o que exige, para além de uma pasta de granulometria mais fina, um processo de fabrico mais cuidado, com a utilização de prensagem e de temperaturas de cozedura superiores.

Para além da preocupação existente com os diversos tipos de resistência, a indústria tem procurado novas soluções estéticas, por vezes em prejuízo da economia no fabrico, quando

leva à introdução da dupla cozedura ou mesmo à adopção de terceira ou quarta cozedura (Lucas, 2003).

Existem, portanto, diversos tipos de ladrilhos cerâmicos, que devem ser seleccionados de acordo com as exigências funcionais correspondentes ao espaço a revestir. A classificação de Lucas (2003) divide os ladrilhos cerâmicos em:

- Ladrilhos porosos ou azulejos

Constituídos por material cerâmico poroso, coberto superficialmente por um vidrado ou esmalte, usualmente utilizados como revestimentos de parede.

A estrutura porosa pode propiciar riscos de fissuração ou elevada expansão com a humidade.

A absorção de água é superior a 10%, frequentemente na ordem dos 15% e 20%.

- Ladrilhos de barro vermelho ou rústico

Estes ladrilhos são constituídos por uma base de barro vermelho não vitrificada, ou incipientemente vitrificada. Não são vidrados.

A absorção de água situa-se entre os 3% e 10%.

- Ladrilhos de grés e semi-grés

A base cerâmica é de baixa porosidade, de cor branca a cor de barro vermelho. O grau de compactidade e de vitrificação crescem do semi-grés (semi-vitrificado) para o grés (vitrificado). Podem ou não ser vidrados.

Os ladrilhos de elevado grau de vitrificação são caracterizados por apresentarem elevadas resistências à flexão, ao desgaste e à acção do gelo, e baixa absorção de água. No entanto é difícil obter boa regularidade.

A absorção de água de um ladrilho de grés é inferior a 3%, sendo que o grés muito vitrificado apresenta um valor inferior a 1,5%. A absorção de água de um semi-grés varia entre os 3% e os 6%.

- Ladrilhos de grés porcelânico

Este tipo de ladrilhos apresenta uma base cerâmica completamente vitrificada, não sendo em geral, vidrados. Exibem uma cor raiada ou uniforme.

Possuem elevadas resistências à flexão, ao desgaste, à formação de nódoas e à acção do gelo, no entanto, a sua vitrificação conduz a uma significativa fragilidade perante o choque mecânico.

A absorção de água de um ladrilho de grés porcelânico é sempre inferior a 0,5%.

A norma europeia de referência para este grupo de produtos é a *NP EN 14411:2008 – Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Definições, classificação, características e marcação*. Esta norma define e apresenta termos, especifica requisitos e critérios de marcação de

ladrilhos cerâmicos (produzidos por técnicas de extrusão e de prensagem a seco). As restantes normas referentes a estes produtos cerâmicos estão apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 3.7 – Normas portuguesas relativas a pavimentos e revestimentos cerâmicos.

Propriedades	Norma de Ensaio
Definições, classificação, características e marcação	NP EN 14411
Amostragem e condições de recepção	NP EN 10545-1
Dimensões e qualidade da superfície	NP EN 10545-2
Absorção de água, Porosidade aparente, Densidade relativa aparente, Massa volúmica global	NP EN 10545-3
Módulo de ruptura e da resistência à flexão	NP EN 10545-4
Resistência ao impacto por medição do coeficiente de restituição	NP EN 10545-5
Resistência à abrasão profunda para ladrilhos não vidrados	NP EN 10545-6
Resistência à abrasão superficial para ladrilhos vidrados	NP EN 10545-7
Dilatação linear de origem térmica	NP EN 10545-8
Resistência ao choque térmico	NP EN 10545-9
Dilatação com a humidade	NP EN 10545-10
Resistência ao fendilhamento para ladrilhos vidrados	NP EN 10545-11
Resistência ao gelo	NP EN 10545-12
Resistência química	NP EN 10545-13
Resistência às manchas	NP EN 10545-14
Teor de chumbo e de cádmio	NP EN 10545-15
Pequenas diferenças de cor	NP EN 10545-16
Reacção ao fogo	EN 13501-1

A norma NP EN 1441 propõe uma classificação de revestimentos e pavimentos cerâmicos de acordo com o processo de fabrico e o valor de absorção de água (E). No âmbito desta dissertação, é de todo o interesse conhecer o seu conteúdo, assim, na tabela 3.8 está presente o seu resumo.

Tabela 3.8 – Classificação de revestimentos e pavimentos cerâmicos segundo a absorção de água (NP EN 1441).

	$E \leq 0,5 \%$	$0,5 < E \leq 3 \%$	$3 < E \leq 6 \%$	$6 < E \leq 10 \%$	$10\% < E$
Extrudido	AI _a	AI _b	AII _a	AII _b	AIII
Prensado a	BI _a	BI _b	BII _a	BII _b	BIII
Manual	CI		CII _a	CII _b	CIII

A cada um dos grupos atrás apresentados, podem ser identificados um ou mais materiais cerâmicos:

AI_{a,b} – Grés extrudido.

AII_a – Grés extrudido, klinker e tijoleira rústica.

AII_b – Tijoleira rústica e terracota.

AIII – Tijoleira rústica.

BI_a – Pavimento em grés e klinker porcelânico.

BI_b – Pavimento em grés, klinker e pavimento de bicozedura.

BII_a – Pavimento monocozedura.

BII_b – Revestimento monocozedura.

BIII – Azulejo (faiança).

CI - -

CII_a – Pavimento rústico.

CII_b – Pavimento rústico.

CIII – Azulejo e pavimento rústico.

Segundo Lucas e Abreu (2006), Portugal tem uma grande tradição histórica na utilização deste tipo de produto. A sua aplicação iniciou-se com um propósito decorativo no período da expansão marítima por volta do século XVI. No século XX os azulejos foram adaptados como revestimento exterior, não pelas suas características decorativas mas pela sua durabilidade e menores necessidades de manutenção (Morais, 2007). Colen *et al.* (2008) refere que entre os anos de 1946 e 2001, os ladrilhos cerâmicos foram o terceiro material mais utilizado para revestimento de fachadas de edifícios em Portugal.

A sua frequente utilização é perceptível, nas casas de banho e cozinhas, essencialmente devido à sua reduzida porosidade. É usual a presença de prédios nas grandes cidades total ou parcialmente revestidos de materiais cerâmicos, vidrados ou não vidrados, portanto com diferentes graus de porosidade (figura 3.31).

A diversidade de factores e acabamentos que influenciam o produto final, tornam os produtos cerâmicos bastante versáteis em termos estéticos, podendo ser criadas uma grande variedade de produtos com diferentes cores, aspectos e características.



Figura 3.31 – Exemplos de aplicação de ladrilhos cerâmicos em edifícios recentes.

4. Patologias em revestimentos e coberturas exteriores

4.1. Durabilidade e factores de degradação

Todos os materiais envolvidos numa construção devem possuir as características adequadas para que seja possível o seu correcto desempenho sob condições previstas durante o seu tempo de vida útil (Chaves, 2009). De acordo com a ISO 15686-1, define-se vida útil de uma construção como o período de tempo durante o qual essa mesma construção, ou parte, conserva todos os requisitos para a qual foi projectada.

A durabilidade é a capacidade que uma construção e seus elementos têm, para manter determinadas características de forma a permitir o seu desempenho sob condições previstas, durante um determinado período de tempo (ISO 15686-1).

Pretende-se então que as construções e seus componentes apresentem adequada durabilidade para que a sua vida útil seja a prevista. Apenas desta forma é possível que os materiais resistam às acções que lhes são impostas ou pelo menos para que a sua consequência seja minorada, aumentando o tempo de vida da construção e diminuindo os gastos necessários na sua reabilitação.

Como é expectável, nem todas as construções apresentam o mesmo período de vida útil, no entanto, a vida útil de todas as construções deve ser estipulada na fase de projecto. A EOTA (1999), propõem valores de vida útil para diferentes categorias de componentes de construção (tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Vida útil para construções e respectivos produtos (adaptado de EOTA, 1999).

Vida útil da construção		Vida útil dos produtos		
Categorias	Anos	Reparáveis ou facilmente substituíveis	Reparáveis ou substituíveis	Não reparáveis ou dificilmente substituíveis
Curto	10		10	10
Médio	25	10*	25	25
Normal	50		25	50
Longo	100		25	100

*Em alguns casos podem ser previstos tempos de vida activa de 3 ou 6 anos

Para que as anteriores previsões sejam cumpridas, o método construtivo escolhido também deverá ser o mais adequado. É necessário ter um conhecimento de todas as acções físicas, químicas e mecânicas que a construção e os seus produtos vão sofrer.

Caso ocorram erros de projecto susceptíveis de afectar a vida útil prevista, podem existir problemas não esperados, de carácter estético, funcional ou de segurança (Moser, 1999). De

acordo com Sitter (1984) o custo que lhes é inerente apresenta um crescimento exponencial (figura 4.1). Este autor divide as etapas construtivas e de uso em quatro períodos: projecto, execução, manutenção preventiva e manutenção correctiva.

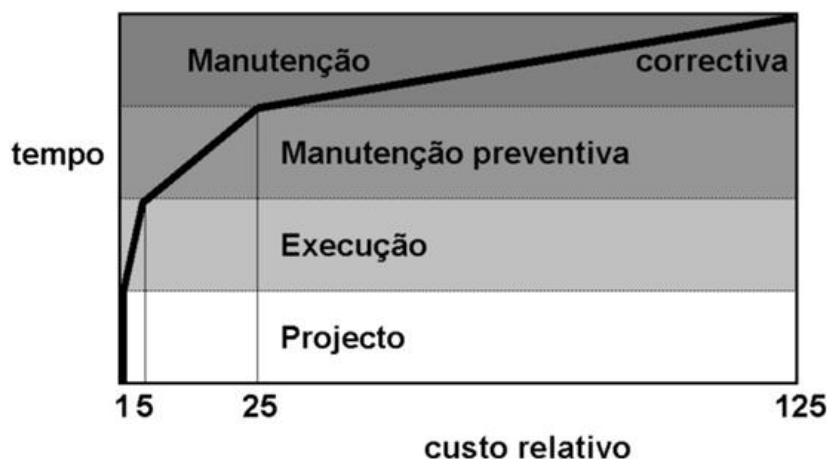


Figura 4.1 – Lei de Sitter (Sitter, 1984).

Em geral as patologias são evolutivas e tendem a agravar-se. O ideal seria não haver necessidade de intervenção. A haver intervenção, as correcções a efectuar terão maior durabilidade, são de realização mais simplificada e terão menores custos quanto mais cedo forem executadas.

Quando os materiais deixam de apresentar o desempenho esperado conclui-se que sofreram um conjunto de transformações motivadas por uma série de influências de origem endógena ou exógena (Chaves, 2009), iniciando-se assim o processo de envelhecimento ou degradação.

Os factores de origem exógena são todos aqueles que advêm do ambiente onde está inserido a construção em questão. Na classificação RILEM TC-140 (1997), os factores de degradação estão apresentados segundo a sua natureza, e não pela natureza da sua acção nos edifícios e seus constituintes, por exemplo, um agente térmico pode apresentar uma acção física (dilatação) e uma acção química (catalizador).

Assim, segundo RILEM, os factores exógenos podem ser de natureza:

- Mecânica
- Electromagnética
- Térmica
- Química
- Biológica

Estes factores estão relacionados com as características ambientais e climáticas e podem actuar isoladamente ou em conjunto.

Por exemplo, em locais com climas extremamente frios, existe ocorrência de gelo-degelo que exerce acções mecânicas pela cristalização dos sais nas soluções no interior dos poros, bem como possíveis acções térmicas, caso exista uma elevada amplitude térmica.

Nas proximidades dos oceanos, em ambientes litorais, ocorre deposição de sais nos materiais que podem provocar acções mecânicas pela sua cristalização e eventuais acções químicas dependendo da composição destes mesmos materiais.

Em zonas urbanas, podem ocorrer elevadas acções químicas nos materiais de construção, essencialmente devido à elevada poluição e agentes químicos presentes na atmosfera.

A acção biológica ocorre, essencialmente em locais onde os diferentes organismos possuam condições propícias para o seu desenvolvimento. Isto dá-se, na generalidade em ambientes onde está presente uma elevada percentagem de humidade.

Em zonas de temperatura extremamente elevada, poderá existir a acção de radiação UV proveniente da energia solar, na degradação dos materiais. É nestes locais onde frequentemente ocorrem elevadas amplitudes térmicas, que poderá dar-se uma acção mecânica por diferença dos coeficientes de dilatação térmica dos vários compostos presentes no material.

As condições propícias à influência dos factores exógenos na degradação dos materiais de construção podem ser mais ou menos desfavoráveis e implicar um ou mais factores.

No que diz respeito aos factores endógenos, estão expressos na tabela 4.2 as propriedades dos materiais:

Tabela 4.2 – Factores endógenos dos materiais de construção.

Propriedades Físicas	Densidade, porosidade, absorção de água, permeabilidade.
Propriedades Térmicas	Condutividade térmica e expansão térmica.
Propriedades Mecânicas	Dureza, elasticidade, deformação e resistência à flexão, compressão, tracção e cisalhamento.
Propriedades Ópticas	Tonalidade, transmitância e reflectância.
Propriedades Tecnológicas	Resistência à acção de fenómenos de origem térmica, electromagnética e à cristalização de sais.
Propriedades Químicas	Composição química e mineralógica
Outras	Aspecto estético

Os factores endógenos afectam a durabilidade dos materiais de construção e apenas nestes o Homem tem possibilidade de intervir. Pode seleccionar e utilizar aqueles cuja sua natureza apresente propriedades mais adequadas sob todos os pontos de vista. Contudo, é também possível avaliar os factores exógenos durante a fase de projecto com o objectivo de prever quais desses factores irão estar presentes após a conclusão da obra.

Idealmente, este estudo seria elaborado no local exacto da implantação da construção, no entanto, na grande maioria dos casos esta situação torna-se utópica devido aos elevados custos que acarreta e no aumento do tempo de duração da obra. A monitorização e uma correcta caracterização de todas as características ambientais (intensidade da precipitação e suas características químicas, qualidade e componentes presentes no ar, intensidade e direcção predominante do vento, etc.) a nível local torna-se dispendiosa com tempos de execução excessivamente prolongados, sendo uma solução o recurso a registos de cariz regional do passado até ao presente (provavelmente 10 anos seriam suficientes). Desta forma, seria possível prever com algum rigor as condições a que a construção estará sujeita.

Portugal possui diversas instituições oficiais que podem fornecer alguns destes dados, caso do Instituto da Água (INAG) através do SNIRH para a quantidade de precipitação, da Agência Portuguesa do Ambiente para qualidade do ar e o Instituto de Meteorologia para a intensidade e direcção do vento, entre outros.

Esta preocupação apenas se revela útil caso o objectivo principal seja a durabilidade dos materiais a médio, longo e por vezes curto prazo e não o aspecto estético no momento da inauguração da construção.

Assim, a selecção dos materiais e a sua influência endógena necessita de ser criteriosamente elaborada, de acordo com as suas próprias características e não apenas pelo seu aspecto estético e baixo custo inicial.

Os resultados dos estudos elaborados aos materiais, ou por vezes uma simples, mas atenta, observação às características fornecidas pelos fabricantes, deverão ser correlacionados com as características ambientais do local e avaliada a sua compatibilidade, como uma medida preventiva.

Ainda neste campo, existem diversos estudos disponíveis que conjugam diversos factores exógenos e endógenos. Como será referido no capítulo 5, para a influência exógena “nevoeiro salino” já foram estudados diferentes tipos de rochas ornamentais, sendo um valioso contributo para a selecção da mais durável para aquele ambiente. Relativamente a outros materiais de construção e ambientes, pode-se referir, alguns dos vários exemplos presentes na literatura: Wardeh e Perrin (2008) e Penttala e Al-Neshawy (2002) no estudo da influência do gelo-degelo em materiais cerâmicos e betão, respectivamente, Weiss *et al.* (2003) no estudo da acção de diferenças térmicas em rochas ornamentais.

4.2. Patologias em cerâmicos aplicados em construção

As patologias podem ser entendidas como situações nas quais, em determinado momento da sua vida útil, os elementos de uma construção deixam de apresentar o desempenho esperado, isto é, não cumprem as funções para as quais foram projectados.

Podem ser utilizadas para identificar acidentes em construções, resultado de uma relação entre a causa e efeito de um conjunto de manifestações associadas entre si.

Na maioria dos casos, não existe apenas um fenómeno causador em acção. A análise destes fenómenos é habitualmente bastante complexa. Torna-se importante estabelecer uma correlação teórica entre a causa e o “sintoma”, no sentido de se tentar interpretar a ocorrência.

O factor humano, potencia muitas vezes as manifestações de degradação, quer devido a erros cometidos na concepção ou no cálculo, como na própria execução. Estes erros são, invariavelmente, devidos ao deficiente conhecimento das condições de equilíbrio entre o meio onde está inserida a construção e as características químicas, físicas e mecânicas dos próprios materiais utilizados.

No que diz respeito aos materiais cerâmicos aplicados no exterior de edifícios, é muito comum serem encontradas placas cerâmicas com manchas e perda de material ou destacadas em fachadas de edifícios recentemente construídos. Este facto revela falta de cuidado nos processos construtivos, e carência de acompanhamento da construção após a sua conclusão (Lucas e Abreu, 2006). Lucas (2001) refere que as verdadeiras causas da maior parte das anomalias em revestimentos cerâmicos são deficiências na concepção do revestimento, que se revela inadequado para a situação em que foi utilizado ou por deficiências da execução em obra.

O desempenho de um edifício depende da relação entre todos os materiais e técnicas de aplicação. Para a eficiência de sistemas de revestimento cerâmico, devem ser considerados diversos factores que garantam um bom resultado. É necessário analisar a qualidade de todos os materiais envolvidos, a sua adequabilidade, as características ambientais envolventes, o tipo de uso e a manutenção após a aplicação.

Muitos dos problemas identificados não estão relacionados apenas a um factor isolado, apresentando um conjunto de factores que contribui para a sua degradação pelo aparecimento das patologias. Assim para elaborar um diagnóstico de um problema é necessário analisar todo o conjunto que compõe o sistema.

De acordo com Morais (2007), as origens das patologias podem ser divididas em quatro grupos:

- a) Congénitas: Com origem na fase de projecto, e tendo como causa erros de projecto quer por omissão de detalhes e especificações ou na concepção inadequada dos materiais. São responsáveis pela grande maioria das degradações ou avarias registadas em edificações.
- b) Construtivas: Cujas origens destas patologias estão na fase de execução da obra, resultando do emprego de mão-de-obra não qualificada, utilização de produtos não certificados, ausência de metodologia de trabalho. São também grandes responsáveis na maior parte das anomalias em edifícios.
- c) Adquiridas: Ocorrem durante a vida útil do revestimento como resultado da exposição ao meio em que se insere, tendo origem em acções naturais ou humanas em função de uma manutenção inadequada ou uma interferência incorrecta nos revestimentos.
- d) Acidentais: Originadas devido a acontecimentos anormais, resultado de uma solicitação invulgar, como a acção do vento como intensidade superior à normal, incêndios, impactos, movimentos sísmicos, etc.

Todas estas origens provocam degradação dos materiais, no entanto é importante perceber a frequência de ocorrência de cada um. Neste âmbito, Silvestre (2005), analisou 64 casos de patologias em revestimentos cerâmicos de fachadas exteriores, classificando-os de acordo com as suas causas (tabela 4.4).

Tabela 4.4 – Causas de patologias em revestimentos cerâmicos de fachadas exteriores (Adaptado de Silvestre, 2005).

Origem	Causa	Percentagem
Congénitas	Erros de projecto	37%
Construtivas	Erros de execução	11%
Adquiridas	Acções de origem mecânica exterior	9%
	Acções ambientais	37%
	Falhas de manutenção	5%
	Alteração das condições	1%
Acidentais	Variadas	<1%

Analisando os dados, podemos verificar que as patologias adquiridas têm um papel muito importante na degradação dos materiais, destacando-se as acções ambientais. No entanto este tipo está directamente ligado a questões de origem congénita, como a selecção de um outro tipo de material menos adequado às características ambientais locais na fase de projecto. Uma correcta selecção que, provavelmente, evitaria ou diminuía muito a ocorrência das

patologias adquiridas. Não obstante, os erros de projecto são também uma das principais causas detectadas.

Estes dados reforçam a ideia apresentada no subcapítulo anterior, onde se focou a necessidade de um estudo das características ambientais e das propriedades dos materiais, bem como a interacção entre si.

Deste modo, elaborou-se uma metodologia simples para a selecção da generalidade dos materiais a utilizar na construção (figura 4.2).

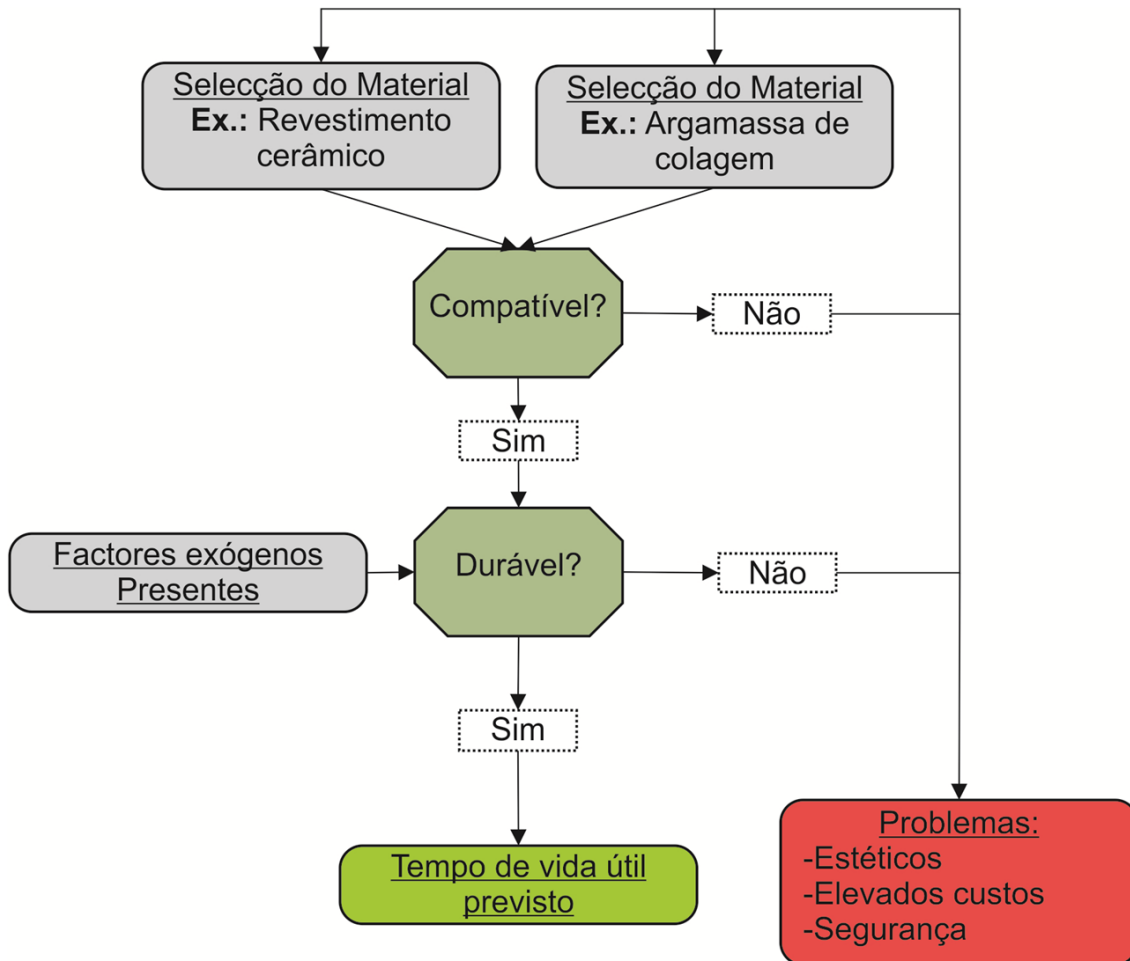


Figura 4.2 – Fluxograma de uma possível metodologia a seguir na selecção de materiais de construção.

4.3. Terminologia

Existem diversas classificações e terminologias para diferentes patologias, sendo o método de avaliação destes, uma simples inspecção visual. Não existe em Portugal um conjunto de terminologias e conceitos adoptados universalmente, sendo notória a adopção de diferentes designações por parte de cada autor.

A classificação adoptada nesta dissertação tem como base três documentos: Henriques *et al.* (2005), UNI 11182 (2006) e NP EN 539 – 2 (2007).

Seguidamente, descrevem-se algumas patologias que ocorrem habitualmente em materiais de construção cerâmicos.

- **Empolamento**

O empolamento (fig. 4.3), pode resultar de um conjunto de factores e está muitas vezes associado ao descolamento da peça de revestimento.

Quando ocorrem de uma forma isolada e pontual, devem-se a deficiências na aplicação. As variações térmicas originam expansão e contracção dos materiais, sendo importante que todo o sistema reaja de igual forma. Caso isto não aconteça pode ocorrer empolamento de uma ou mais peças do revestimento. Um factor que pode favorecer esta situação é um deficiente dimensionamento das juntas de dilatação e uma selecção de um produto de colagem com pouca elasticidade.

A estanquicidade do revestimento deverá ser garantida, pois caso isto não aconteça, a água das chuvas poderá penetrar e exercer no revestimento forças hidrostáticas ou proporcionar o crescimento de sais, que levam ao desprendimento do revestimento e ao seu empolamento.

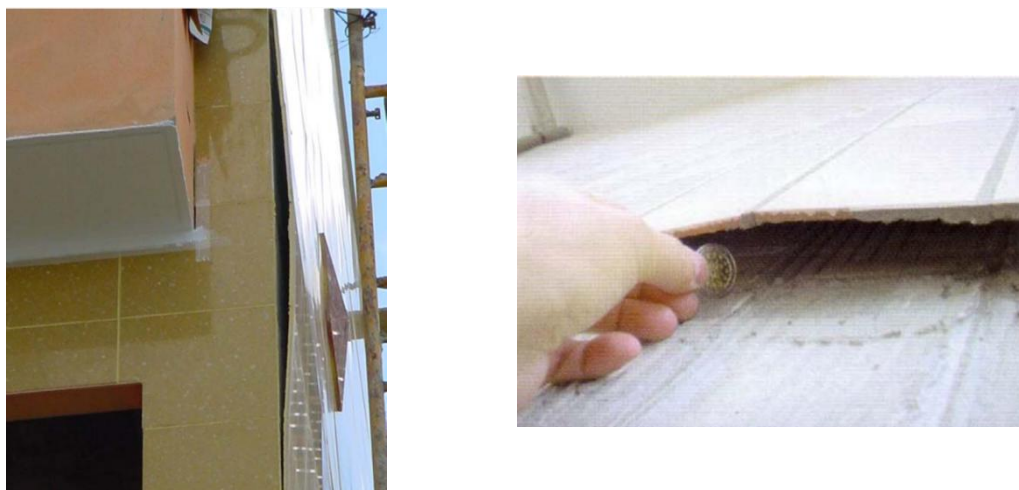


Figura 4.3 – Empolamento em revestimentos cerâmicos (APICER, 2003).

- **Escamação <5mm**

A escamação é o levantamento superficial de filmes (fig. 4.4), corresponde à fase inicial da lascagem. A formação de escamas no material cerâmico está associada a um rápido desgaste pelo ataque por sais. Tem início nos poros do produto cerâmico e desenvolvem-se

posteriormente. Podendo estar associado à repetição de ciclos de humedecimento e secagem superficial ou pelo congelamento de água presente nestes poros. Um dos principais processos responsáveis pela escamação é a exposição do material a ambientes litorais.



Figura 4.4 – Escamação em telha (Adaptado de Garcez, 2009).

- **Lascagem >5mm**

A lascagem está associada à acumulação de sais a uma profundidade de frequente humedecimento no interior do cerâmico. Esta acumulação de sais, provoca o destacamento da camada superficial, ocorrendo perda de material (fig. 4.5). Pode-se manifestar inicialmente sob a forma de escamação.



Figura 4.5 – Lascagem em ladrilho cerâmico.

- **Desagregação granular**

É típico de materiais cerâmicos menos nobres. A utilização de materiais com granulometrias mais grosseiras, bem como uma baixa temperatura de cozedura, provoca uma fraca ligação entre os grãos. A dissolução e a cristalização de sais no seu interior, faz com que o material se desagregue produzindo detritos constituídos por uma mistura de sais e grãos (fig. 4.6). É pouco frequente em cerâmicos de fabrico recente.



Figura 4.6 –Desagregação granular de tijolos cerâmicos.

- **Alveolização**

Ocorre em zonas sombrias e húmidas, está associada a acumulação de sais que produz o efeito de uma escamação e de uma desagregação granular. Ocorre em materiais cerâmicos de maior porosidade e portanto mais propícios à degradação. Após o processo se iniciar, há formação de uma concavidade onde existe retenção de sais e material desagregado (fig. 4.7).



Figura 4.7 – Alveolização de tijolos cerâmicos (UNI 11182, 2006).

- **Cavernas**

As cavernas são um estado avançado da alveolização, formam-se pelos mesmos processos. Também ocorrem em ambientes ricos em sais. A elevada degradação que esta patologia revela, pode estar relacionada com a excessiva presença de vazios, esta proporciona um ambiente ideal para que se desenvolva uma degradação salina, em termos de deposição retenção de sais.

- **Fracturação e fissuração**

As fracturas podem resultar de vários factores. Esta patologia, quer em revestimentos quer em telhas (fig. 4.8), pode ter a sua origem em causas estruturais, tais como a deficiente concepção

das juntas de dilatação (no caso dos revestimentos) ou assentamentos diferenciais dos elementos da estrutura de suporte (para o caso das telhas). Outras causas podem ser a cristalização de sais no interior da peça, ciclos gelo-degelo, impactos acidentais, queda de granizo, circulação de pessoas e cargas nos telhados, etc.

Considera-se fracturação quando esta contacta duas extremidades da peça, por outro lado, a fissuração é um caso particular onde pelo menos uma das extremidades não atinge o extremo da peça em questão.

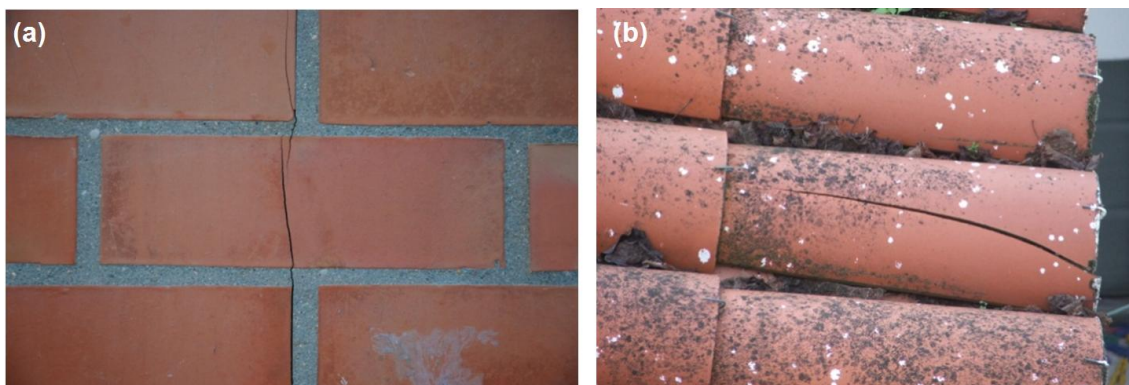


Figura 4.8 – Fracturação em ladrilhos (a) e telhas cerâmicas (b).

- **Mancha**

Quando os produtos de dissolução provenientes de outros materiais, como os de colagem ou do preenchimento das juntas, atingem sob a forma de escorrimentos os materiais circundantes, criando um aspecto inestético (fig. 4.9). Podem também ocorrer cristalizações dentro do material que provocam degradação. Desta forma, todos os materiais envolvidos, inclusive os ladrilhos, devem apresentar elevada estabilidade química.



Figura 4.9 – Mancha em azulejos cerâmicos.

- **Picamento**

O picamento é uma imperfeição que ocorre na superfície dos materiais cerâmicos devido à expansão de pequenas partículas que se situam imediatamente após a superfície das peças (fig. 4.10). São provenientes da pasta utilizada no seu fabrico e correspondem a partículas de

diversas naturezas, como carbonato de cálcio que após a cozedura forma cal viva. Esta combinada com água, origina cal hidratada de volume superior que origina o colapso da matriz cerâmica que a cobre. Também pode ocorrer devido à presença de partículas de outra natureza como todas aquelas susceptíveis à oxidação.



Figura 4.10 – Picamento em material cerâmico. <http://www.australbricks.com/02-brick-properties-and-bricklaying-practices>

- **Alteração cromática**

Trata-se de uma reacção que se manifesta superficialmente, provocando escurecimento ou clareamento, modificando a cor original do produto (fig. 4.11). Este fenómeno pode ter uma grande variedade de causas e ser localizado ou atingir grandes áreas causando efeitos estéticos negativos na construção.



Figura 4.11 – Alteração cromática de revestimento cerâmico.

- **Eflorescência**

Uma secagem lenta de uma solução com sais no interior do material cerâmico proveniente de infiltrações ou do solo, proporciona a sua precipitação na superfície por evaporação, produzindo eflorescências de cor branca (fig. 4.12). A sua cristalização perto da superfície pode gerar forças que resultam numa desagregação granular, escamação e lascagem.



Figura 4.12 – Eflorescências em ladrilhos cerâmicos.

- **Criptoflorescência**

As criptoflorescências são formadas por sais que cristalizam no interior do material. Sendo reveladas quando provocam o queda da camada superficial por escamação ou lascagem (fig. 4.13).

A cristalização destes sais pode estar relacionada com o frequente humedecimento até uma profundidade constante, seguida pela sua cristalização devido a uma secagem rápida a partir do exterior.

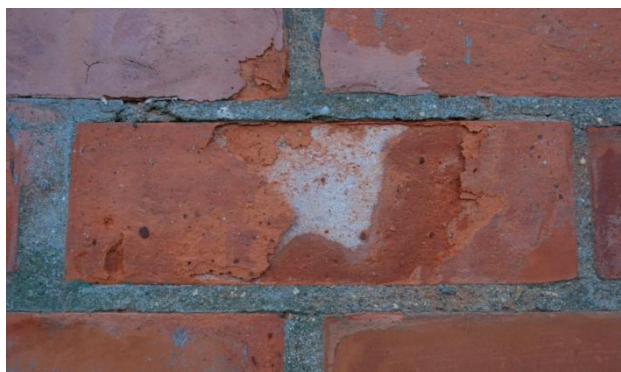


Figura 4.13 – Criptofluorêscencia em ladrilho cerâmico.

- **Colonização biológica**

Musgo, bactérias, fungos e líquenes podem ocorrer em fachadas e telhados (fig. 4.14). As condições para o seu desenvolvimento dependem do tipo de organismo e de factores como a água, luz, temperatura, pH e os nutrientes. A porosidade do produto influencia a fixação dos microrganismos.

Em zonas urbanas os mais visíveis são as algas verdes que colonizam numa grande gama de substratos incluindo materiais de revestimento e juntas. Normalmente desenvolvem-se onde existem grandes escorrimentos de água ou em alvenaria inclinada, áreas que estão constantemente húmidas como é o caso das coberturas. Em zonas pouco poluídas os líquenes são também abundantes.

A orientação das fachadas poderá ser também um factor relevante para o desenvolvimento de colonizações biológicas.

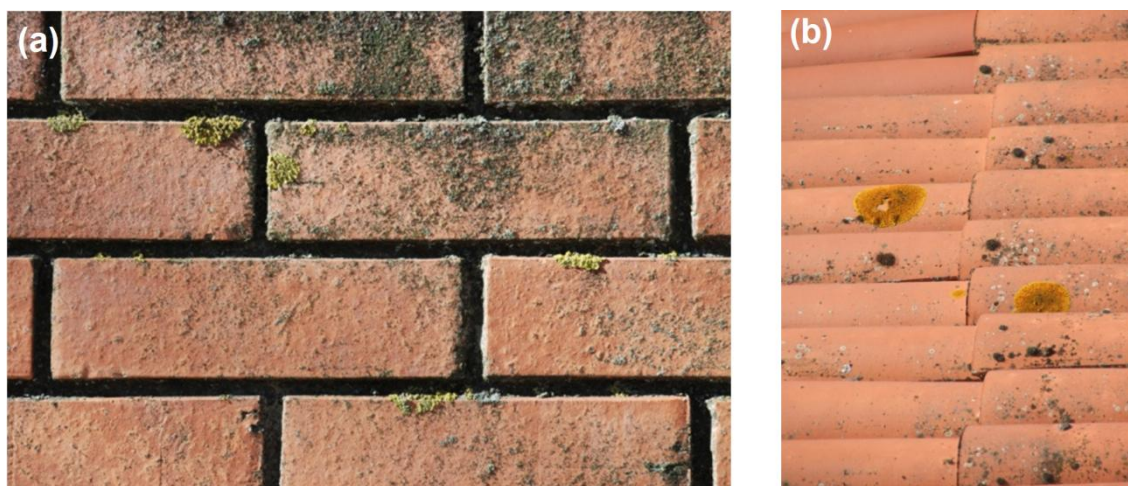


Figura 4.14 – Colonização biológica em ladrilhos (a) e telhas cerâmicas (b).

- **Vegetação**

A vegetação pode desenvolver-se em zonas abrigadas onde existam fracturas, as raízes crescem e podem provocar forças que degradem os materiais (fig. 4.15). Pela retenção de água, também podem representar uma fonte de humidade, na qual resultam outros processos.



Figura 4.15 – Vegetação em ladrilhos (a) (UNI 11182, 2006) e telhas cerâmicas (b).

- **Reparações**

A reparação de juntas com argamassas de durezas diferentes às apresentadas pelas peças cerâmicas pode provocar ligações mais rígidas. Todo o conjunto fica condicionado no que respeita as expansões e contracções devido a diferenças de temperatura e graus de saturação. Este facto poderá provocar fracturação e desgaste. A selecção das peças cerâmicas de substituição é muitas vezes descuidada, bem como a sua aplicação (fig. 4.16).



Figura 4.16 - Reparação em telhado cerâmico esteticamente mal sucedida.

- **Outras**

Autores, como Rocha (2008) e Garcez (2009), revelam outros tipos de patologias e deficiências em coberturas que não estão directamente ligadas às características dos materiais cerâmicos. Apesar de serem visíveis, efectivamente nos materiais cerâmicos, estão muitas vezes associadas à degradação de outros materiais ou a deficiências construtivas.

A lista destas anomalias é extensa e inclui a degradação de estruturas de apoio, condensação por ausência de ventilação.

5. Nevoeiro salino

5.1. Introdução

Aproximadamente metade da população de todo o mundo vive actualmente numa faixa litoral de 50 km (Bodungen e Turner, 2001). Por esta razão, a presença de construções nestas zonas é abundante. Poderemos então afirmar que grande parte das construções no mundo, estão nas proximidades de oceanos e mares. Concluímos que existe uma elevada interacção entre os ambientes marinhos (de grosso modo) com os pólos urbanos edificados.

A água dos oceanos apresenta uma composição rica em sais. Na realidade, como podemos observar na figura 5.1, em média por cada 1000g de água do mar, cerca de 35g são sais (Gross, 1967). Os iões que constituem estes sais são maioritariamente o cloreto (Cl⁻) e o sódio (Na⁺) com percentagens médias de 55% e 30,6%, respectivamente (Brown *et al.* 1997). Estes iões, através de um processo químico relativamente simples, por forças electrostáticas formam o cloreto de sódio (NaCl).

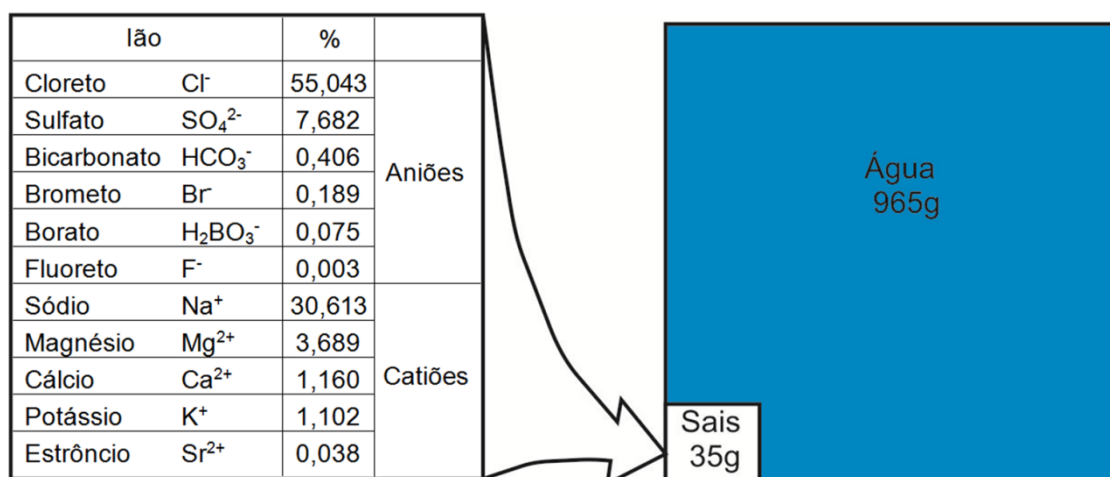


Figura 5.1 – Percentagem média dos iões presentes nas águas dos oceanos.

Quando a maioria destes sais interagem com os diversos materiais de construção, provocam o seu envelhecimento ou degradação acelerada, através de processos físicos ou químicos. O mecanismo preponderante depende das características do material em causa.

A degradação provocada pelo NaCl tem sido estudada em variados materiais e por diversos autores, como por exemplo, em revestimentos constituídos por cromato, Treacy & Wilcox (2000), com trabalhos em rochas ornamentais, Zezza & Macrì (1995), Galembeck *et al.* (2008), Pires *et al.* (2010), Silva & Simão (2009), Benavente *et al.* (2007), Cardell *et al.* (2003), em tijolos de monumentos Lubelli *et al.* (2004) e Larsen (2007), em cerâmicas estruturais Galhano e Simão (2010) e em telhas cerâmicas Cruz (2010).

5.2. Formação, transporte e deposição

O ensaio laboratorial que permite a interação do cloreto de sódio com os materiais, simulando o meio natural, denomina-se “nevoeiro salino”. Este termo não é atribuído a nenhum processo atmosférico ou meteorológico específico, mas sim a todos aqueles em que estão presentes pequenas partículas de solução marinha (spray marinho) com uma elevada percentagem de cloreto de sódio. De acordo com a *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001), anualmente são libertadas do oceano para a atmosfera 3300 Tg (3300×10^6 ton) destas pequenas partículas.

Estas partículas são libertadas pela atmosfera como resultado do enrolar das ondas (Leeuw, 1999; Leeuw & Vignati, 1998; Chomka & Petelski, 1997, Silva *et al.* 2007; Pryor *et al.* 2008). De acordo com Leeuw (1999) a libertação de partículas pode ocorrer por três mecanismos: Durante o rebentar da onda, bolhas de ar são introduzidas na água, estas quando retornam à superfície são acompanhadas de uma fina película de água que separa o ar interior do exterior. Quando ocorre um aumento da pressão atmosférica nessa película, a bolha colapsa libertando várias partículas de água (e seus sais) para a atmosfera (figura 5.2 a). Poderá ainda ocorrer o colapso das bolhas assim que chegam à superfície, não suportando a variação brusca de pressão provocada pela rápida transição dos meios (figura 5.2 b). O terceiro mecanismo ocorre quando a velocidade do vento é superior a 9 m/s onde estas partículas se libertam naturalmente do oceano (figura 5.2 c).

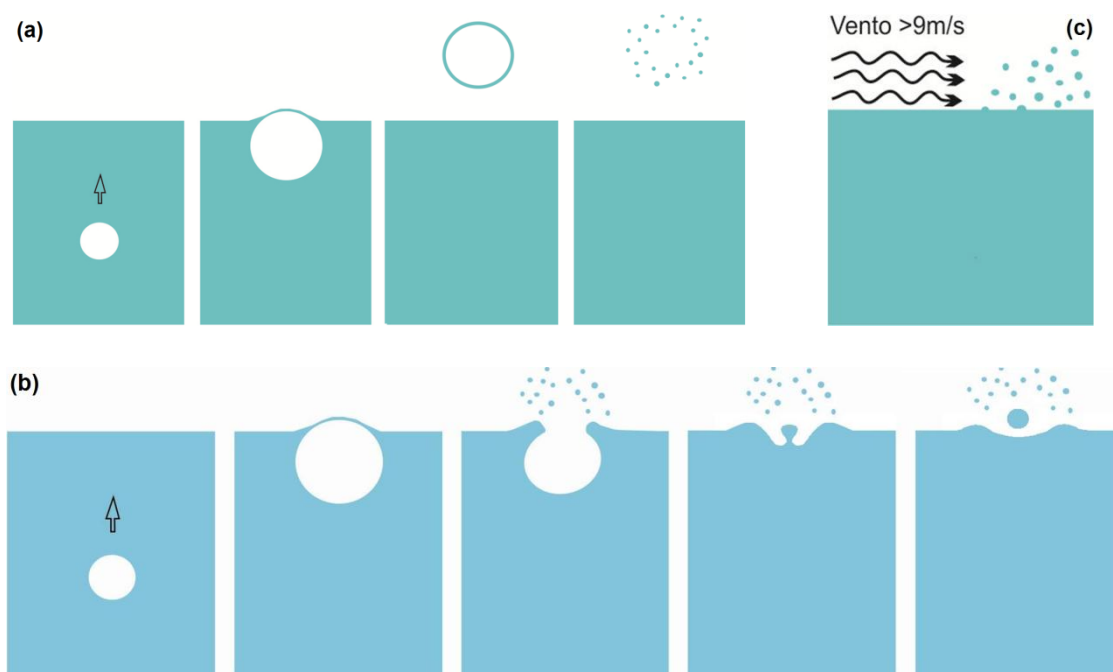


Figura 5.2 – Mecanismos de formação das partículas de água do mar (Adaptado Brown *et al.*, 1997).

Relativamente aos principais agentes que ocasionam estes mecanismos, parece não existir uma identificação e metodologia tão consensual. Diversos autores, como os anteriormente

mencionados, apenas referem que é a ondulação que provoca estes mecanismos atribuindo ao vento um papel secundário. De acordo com Foltescu *et al.* (2005) a variação de energia dissipada pelo rebentar da agitação marítima varia com a intensidade e direcção do vento, atribuindo assim uma maior importância a este factor. A agitação marítima caracteriza-se por ondulação e por vagas, sendo a vaga originada pelo vento no próprio local, apresentando um aspecto irregular, a sua rebentação ocorre no momento imediato à sua formação. A ondulação é devida à propagação da vaga gerada pelo vento num local distante e a sua rebentação ocorre em locais próximos das margens onde existe uma diminuição da profundidade até à superfície. Crê-se que ambas provocam a libertação de partículas para a atmosfera, desta forma, o factor predominante é a presença de vento, quer no próprio local, quer num local distante. Este conhecimento torna-se importante para perceber, através das características climáticas e de agitação marítima, quais os locais mais propícios à formação e à presença de maior quantidade de nevoeiro salino.

As referidas partículas que resultam desta agitação, apresentam dimensões microscópicas que usualmente variam entre 0,05 μm e os 16 μm (IPCC, 2001), no entanto existem autores (Brown *et al.* 1997) que referem o valor de 20 μm como valor máximo. No entanto este mesmo autor afirma que por cada bolha, existe a libertação de um número reduzido de partículas de maiores dimensões, na ordem de 100 μm , representadas na figura 5.2 b).

O cálculo da quantidade destas partículas libertadas por cada bolha de ar já foi objecto de estudos. Wu (1989) concluiu, através de métodos analíticos, que esta libertação está dependente de factores como a dimensão da bolha de ar que por sua vez é influenciada pela intensidade do vento. Com base nos cálculos de Wu (1989), Leeuw (1999) afirma que uma bolha de 3 mm de diâmetro pode libertar entre 10 a 1000 partículas de água do mar para a atmosfera.

O transporte destas partículas, está dependente de variados factores, o transporte horizontal é função da velocidade e direcção do vento, no entanto, a altitude que estas podem atingir está relacionada com a estabilidade atmosférica (Silva *et al.* 2007). De acordo com Leeuw (1986), os deslocamentos verticais iniciais das partículas são originados pela turbulência marítima que provocam deslocação de ar ascendente. O mesmo autor refere ainda que o deslocamento das partículas é também influenciado pela sua dimensão e concluiu que a acção do vento é maximizada para partículas de dimensões de 40 μm a altitudes de 2 a 6 metros.

Quando presentes na atmosfera, as partículas com dimensões de cerca de 1 μm apresentam um tempo de residência bastante longo, na ordem de vários dias (Pryor *et al.* 2008), e podem ser transportadas a grandes distâncias da sua origem até à sua deposição (Seinfeld & Pandis, 1998). A deposição continental dos sais marinhos pode ocorrer sob forma seca ou húmida (Pryor *et al.* 2008). A deposição seca ocorre quando a água da solução sofre evaporação e a transferência dos sais para a superfície terrestre dá-se no estado sólido, por outro lado a deposição húmida dá-se sob uma forma aquosa (Seinfeld & Pandis, 1998). De acordo com

Gong *et al.* (1997), dependendo da localização geográfica, a deposição seca representa entre 60% a 70% do total de deposição de sais presentes na atmosfera.

A penetração destes sais para o interior da linha de costa através da atmosfera é uma situação corrente. Silva *et al.* (2007), recorreram a uma campanha de amostragem durante dois anos, na Galiza. As amostras foram recolhidas em 9 pontos distintos, a diferentes distâncias do oceano sendo a distância máxima de 166 km. Apesar de estarem presentes iões marinhos no local amostrado mais distante, concluíram que a influência marinha é muito acentuada até aos 20 km de distância do oceano.

Foltescu *et al.* (2005), com base em amostragens provenientes de vários países da Europa, recorreu à modelação para elaborar mapas de concentração e de deposição de sais marinhos à escala regional. Na figura 5.3 podemos observar um destes modelos que corresponde à deposição de partículas com sais marinhos e raios entre 0,03 e 5 µm.

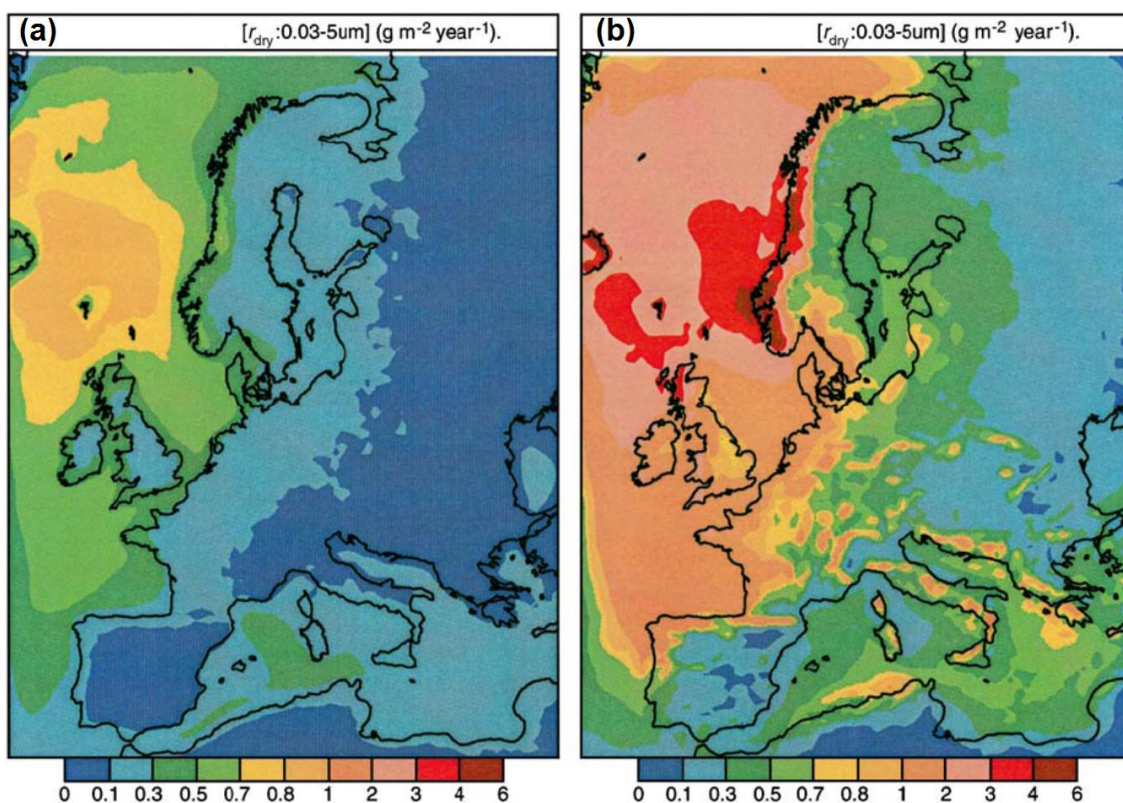


Figura 5.3 – Distribuição de deposição média por via seca (a) e húmida (b) de sais com origem marinha (Foltescu *et al.* 2005).

Como seria expectável os maiores valores de deposição ocorrem nas zonas de maior produção de partículas de água do mar, sobre o oceano, essencialmente a norte do Reino Unido, onde a intensidade do vento é manifestamente superior. É possível ainda verificar que a deposição húmida é mais dispersa sobre o continente.

Tendo como base estes dois trabalhos, pode-se afirmar que os sais de origem marinha não irão apenas afectar as construções edificadas numa pequena faixa litoral. Por exemplo,

considerando o caso de Portugal Continental e o valor de 20 km determinado por Silva *et al.* (2007) para o interior da linha litoral onde existe uma influencia marinha acentuada. Conclui-se que cerca de 27% da área do país está em zona de forte deposição de sais marinhos. Este valor, constitui uma extrapolação grosseira tendo sido a faixa de 20 km atribuída a uma zona específica (Galiza) com características geográficas e climáticas específicas. Para cada localização geográfica existiram portanto distintos casos, como tal, deverão ser estudados todos os factores que possam influenciar a concentração de sais marinhos em cada local, tais como, a agitação marítima, a intensidade e direcção predominante do vento, o tipo de clima, a morfologia do terreno e a própria densidade de urbanização.

Conclui-se, que a interacção entre os sais marinhos e os materiais de construção, poderá ocorrer numa zona bastante interior do continente. De facto, a degradação devido a este factor poderá ocorrer, não apenas nas fachadas de edificios com exposição directa para o mar, mas também em locais aparentemente resguardados e distantes da fonte, a agitação marítima.

5.3. Mecanismos de penetração

A penetração de sais no interior da rede de poros dos materiais é um processo que ocorre apenas em meio líquido, isto é, se os sais não estiverem dissolvidos numa solução não ocorre a sua penetração (Lubelli, 2006).

Existem diversas formas de penetração de soluções nos materiais porosos que compõem uma construção. Por exemplo, a água pode penetrar directamente através da chuva, por escorrimentos pelo gotejar nos telhados e fachadas, do nevoeiro salino proveniente do mar, em materiais que estão em contacto com o solo, a água pode invadir a rede porosa (Katzoff, 2006).

Os mecanismos de transporte que resultam na penetração de soluções ou parte dos seus iões podem ser variados, e segundo (Costa, 1997) dividem-se em:

- Permeação
- Difusão
- Migração
- Absorção (sucção capilar)

A **permeação** ocorre em materiais saturados e consiste no transporte da solução devido a diferenças de pressão (Crauss, 2010). Este tipo de mecanismo apenas tem significado em estruturas submersas onde as pressões hidrostáticas são relativamente elevadas (Costa, 1997 e Crauss, 2010). Neste caso, a solução movimenta-se na estrutura porosa como um todo e não existe um deslocamento preferencial dos iões que a compõem.

A **difusão** é o movimento de uma substância presente na solução sob a acção de um gradiente de concentração, dando-se de uma zona de alta concentração para uma zona de baixa concentração (Thang, 1999). Neste caso, a penetração não está associada ao transporte da solução na rede porosa, mas sim ao movimento dos iões na solução (Costa, 1997). Este

fenómeno ocorre apenas quando a solução existente é suficiente para criar uma rede contínua de capilares, total ou parcialmente preenchida.

A **migração**, à semelhança da difusão, é o movimento de substâncias no interior da solução, sendo neste caso a carga eléctrica o factor determinante. O material envolvente exerce a acção de um campo eléctrico atraindo os iões presentes na solução (Thang, 1999).

O mecanismo de transporte por **absorção** ocorre quando o material está sujeito a ciclos de molhagem e secagem (Costa, 1997). A absorção não ocorre em materiais já saturados, para que ocorra, é necessário que os poros estejam total ou parcialmente secos (Crauss, 2010). A solução, uma vez no material poroso, pode penetrar para os poros por capilaridade (Katzoff, 2006) que é consequência da tensão existente entre a superfície da água e as paredes dos poros (Lubelli, 2006). Devido a esta atracção, existe a formação de um menisco convexo, a pressão imediatamente abaixo deste menisco é menor do que a pressão atmosférica o que obriga a subida da solução até um equilíbrio hidrostático (Lubelli, 2006).

Segundo Nepomuceno (2005), este é o mecanismo de transporte que mais afecta a durabilidade das edificações. No entanto, em condições reais, a penetração dos iões ocorre normalmente através da associação de vários mecanismos de transporte. A ocorrência de cada um destes mecanismos depende fundamentalmente das condições de exposição. Em condições saturadas, apenas ocorre penetração por difusão e permeação se existir contacto com água sob pressão, não existindo absorção dado que não se desenvolvem forças capilares. Em condições não saturadas, ocorre penetração por absorção de água nas camadas superficiais e por difusão dos seus iões nas zonas mais interiores (Costa, 1997).

5.3.1. Influência da porosidade

As características da porosidade dos materiais são essenciais no controle da penetração de soluções afectando assim grande parte a velocidade de degradação dos materiais.

Torna-se um importante parâmetro a ser estudado, já que em alguns materiais as suas características podem ser determinadas pelo fabricante do material em causa. Dois destes materiais são os cerâmicos e o betão. No caso dos materiais cerâmicos o tempo, a temperatura máxima de cozedura e o próprio método de fabrico estão intimamente ligados à porosidade final da peça. As características porosas do betão são controladas pela relação água/cimento, grau de hidratação e composição do cimento (Crauss, 2010).

As características da porosidade influenciam a capilaridade, que é, como já vimos o mecanismo de transporte que mais afecta a durabilidade dos materiais.

A dimensão dos poros e a conectividade entre estes afectam a capilaridade. Caso não exista conectividade, a solução não avança ficando na superfície do material. Katzoff (2006), relata que as eflorescências superficiais provocadas pela cristalização, provocam nos materiais substancialmente menores danos nos materiais do que no caso de sub-eflorescências (no

interior dos materiais) onde é necessária conectividade entre os poros superficiais e os interiores.

Para a dimensão dos poros, Lubelli (2006) refere que no caso de porosidade de pequena dimensão, inferior a 0,1 μm a absorção é extremamente lenta. Opinião que é partilhada por Helene (1993) que aponta uma faixa de dimensões dos poros que facilitam a permeabilidade, entre 0,1 μm e 1000 μm .

Não obstante, as características da solução em causa, como a densidade e a viscosidade apresentam também um importante papel. Existem inclusive fórmulas teóricas para calcular a penetração por capilaridade que têm em consideração as características porosas do material em conjunto com as características da solução.

5.4. Interação nevoeiro salino – materiais de construção

5.4.1 Introdução

A deposição, nos materiais de construção, de partículas em suspensão na atmosfera origina uma grande variedade de processos físico-químicos de degradação dos mesmos, particularmente em áreas costeiras onde a acção do mar representa um papel fundamental (Stefanis *et al.* 2005). No entanto, os processos físicos apresentam maior intensidade dado que os sais podem ser quimicamente inertes ao material em causa (Scherer, 2004). A cristalização de sais é amplamente reconhecida como uma causa de degradação física de materiais de construção porosos (Chanvillard e Scherer, 2006). A condição necessária para que danos ocorram é o crescimento contínuo de um cristal confinado, aplicando assim tensões ao material (Steiger^{a)}, 2005).

5.4.2. Mecanismos físicos – cristalização dos sais

As primeiras demonstrações de que o crescimento de cristais poderia aplicar ligeiras tensões são provenientes de Lavalley (1853). Mais tarde, Becker e Day (1905) concluíram que o crescimento dos cristais, para além de aplicarem ligeiras tensões, era capaz de elevar cargas adicionais de peso. Desde essa altura, surgiram diversos estudos relativos aos mecanismos de crescimento de cristais e suas tensões, dos quais se pode referir Chanvillard e Scherer (2006), Scherer (1999) e (2004), Steiger^{a) e b)} (2005) e Espinosa-Marzal e Scherer (2009).

O crescimento e os danos que os cristais de NaCl podem provocar, estão dependentes de vários factores, como sendo a sobresaturação, a dimensão dos poros e a magnitude das forças repulsivas entre os sais e as paredes dos poros confinantes (Scherer, 2004). De acordo com Flat (2002), as condições de temperatura e humidade que podem permitir a rápida evaporação, são bastante importantes, pois estas condições são favoráveis à precipitação dos sais.

A cristalização de sais a partir de uma solução inicia-se com um processo de nucleação, onde as moléculas do soluto, dispersas no solvente se começam a aproximar e a agruparem em

estruturas altamente organizadas numa escala nanométrica (figura 5.4). A origem da cristalização consiste na diferença entre potenciais químicos dos iões na solução e nos núcleos cujos valores estão directamente relacionados com a sobresaturação (Espinosa-Marzal & Scherer, 2009).

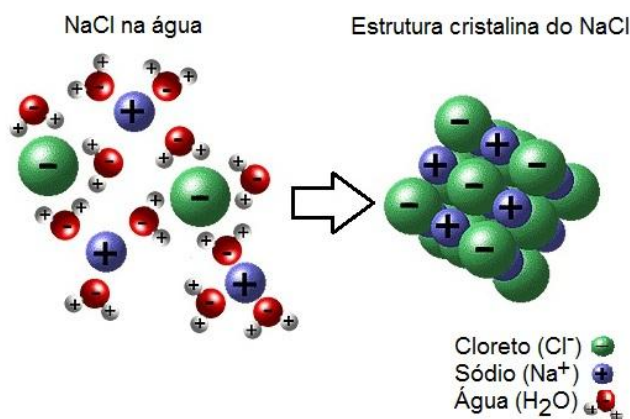


Figura 5.4 – Cristalização do NaCl

(<http://www.biology.arizona.edu/biochemistry/tutorials/chemistry/page3.html>).

Lubelli (2006) descreve a sobresaturação como o estado químico de uma solução que contém uma percentagem de sais mais elevada do que a sua capacidade de dissolução permite nas condições que se encontra. A sobresaturação de uma solução poderá resultar de um conjunto de ciclos de molhagem e secagem. Após uma primeira molhagem do material ocorre evaporação que faz com que os sais presentes nessa solução precipitem e fiquem depositados, num segundo ciclo a nova solução contendo sais, poderá ou não, também dissolver os sais deixados pela primeira solução, ocorrendo novamente evaporação e o processo repete-se ciclicamente. A presença acumulada de sais depositados no material vai enriquecendo as soluções que surgem até à sua saturação, sendo este o momento em que a presença de sais precipitados está em equilíbrio com uma solução super saturada.

Esta solução, para além de permitir a precipitação de uma maior quantidade de sais e de maiores dimensões desempenha um papel directo nas tensões aplicadas ao material. Para um cristal continuar o seu crescimento e aplicar uma força sobre a sua envoltória necessita de uma película de solução que os separa, caso contrário a deposição de nova matéria e o crescimento na região de contacto é impossível. Esta película age como uma solução de difusão que permite a troca de iões entre a solução e o cristal (Steiger^{a)}, 2005). Originam-se assim forças repulsivas entre o cristal e a sua envoltória. Por outro lado, o crescimento de um cristal sobre uma superfície que exerce uma oposição só pode exercer pressão se esta estiver em contacto com uma solução super saturada. O grau de sobresaturação necessário para o crescimento ocorrer aumenta com o aumento de carga necessária para vencer a oposição (Steiger^{a)}, 2005).

No interior de um poro, o cristal está sob um estado de tensões anisotrópico, as faces sujeitas a uma menor pressão, estão sobre a pressão hidrostática enquanto as restantes, próximas das paredes dos poros estão sobre cargas superiores (figura 5.5). Para esta situação, os valores dos potenciais químicos das duas faces são desiguais (Steiger ^{a)}, 2005). O que evita o crescimento dos cristais para estas direcções parcialmente desobstruídas são forças electrostáticas, forças devidas à película de solução e outras com as forças de Van der Waals (Flat, 2002). A última gera uma força entre moléculas de atracção e apenas ocorre quando estas estão muito próximas. Desta forma, a presença da fina película de solução é indispensável para ocorrerem tensões significativas nos materiais.

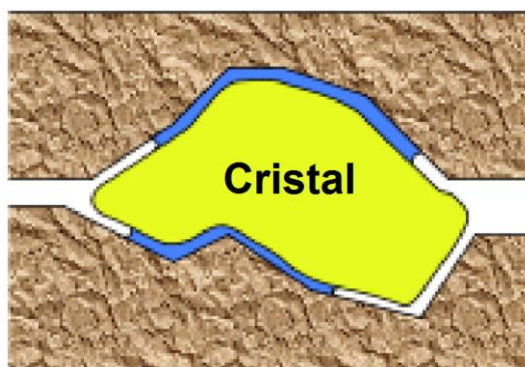


Figura 5.5 – Cristal formado em poro (Adaptado de Scherer, 2006)

5.4.3. Degradação por processos químicos

A água pura não constitui por si só um agente de alteração química dos minerais constituintes dos materiais, no entanto a sua presença é considerada fundamental para ocorrerem processos de alteração (Pinto *et al.* 2006). Entre outros factores, é importante por ser um solvente universal tendo capacidade de conter diversos sais que individualmente ou em conjunto exercem uma importante acção química.

Qualquer material aplicado em zonas exteriores de edifícios está sujeito a uma série de reacções químicas que contribuem para a sua degradação. Fenómenos como a dissolução, hidrólise, oxidação-redução resultam da interacção entre os materiais e a água. Sendo esta um agente muito importante quando se consideram acções químicas.

Como já foi possível constatar, em algumas zonas urbanas podem estar presentes compostos como o NaCl que altera as propriedades naturais da água “pura”, que apresenta um pH de 7. De acordo com Brown *et al.* (1997) a água dos oceanos é ligeiramente alcalina, com valores de pH em torno de 8,2. Na presença de outros compostos da atmosfera, esta solução poderá passar rapidamente a ácida. O pH, é controlado pela concentração de H^+ na água, se esta for elevada, a água é ácida, se por outro lado, a concentração for baixa, estamos na presença de uma solução alcalina, como a água do mar. Na hidrólise, os iões H^+ vão substituir os cationes

presentes nos minerais (Carvalho, 2003) provocando a sua alteração. Assim pode-se concluir que a uma solução puramente salina não irá provocar por si só uma elevada hidrólise.

Não obstante, as características dos materiais, nomeadamente a sua composição química, também influenciam a capacidade com que os seus iões passam a solução. É sabido que quanto menor for o **potencial de ionização** de cada elemento mais susceptível este é, à degradação do material em que está inserido.

Outra característica química que influencia o grau de alterabilidade é o tipo de **ligação química**. A resistência das ligações entre elementos é controlada pela afinidade que estes têm entre si, isto é, pela sua maior ou menor distância na tabela periódica. As ligações entre elementos de grupos distantes apresentam uma maior fragilidade, contrariamente ao que acontece com elementos próximos onde as suas ligações tendem a ser mais resistentes. Os materiais onde sejam abundantes dois ou mais elementos sem afinidade apresentam uma maior propensão à sua separação pela ligação iónica.

A perda ou ganho de electrões (e^-) por parte de um átomo ou ião é denominada de oxidação e redução respectivamente. Este fenómeno é precisamente chamado de **Oxidação-Redução**.

Para que um átomo possa perder electrões tem de estar na presença de outro que os possa aceitar, e vice-versa. Os elementos podem apresentar-se na natureza sob diversos estados de oxidação (e.o.). Este conceito baseia-se na maior ou menor tendência que os átomos têm para atrair a si a nuvem electrónica (U.N.L.-F.C.T., 2005).

Um ião monoatômico apresenta um estado de oxidação igual à carga do ião. Vejamos novamente o caso do ferro, este pode-se apresentar em três estados, Fe (ferro nativo) com um e.o. igual a 0, Fe^{2+} com um e.o. de 2 e Fe^{3+} com um e.o. igual a 3.

A tendência que os elementos têm para ganhar ou perder electrões dá-se pelo seu valor de potencial padrão (E_0).

As águas presentes na atmosfera, isto é, a das chuvas e as partículas provenientes da agitação marítima enquadram-se nos ambientes oxidantes devido ao seu permanente contacto com o oxigénio acessível da atmosfera. O que significa que existirá uma perda de e^- na maior parte dos elementos que estão em contacto com águas deste tipo. Para qualquer elemento ficar oxidado tem de estar presente um composto com um maior poder oxidante, isto é, com um valor de E_0 superior. O E_0 das águas é tanto maior quanto maior forem as concentrações em sais e os seus níveis de poluição atmosférica.

Conhecendo os valores de E_0 para diferentes compostos e elementos (tabela 5.2), podemos verificar quais são os que apresentam maior tendência para a oxidação ou redução, tendo como referência os valores dos agentes intervenientes na alteração, água e sais. Quanto mais distante for o seu valor relativamente aos valores de referência, mais propícios serão as reacções de oxidação ou redução.

Tabela 5.2 – Potenciais padrão de eléctrodo a 25°C (Adaptado de Smith, 1998).

	Reacção de oxidação	Potencial padrão, E ⁰ (Volts relativamente ao eléctrodo-padrão de hidrogénio)
	$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^{-}$	+1,498
Menor tendência para a corrosão	$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e^{-}$	+1,200
	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$	+0,799
↑	$2Hg \rightarrow Hg^{2+} + 2e^{-}$	+0,788
	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$	+0,771
	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$	+0,337
	$Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^{-}$	+0,150
	$Pb \rightarrow Pb^{3+} + 2e^{-}$	-0,126
	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^{-}$	-0,250
	$Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^{-}$	-0,403
	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$	-0,440
	$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^{-}$	-0,744
	$Zn \rightarrow Zn^{3+} + 2e^{-}$	-0,763
↓	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$	-1,662
	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$	-2,363
	$Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	-2,714
Maior tendência para a corrosão		

Assim, os elementos que apresentam valores mais negativos de potencial de eléctrodo, são os mais propícios à oxidação e conseqüentemente à degradação.

Para o caso de materiais cerâmicos, apesar da matriz se apresentar relativamente amorfa, a presença de diversos minerais metamorfizados pela temperatura de cozedura ou até provenientes da argila que permanecem inalterados podem ser prejudiciais. A alteração química pontual destes minerais pode enfraquecer ou até mesmo levar ao colapso de toda a peça. Segundo González *et al.* (2004), a oxidação provoca um aumento de volume em variados minerais. Os produtos originados pela corrosão *sensu lato* de um elemento, em alguns casos podem apresentar um volume relativo seis vezes superior ao elemento inicial (Tuutti, 1982 em Montemor, 1995), como o caso do ferro (figura 5.6). Quando estes elementos se apresentam confinados, como acontece nos minerais presentes em materiais cerâmicos, este aumento de volume pode provocar o aparecimento de tensões bastante significativas aplicadas no material envolvente.

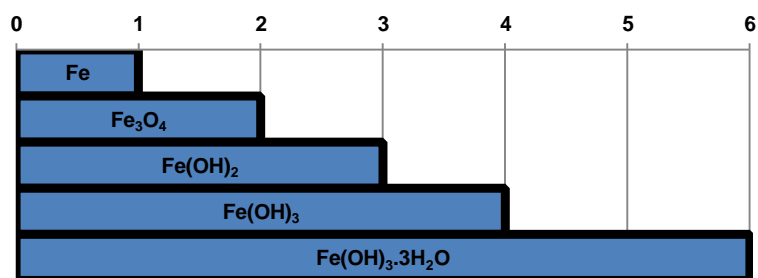
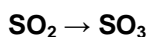


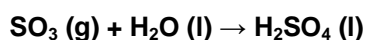
Figura 5.6 – Volume relativo dos produtos de corrosão formados a partir do ferro (Tuutti, 1982 em Montemor, 1995).

5.4.4. Degradação química indirecta

Na atmosfera, podem estar presentes outros compostos que interagem com os materiais de construção, por exemplo o dióxido de enxofre (SO₂) libertado pelo processamento de minérios metálicos onde o enxofre está associado à queima de combustíveis fósseis (Chang, 2005). Este poluente primário poderá originar um secundário, o ácido sulfúrico (H₂SO₄). Existem dois mecanismos de conversão, um primeiro que se dá pelas seguintes reacções químicas:



Aqui dá-se uma lenta oxidação do dióxido de enxofre transformando-se em trióxido de enxofre (SO₃).

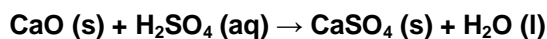


O trióxido de enxofre (SO₃) reage rapidamente com a água formando o ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Este composto é bastante relevante na corrosão de materiais, essencialmente os carbonatados. Pode actuar por exemplo, sobre rochas ornamentais como os calcários e mármore, de acordo com a seguinte reacção:

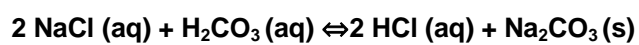


Ou sobre materiais cerâmicos onde podem estar presentes óxidos de cálcio:



Estas reacções têm tendência para parar devido à formação de crostas de sulfato de cálcio (CaSO₄) que evita o contacto entre o material e o ácido sulfúrico (H₂SO₄), atenuando a degradação. O sulfato de cálcio (CaSO₄) normalmente não se apresenta muito solúvel, no entanto, a sua solubilidade é favorecida pela presença de cloreto de sódio (NaCl) na solução que actua como um catalizador, para além de influenciar a sua solubilidade, aumenta também a reacção entre o carbonato de cálcio (CaCO₃) e o ácido sulfúrico (H₂SO₄) (Lubelli *et al.* 2004).

Na realidade, o cloreto de sódio (NaCl) proporciona a formação de ácido clorídrico (HCl), que actua no material carbonatado, deixando a superfície livre de uma película sulfatada o que permite que a reacção prossiga (Lubelli *et al.* 2004).



Assim, o NaCl, poderá exercer uma acção química que favorece indirectamente a degradação do material.

6. Metodologia Experimental – Ensaio e sua importância

6.1. Introdução

Os diferentes tipos de materiais aplicados em construção apresentam, entre si, naturezas muito distintas. Mesmo quando se consideram materiais de um mesmo tipo, estes podem variar bastante as suas características.

Como se sabe, a grande maioria da matéria-prima utilizada para o fabrico de materiais de construção é de origem geológica, e constitui um meio heterogéneo e anisotrópico. Desta forma, tem existido uma grande preocupação por parte do Homem em criar materiais homogéneos que apresentem todas as características constantes dentro da mesma peça, bem como entre diferentes peças.

Tem existido algum sucesso no primeiro caso, no entanto, quando se considera diferentes peças em que o seu fabrico envolveu materiais com características geológicas ligeiramente distintas, como a mineralogia, granulometria, estado de fracturação, porosidade, etc., torna-se difícil garantir comportamentos iguais entre produtos.

Refere-se o caso do betão, onde por vezes, a totalidade dos seus componentes apresenta uma origem geológica, calcário para a fabricação do cimento, agregados onde se enquadra a brita (rochas de vários tipos) e a areia. As propriedades da brita dependem das propriedades da rocha que lhe deu origem (ex. composição química e mineralógica, petrografia, dureza, resistência mecânica, estabilidade química e física, porosidade, absorção e cor). Também a sua geometria é influenciada pela natureza da estratificação e fracturação da rocha, bem como da sua densidade de fracturação (Donza *et al.* 2002).

Diversos autores referem que os agregados influenciam as propriedades do betão, especialmente a sua resistência (Sousa Coutinho, 1997; Beixing *et al.* 2011; Wasserman e Bentur, 1996) devido a estes serem o elemento que apresenta maior resistência no betão (Newman e Choo, 2003).

No caso das rochas ornamentais, vulgarmente aplicadas em fachadas de edifícios, é marcante a influência das características geológicas no produto final. Estas condicionam e estabelecem todos os parâmetros do produto final, os aspectos físicos, mecânicos, químicos e também estéticos. Os diversos tipos de rochas apresentam assim uma série de diferentes comportamentos quando solicitados aos mais variados agentes.

No que diz respeito aos materiais cerâmicos, como já foi amplamente focado, a matéria-prima é a argila, um material geológico por excelência. As suas características variam bastante de acordo com os processos geológicos que estiveram na base da sua formação. Neste caso, interessam essencialmente parâmetros como a composição química, mineralógica e granulométricos. Estes condicionam o produto final de duas formas, através da plasticidade da pasta cerâmica (Vieira *et al.* 2001) que influencia a trabalhabilidade, a sua eficácia de moldagem e no desempenho da peça e através da composição final que condiciona o desempenho químico, físico e mecânico.

Para a aplicação de qualquer um destes produtos em obra, mais especificamente os materiais cerâmicos, é fundamental a caracterização da matéria-prima e produto final, para prever os seus comportamentos quando aplicados em determinado meio. Para isto são utilizados ensaios que permitem simular condições de exposição dos materiais a variados ambientes. Sendo obtidos dados que possibilitam uma selecção criteriosa de materiais, técnicas de aplicação e de manutenção prevenindo ou retardando a sua degradação.

Actualmente, cada ensaio ou caracterização possui uma Norma Europeia (EN) específica que indica o procedimento e fornece orientações relativamente a cada ensaio. Existe também em Portugal uma série de Normas (NP) que são adaptações das Europeias e por vezes podem apresentar critérios mais exigentes.

Estes ensaios fornecem a fabricantes, arquitectos e clientes elementos técnicos importantes.

Existem diversos tipos de ensaios:

- Ensaio de identificação: para além de permitirem uma comparação directa entre materiais, têm por objectivo determinar as suas características básicas, como por exemplo, granulometria, mineralogia, composição química, peso por unidade de volume (massa volúmica aparente ou densidade aparente), absorção de água, etc.
- Ensaio mecânico: permitem determinar as propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à flexão, resistência à tracção, etc.) caracterizando o comportamento de um dado material, quando submetido a esforços de natureza mecânica. Os ensaios mecânicos visam também comparar resultados em diversos materiais, constatar a influência das condições de fabrico e determinar qual o melhor que se adapta às condições de fabrico.
- Ensaio de envelhecimento acelerado: destinam-se ao conhecimento das reacções dos materiais a determinado ambiente. Procura também uma previsão do período de tempo em termos comparativos, durante o qual o elemento desempenhará, sem colapsos, as funções para as quais foi concebido (Pinto *et al.* 2006), como por exemplo, resistência ao gelo, resistência ao nevoeiro salino, resistência ao choque térmico, etc.

6.2. Tipos de produtos utilizados

Para a realização de ensaios em laboratório e avaliação do desempenho à degradação por exposição ao nevoeiro salino de materiais cerâmicos, foram seleccionados três produtos cerâmicos. A escolha dos materiais resultou de um compromisso entre os três fabricantes e o idealizado para esta dissertação. Assim, utilizou-se um produto de cobertura (telha) do fabricante *Cobert-Uralita* e dois tipos de revestimento exterior, um grés extrudido do fabricante

CINCA e um grés vidrado do fabricante *Aleluia*. As características referentes aos seus fabricos foram as seguintes:

A Telha de aba e canudo (telha lusa), com dimensões de 452x271mm e uma massa aproximada de 3,750kg (figura 6.1). O seu processo de fabrico é realizado por via húmida e é composto por extrusão a uma pressão de 12,5 bar, posterior prensagem e cozedura onde a temperatura máxima foi de 1035°C.

O grés extrudido (figura 6.2), apresenta dimensões de 150x150mm e uma massa aproximada de 0,400kg. O processo de fabrico é efectuado a húmido com extrusão seguida de um corte através de prensagem para individualização das peças e cozedura à temperatura máxima de 1230°C. A sua classificação como ladrilho cerâmico em função da absorção de água e da conformação é Al_b.

O grés extrudido vidrado apresenta dimensões de 97x97mm e uma massa aproximada de 0,157 kg (figura 6.3). O processo de fabrico foi realizado por extrusão a uma pressão de 20 bar. Este produto apresenta-se superficialmente vidrado, obtido por monocozedura a uma temperatura máxima de 1220°C. Segundo a NP EN 1441 este é um produto do grupo Al_a.

Para uma melhor caracterização de cada produto, as matérias-primas que lhes deram origem foram também cedidas pelos fabricantes.



Figura 6.1 – Exemplo de telha (Cobert-Uralita).



Figura 6.2 – Exemplo de grés extrudido (CINCA).



Figura 6.3 – Exemplar de grés vidrado (*Aleluia*).

Por razões práticas, quando se refere ladrilhos deve-se associar aos dois tipos de grés.

6.2.1 Preparação da matéria-prima e produtos

- **Matéria-prima**

As matérias-primas que originaram os produtos foram submetidas a um conjunto de ensaios e análises para a sua caracterização. Para a sua realização, procedeu-se ao desterroamento manual de uma quantidade de material representativo com recurso a um almofariz e um pilão de borracha. O pó resultante, foi introduzido numa estufa a 110°C para a sua secagem e posteriormente submetido aos ensaios descritos em capítulos seguintes.

- **Produtos**

Os provetes dos dois tipos de revestimentos cerâmicos a utilizar nos ensaios, são constituídos pelos produtos com as dimensões com que são comercializados e aplicados na construção. No caso das telhas, devido a limitações respeitantes à capacidade da câmara de nevoeiro salino a utilizar e às quantidades exigidas nos ensaios tecnológicos para uma correcta representatividade, foi necessário reduzir a sua dimensão. Assim, foram cortadas amostras de 12 cm de comprimento no centro de cada telha (figura 6.4).

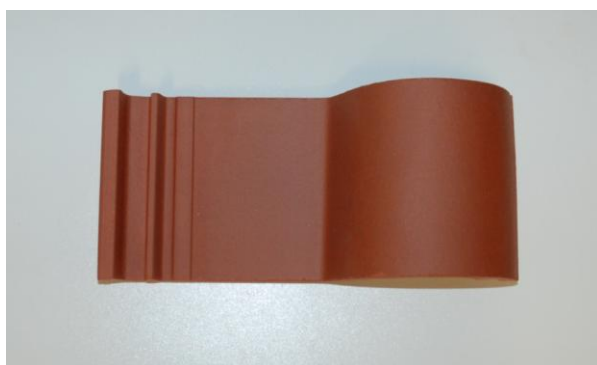


Figura 6.4 – Aspecto da telha após o corte.

6.3. Caracterização da matéria-prima

6.3.1. Características granulométricas

De acordo com Vieira *et al.* (2001), uma pasta cerâmica deve possuir características necessárias para possibilitar uma adequada trabalhabilidade durante o processamento e para a obtenção das propriedades finais pretendidas. Uma destas características é a variação granulométrica de onde podem ser explicadas certas propriedades da argila ou dos corpos fabricados com argila, como é o caso da viscosidade das suspensões, plasticidade das pastas, permeabilidade, resistência mecânica a verde seco e ainda a retracção dos corpos cerâmicos (Gomes, 2002). Estas, por sua vez, afectam a qualidade do produto final em termos da sua uniformidade e eficiência (Guiducci, 2009). Para Barba *et al.*, (2002), uma correcta distribuição da dimensão das partículas apresenta uma influência decisiva em todas as etapas, moldagem, secagem e nas propriedades do produto final (porosidade, tamanho do poro, resistência mecânica, textura, etc.). Este facto deve-se aos diferentes graus de acomodamento das partículas, notando-se menor compacidade quando existe uma fraca distribuição granulométrica (figura 6.5 a) e b)) e maior compacidade quando existe uma mistura de partículas com elevada amplitude de tamanhos (figura 6.5 c)).

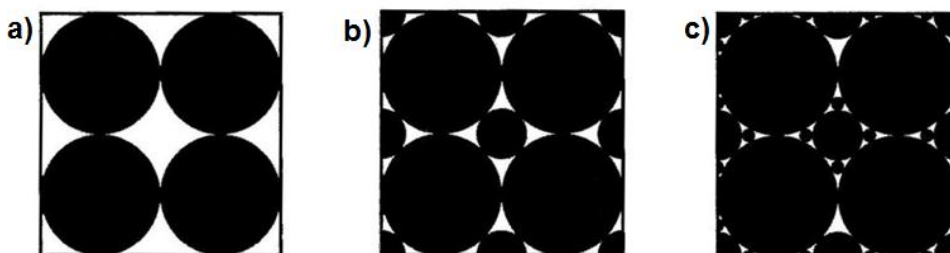


Figura 6.5 a) b) e c) – Acomodamento das partículas (Adaptado de Barba *et al.*, 2002).

Para avaliar a granulometria, é usualmente elaborada uma análise granulométrica que se representa por uma distribuição dimensional dos grãos que a compõem. A obtenção destes dados, pode ser obtida com o recurso a diversas técnicas, pouco ou muito sofisticadas, morosas ou rápidas (Gomes, 2002): peneiração, sedimentação livre com base na lei de Stokes, hidrociclonação, centrifugação e analisadores de partículas com fontes de raios X.

A análise por raios X constitui a técnica mais rápida, no entanto é apenas utilizada para populações de partículas com dimensões inferiores a 100 μ m, desta forma, esta técnica pode e deve ser complementada com uma outra, integrando-se os dois resultados obtidos. De acordo com Gomes (2002), poderá ser utilizada a peneiração para partículas com dimensões superiores a 63 μ m, sendo que a fracção inferior poderá ser analisada através do recurso a raios X. As suas especificidades podem ser consultadas na E 196 (1966).

Os valores de qualquer um destes métodos devem ser expressos num gráfico: percentagem retida (ou passada) – dimensão (figura 6.6). É também frequente, a sua apresentação através

do diagrama ternário de Winkler (1954), figura 6.7. Os vértices representam diferentes faixas granulométricas, argila, silte e areia com as dimensões respectivas de inferior a 2 µm; entre 2 e 20 µm e superior a 20 µm.

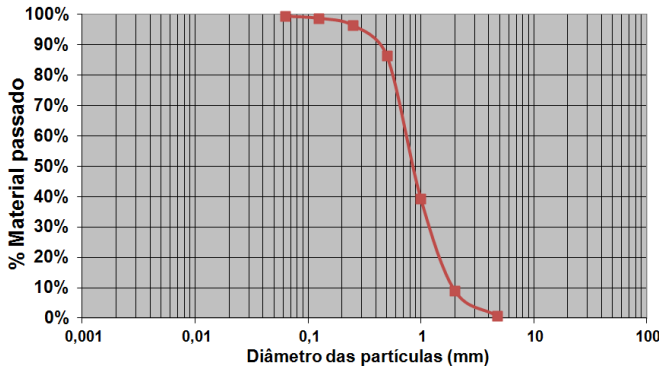


Figura 6.6 – Exemplo de curva granulométrica.

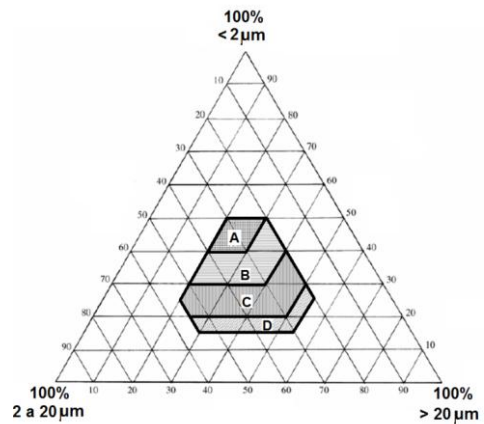


Figura 6.7 – Diagrama de Winkler (Pracidelli e Melchiades, 1997).

Este diagrama constitui uma importante ferramenta para processamento de cerâmica já que, de acordo com a granulometria das argilas, pode-se prever a sua recomendação para fabricação de determinados tipos de produtos ou na necessidade de mistura com outras matérias-primas (Vieira *et al.* 2005).

Apresenta ainda intervalos de composições granulométricas apropriadas para cada tipo de produto cerâmico a fabricar, que estão apresentadas na tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Composição granulométrica dos produtos cerâmicos (Pracidelli e Melchiades, 1997).

Tipos de Produtos	Comp. Granulométrica (%)		
	<2 µm	2 a 20 µm	>20 µm
A. Materiais de qualidade com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
B. Telhas e ladrilhos	30 a 40	20 a 50	20 a 40
C. Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
D. Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Outras classificações, como as apresentadas por Terzaghi & Peck (1973) estabelecem outras gamas de granulometrias sendo que o material com dimensão inferior a 2 µm é denominado de argila, entre 2 e 63 µm de silte e superior a 63 µm de areia.

Experimentalmente, a preparação das amostras tendo como objectivo a determinação das composições granulométricas dos produtos em estudo, iniciou-se o desterroamento do material, procedido de secagem. Submeteu-se o material a uma peneiração por via húmida em peneiros com dimensões de abertura entre os 0,425 mm e os 0,063 mm (figura 6.8). A distribuição granulométrica das partículas com dimensões inferiores a 0,063 mm foi estudada através de um analisador SEDIGRAPH.



Figura 6.8 – Peneiração por via húmida.

6.3.2. Consistência (Limites de Atterberg)

As características plásticas são um importante parâmetro na caracterização e avaliação da adequabilidade de uma argila para produção de um produto cerâmico. A plasticidade define-se como sendo a propriedade de um material que permite a sua deformação de forma contínua e permanente, sem ruptura, durante a aplicação de uma força (Krynine & Judd, 1972). Assim, uma pasta cerâmica deve possuir características plásticas para possibilitar uma adequada trabalhabilidade durante o seu processamento (Vieira *et al.* 2001).

Esta pode ser influenciada pela composição mineralógica constituinte da argila, pela fracção e tipos de minerais argilosos que a compõem e pela fracção e tipo de minerais não argilosos (Modesto & Bernardin, 2008). A plasticidade é também afectada pela presença de matéria orgânica (Ribeiro *et al.* 2004).

No entanto, é normal que mesmo a argila com melhores características plásticas não se encontre sempre neste estado de consistência. Esta depende em grande parte da humidade que o material apresenta (Costet & Sanglerat, 1975). Uma argila completamente saturada, comporta-se como um líquido, à medida que a sua humidade é reduzida, esta passa gradualmente do estado líquido para o estado plástico e finalmente para o estado sólido (Terzaghi & Peck, 1973). Estas são passagens bruscas e são normalmente conhecidas como os limites de liquidez e plasticidade, respectivamente. O valor situado entre estes limites é usualmente chamado de índice de plasticidade que representa a amplitude de teores de humidade onde as propriedades do material se mantêm plásticas.

O valor de humidade em que se passa de um estado para o outro, mais especificamente dos limites, é muito distinto para as diferentes pastas argilosas, desta forma pode ser utilizado para identificar e comparar argilas entre si (Terzaghi & Peck, 1973).

Ao longo do tempo, foram estudados e comparadas diversas misturas argilosas sob o ponto de vista da consistência, desta forma, tem sido possível prever os seus desempenhos nos processos de fabricação para produção de materiais cerâmicos, e não só, são também utilizados para avaliar o seu comportamento geotécnico.

Uma das ferramentas usadas e útil para prever o desempenho da pasta argilosa no processo de extrusão é o gráfico proposto por Casagrande (1948) e adaptado por Gippini (1969) (figura 6.9), este definiu os domínios ajustados à extrusão. As amostras que se situem na área A e B apresentam respectivamente características óptimas e adequadas de extrusão.

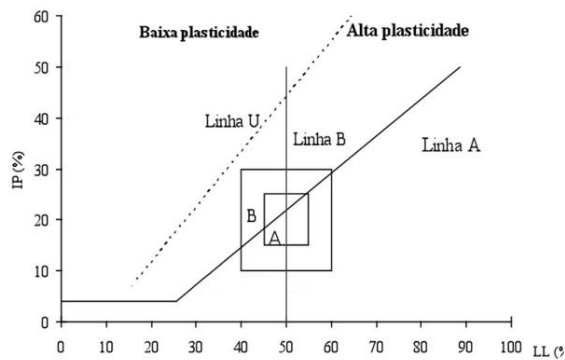


Figura 6.9 – Gráfico de Casagrande (1948) apud Gippini (1969).

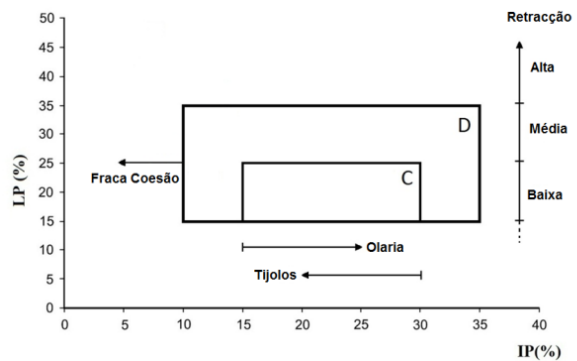


Figura 6.10 – Gráfico de plasticidades (Bain, 1970).

Um outro gráfico de plasticidades (figura 6.10) com intervalos de valores proposto por Bain (1970) poderá ser útil, constitui uma ajuda para a identificação e avaliação de minerais industriais. Este propõe dois intervalos em que a trabalhabilidade é ótima (C) e adequada (D), e ainda as localizações gerais onde cada argila se deve situar de acordo com o seu produto final.

O cálculo dos limites de consistência foi efectuado segundo a norma NP 143 (1969). O limite de liquidez (LL), foi calculado com o auxílio de uma concha de Casagrande (figura 6.11) onde se colocou uma camada nivelada da pasta em questão. Posteriormente foi realizado um sulco no centro com um riscador. O movimento elaborado pela concha força as paredes deste a contactarem, neste momento, o número de pancadas foi contado e retirada uma porção de amostra para cálculo do seu teor de humidade. Procedeu-se de igual forma para quatro amostras de cada material.



Figura 6.11 – Concha de Casagrande.

O limite de plasticidade (LP) foi calculado através da elaboração manual de filamentos cilíndricos com diâmetro de 3 mm e 100mm de comprimento.

6.4. Envelhecimento acelerado – Nevoeiro salino

6.4.1. Fundamentos

Este tipo de ensaio, tem como objectivo simular condições naturais de um ambiente litoral onde o principal factor de degradação dos materiais será a acção do nevoeiro salino. Os materiais em estudo são submetidos de uma forma intensa a diversos ciclos de humedecimento por nevoeiro salino obtido através de uma solução com NaCl e secagem. Para este efeito normalmente é utilizada uma câmara que permite obter um ambiente onde se controla o número de ciclos, qual o tempo de cada um destes, a intensidade do nevoeiro e a sua temperatura.

Para determinação da resistência de rochas ornamentais, é utilizada a norma NP EN 14147, para materiais metálicos a ISO 9227 e para revestimentos pintados a norma NP EN 11997-1. No entanto, para elementos cerâmicos estruturais existe uma ausência de qualquer especificação.

O ensaio descrito na norma NP EN 14147 consiste na colocação numa câmara dos provetes e submetidos a nebulização com uma solução salina de 1 parte de NaCl para 9 partes de água destilada durante 4 horas. De seguida, secos a uma temperatura de 35 ± 5 °C durante 8 horas. Este ciclo é repetido até perfazer 60 repetições, sendo que a cada 15 ciclos as amostras são retiradas da câmara para inspecção visual e para que todo o sal seja removido.

A remoção do sal é realizada através da imersão dos provetes em água desionizada com um volume entre duas a três vezes o volume total dos provetes. A água deverá ser diariamente

substituída até que a remoção do sal esteja completa. Isto ocorre quando a condutividade da água onde se encontram mergulhados não exceda em duas vezes o valor característico da água original.

Após isto, os provetes devem ser secos até massa constante, pesados e inspeccionados visualmente.

Através da avaliação da perda de massa e da observação de sinais de degradação pode-se prever o desempenho em obra. Apesar de se tratar de um ensaio que simula um ambiente natural, este é obviamente acelerado, havendo dificuldade em corresponder o tempo de permanência na câmara ao tempo de exposição numa situação real.

Este ensaio é importante também, pois permite estabelecer comparações entre as durabilidades de diversos tipos de material. Com uma análise cuidada e também por comparação, permite compreender quais as variáveis dentro de cada material que são prejudiciais ou benéficas para a sua resistência ao nevoeiro salino, permitindo por exemplo, otimizar o processo de fabrico de um produto tendo em consideração a sua aplicação em ambiente litoral.

6.4.2. Metodologia

Na ausência de uma Norma Europeia para a aplicação deste ensaio em materiais cerâmicos, adoptou-se a NP EN 14147 que especifica um método para avaliação da resistência das pedras naturais ao envelhecimento por acção do nevoeiro salino.

Utilizaram-se 20 telhas e 32 ladrilhos de cada tipo, num total de 84 amostras. Para obter resultados intermédios e elaborar uma monitorização do estado de degradação das amostras, estas foram sendo retiradas da câmara a cada 20 ciclos, 5 telhas e 8 ladrilhos, não voltando novamente à câmara de nevoeiro salino pois foram submetidos a ensaios de carácter destrutivo.

Existem duas variáveis a ter em conta, o tipo de produto e a correspondente fase, as referências atribuídas aos diferentes tipos de amostras são as seguintes:

Tabela 6.2 – Produtos e fases de ensaio.

	Telha	Grés extrudido	Grés vidrado
Material são, Fase 0 (F0)	T0 (5 unidades)	L0 (8 unidades)	V0 (8 unidades)
Fase 1 (F1 - 20 ciclos)	T1 (5 unidades)	L1 (8 unidades)	V1 (8 unidades)
Fase 2 (F2 - 20 ciclos)	T2 (5 unidades)	L2 (8 unidades)	V2 (8 unidades)
Fase 3 (F3 - 20 ciclos)	T3 (5 unidades)	L3 (8 unidades)	V3 (8 unidades)
Total	20 unidades	32 unidades	32 unidades

Elaboraram-se 3 fases, em cada uma destas, os provetes foram colocados na câmara e submetidos repetidamente a 20 ciclos sendo cada ciclo de 24 horas composto por 8 horas de

nebulização com uma solução salina e de seguida submetidos a uma atmosfera sem nebulização a uma temperatura de 40°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) durante 16 horas. A solução de cloreto de sódio foi preparada por dissolução de 1 parte de NaCl para 10 partes de água destilada com uma condutividade de 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A sequência de trabalhos foi a seguinte:

Fase 0

- Realização dos ensaios de caracterização, nas amostras sãs.

Fase 1, 2 e 3, cada uma com:

- 10 ciclos de 24 horas (8 nebulização e 16 de secagem a 40°C);
- Secagem em estufa a 110°C durante 24 horas;
- Pesagem;
- Imersão durante 9 dias em água destilada;
- Secagem em estufa a 110°C durante 24 horas;
- Pesagem;
- 10 ciclos de 24 horas (8 nebulização e 16 de secagem a 40°C);
- Secagem em estufa a 110°C durante 24 horas;
- Pesagem;
- Imersão durante 9 dias em água destilada;
- Secagem em estufa a 110°C durante 24 horas;
- Pesagem;
- Elaboração dos ensaios apresentados no capítulo seguinte.

Devido à reduzida capacidade da câmara de nevoeiro salino, o material foi dividido em 2 grupos: as 15 unidades de telhas e os 48 ladrilhos separadamente. Estes foram alternadamente submetidos aos ciclos. Assim, enquanto o grupo das telhas estava sob a acção do nevoeiro salino, os ladrilhos eram pesados e dessalinizados por imersão. Quando as telhas terminavam os seus respectivos 10 ciclos em câmara, os ladrilhos eram então introduzidos na câmara e as telhas submetidas a pesagens e imersão.

Em relação à norma anteriormente citada, alteraram-se os tempos de nebulização, secagem, o número de ciclos e a temperatura de secagem tendo como base um ensaio preliminar expedito, a experiência de autores como Galhano & Simão (2010) e Cruz (2010) que submeteram recentemente materiais cerâmicos a ensaios de alteração acelerada por acção do nevoeiro salino.

Relativamente à alteração dos tempos de nebulização e secagem, Cruz (2010) após a elaboração de diversos ensaios preliminares onde varia estes tempos afirma que este ensaio com ciclos de 24 horas parece mais adequado para avaliar a durabilidade de telhas cerâmicas quando expostas em ambiente marítimo.

O aumento na temperatura de secagem para 40°C é justificável, uma vez que esta temperatura é usual nos meses de verão em climas como o de Portugal. Mais, o contacto directo entre a radiação solar e as peças cerâmicas aplicadas, leva a que estas atinjam valores de temperatura superiores a 40°C.

Estas duas alterações podem também ser justificadas pelo tipo de equipamento utilizado, a câmara, após os ciclos de nebulização não possui nenhuma função que permita a diminuição da percentagem de humidade presente no seu interior. Este facto poderá alterar as condições de simulação ideais, criando uma atmosfera de elevada humidade permanente. O aumento de tempo de secagem na câmara e o aumento da sua temperatura pretendeu também a diminuição da referida humidade. No entanto, por falta de equipamento apropriado, não é possível comprovar com dados esta afirmação.

O número de ciclos foi ligeiramente reduzido para não prolongar muito a duração do tempo de ensaio. As amostras foram assim submetidas na totalidade a 480 horas de nebulização e 960 horas de secagem.

6.5. Caracterizações e ensaios aos produtos

6.5.1. Análise macroscópica e à lupa binocular

A descrição macroscópica é a primeira análise a realizar na caracterização de um material cerâmico. Os parâmetros texturais, mineralógicos, de cor, defeitos iniciais (fracturas, perda de material, presença de oxidação) devem ser registados e avaliados novamente após ensaios de alteração.

A descrição deverá ser registada e documentada através de fotografias macroscópicas e à lupa binocular.

Assim, a análise macroscópica dos produtos foi efectuada com os produtos no seu estado inicial, tendo os aspectos texturais e principais características sido registadas fotograficamente. Ao longo dos ciclos de acção do nevoeiro salino, quando as amostras eram retiradas da câmara, procedia-se a uma observação expedita antes e após a lavagem. Foram registadas e fotografadas as alterações observadas.

A observação a uma menor escala foi efectuada com recurso a lupa binocular *Olympus* com ampliação máxima de 40x e a uma câmara fotográfica *Olympus SP500UZ* (figura 6.12). Inicialmente, com as peças no estado são, foram registados através de fotografia, alguns pontos da superfície dos produtos. Pretendeu-se avaliar a degradação das peças nestes

pontos ao longo dos ciclos de nevoeiro salino. As mesmas zonas foram fotografadas no final de cada fase. Este facto permitiu registar a evolução das alterações físicas que foram ocorrendo nas peças.



Figura 6.12 – Observação à lupa binocular.

6.5.2. Análise da tonalidade

O aspecto estético, onde se pode incluir a tonalidade ou cor, será por ventura o primeiro critério de selecção dos mais variados materiais aplicados na construção.

Por outro lado, a variação de tonalidade é hoje em dia um dos maiores problemas que os fabricantes de revestimentos cerâmicos enfrentam (Pessler, 1999). Devido à ampliada gama de factores que podem influenciar a tonalidade final de um cerâmico são necessárias medidas para uma minimização destas variações, que obviamente estão reflectidos no preço dos produtos. A cor depende fundamentalmente da presença de minerais de ferro, contudo, é também condicionada pela existência de outros elementos cromóforos, como o titânio, as condições de cozedura (ciclo e atmosfera do forno) assim como as fases que se geram (vítreas ou cristalinas) e a presença de compostos solúveis (Barba, *et al.* 2002).

Quando existem obras de manutenção, a substituição das peças danificadas ou em falta, constituem um grave problema para a homogeneidade de toda a obra. Os factores ambientais, introduziram uma mudança de tonalidade ou de cor, difícil de obter em fábrica e até mesmo de caracterizar.

Como se sabe, existem vários aspectos que influenciam a visualização das cores, a fonte de luz, o objecto e o observador (Melchiades & Boschi, 1999). Assim, cada indivíduo tem uma percepção própria da cor. Desta forma, a avaliação deste parâmetro pode torna-se algo subjectivo.

Para quantificar uma cor, pode-se recorrer a diversos equipamentos cujo principal objectivo é descrever, quantitativamente a tonalidade de uma imagem. A cor é representada através de números, que traduzem as características morfológicas, estruturais e estatísticas das imagens, que pode ser analisado sob a forma de tabelas e gráficos (Bessa-Torcatto *et al.* 2007).

Métodos simples e económicos são a utilização de *scanners* ou de uma máquina fotográfica digital para obtenção da imagem da peça e sua posterior análise com *software* apropriado. Quando se opta pela obtenção de imagem por fotografia, torna-se bastante complicado assegurar a constância de todos os parâmetros que influenciam a obtenção de imagem, nomeadamente, ângulo de incidência de luz, intensidade da luz, luminosidade natural do meio, variação do equipamento de obtenção de imagem, etc.

Desta forma, parece mais sensato a utilização de um *scanner* onde as variáveis em questão são menores e mais controláveis. Este método, tem sido utilizado por vários autores para a avaliação de cor em granitos (Bessa-Torcatto *et al.* 2008), mármore (Gokay & Gundogdu, 2007) e betão (Annerel & Taerwe, 2011).

No que se refere à aquisição de imagem com *scanner*, diversos cuidados devem ser adoptados; como anular toda a luminosidade exterior ao aparelho para que não ocorram interferências, utilizar uma resolução óptica de captura de imagem entre os 600 e os 1200dpi e o armazenamento realizado no formato BMP (Motoki *et al.* 2006).

Uma imagem digital é constituída por um conjunto de *pixels*. Associado a cada pixel está um número, que é o valor do seu brilho (Moon *et al.* 2006). Este varia entre 0 (preto) e 255 (branco). A avaliação da cor, pode ser efectuada através de um *software* que fornece histogramas que representam a distribuição do brilho numa imagem através das suas cores aditivas, RGB (figura 6.13). No seu eixo horizontal variam os valores do brilho (entre 0 e 255), no eixo vertical é indicado o número de pixels em cada nível de brilho.

Os picos no gráfico estão mais próximos do 0, quanto mais escuros forem os componentes da imagem e mais próximos do 255, quanto mais claros forem os componentes da imagem.

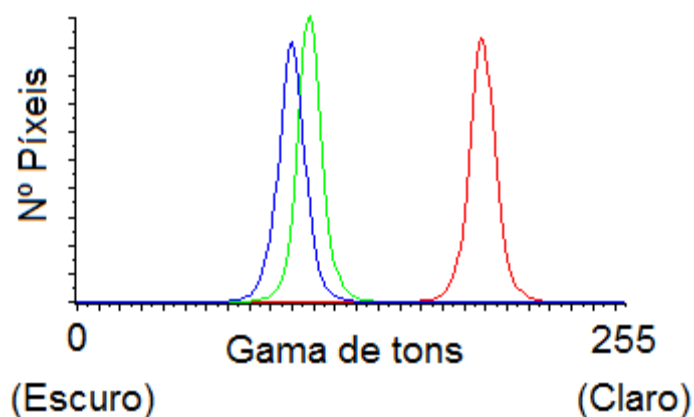


Figura 6.13 – Exemplo de histograma RGB.

Desta forma, procedeu-se à avaliação da tonalidade numa área de 20,25 cm² de cada peça. Nos revestimentos a sua introdução no *scanner* foi efectuada normalmente, mas nas telhas teve de ser efectuada um corte do canudo da telha para obtenção de uma superfície lisa possibilitando assim o seu completo contacto com a superfície do *scanner HP*. Estas medições foram obtidas numa sala escura, para que nenhuma fonte de luz externa influenciasse os resultados. Os parâmetros referentes à digitalização foram assim constantes ao longo de todo o trabalho. Para a digitalização utilizou-se uma resolução de 2000 dpi e as imagens foram guardadas no formato .bmp.

Foram utilizadas duas amostras de cada material em cada uma das quatro fases e realizada uma média.

6.5.3. Absorção de água, porosidade aparente e permeabilidade

A água tem um papel muito importante na deterioração dos materiais através de diversos mecanismos como a erosão, dissolução, reacções químicas, etc.

A quantidade de água absorvida pode aumentar exponencialmente a massa das peças cerâmicas. Este facto acarreta problemas como o de sobrecarga na estrutura de um telhado que foi apenas dimensionado para suportar a massa das telhas secas.

Como regra geral, fracas características impermeáveis favorecem, não só a sua própria degradação química e física, bem como a de todos os outros materiais que se encontram a montante.

A elevada permeabilidade afecta a eficácia de elementos utilizados na fixação de pavimentos ou revestimentos, favorece a presença da indesejável humidade no interior dos edifícios. É também óbvia a necessidade das telhas apresentarem a menor permeabilidade possível. Assim, torna-se imprescindível determinar as propriedades que estão directamente ligadas à circulação e penetração de água nos materiais.

O procedimento para a determinação de alguns destes parâmetros, nomeadamente a absorção de água e a porosidade aparente é descrito pela norma NP EN 10545-3 para pavimentos e revestimentos cerâmicos.

A porosidade aparente diz respeito ao volume de poros em contacto com o exterior está também associada à superfície específica do material. Quanto maior for a porosidade aberta, maior será a superfície específica e melhor serão as condições de fixação por colagem de um ladrilho. No entanto, poderá também ser favorável á colonização biológica e pode indicar elevados valores de permeabilidade.

Este tipo de parâmetros vão também ditar, ainda que indirectamente, a resistência à degradação da peça cerâmica. Podem, por exemplo, potenciar a penetração de sais para o seu interior, com todas as suas consequências.

Outra relação com estes factores pode ser elaborada, com o aumento da porosidade menor será a resistência mecânica para um mesmo tipo de matriz e mesma solicitação.

Ainda de uma forma indirecta, através da determinação da porosidade e da absorção de água, avaliar a perda de material e a degradação de um material. Sendo para isto, necessária a comparação dos dados destes ensaios em provetes sãos e submetidos a uma acção de envelhecimento em laboratório.

Uma outra característica de possível quantificação é a permeabilidade, que se revela importante para:

- Prever a vulnerabilidade à degradação relacionada com a água de revestimentos.
- Fornecer informações úteis quanto ao estado de materiais que já sofreram processos de alteração.
- Por comparação, entre materiais sãos e materiais expostos aos agentes atmosféricos é possível quantificar o grau de alteração.
- Avaliar quantitativamente o desempenho de produtos repelentes, por comparação.

Um dos métodos que permite estudar a permeabilidade à água dos revestimentos é o método do “cachimbo”. Este tipo de ensaio é bastante versátil, simples e de baixo custo, não apresenta um carácter destrutivo. Em Portugal, este ensaio não está normalizado, assim, utilizou-se documento da RILEM (2006), elaborado para este fim.

Pode ser utilizado em diversos tipos de materiais necessita de uma pequena área da fachada ou da peça a estudar. A sua aplicação torna-se adequada a diversas situações e tipos de materiais sendo frequente o seu uso *in-situ*.

Este ensaio consiste na fixação de um “cachimbo” graduado (figura 6.14) numa superfície vertical ou horizontal do material a estudar. A coluna de água presente no cachimbo é de 5 ml e corresponde aos impactos da chuva quando transportada por ventos de 97 km/h (60mph).

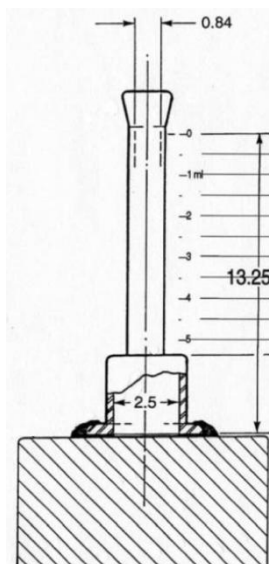


Figura 6.14 – Esquema de cachimbo para aplicação horizontal (RILEM, 2006).

O documento da RILEM sugere leituras do nível da água após 5, 10, 15, 30 e posteriormente em intervalos de 60 minutos, no entanto, refere que em alguns casos estes intervalos poderão não ser os mais apropriados, pois a progressão do nível de água depende muito de situação para situação.

Outro ensaio, mais específico e complexo para avaliar a permeabilidade dos materiais, é o ensaio descrito da norma NP EN 539-1:2007, é usualmente utilizado para telhas antes do seu uso em obra. Devido à sua aplicação exclusiva a telhas não se optou pela utilização deste método.

Os ensaios para a obtenção dos parâmetros da absorção de água, porosidade aberta, foram realizados nos três tipos de produtos segundo a norma NP EN ISO 10545-3 pelo método da ebulição. Os produtos foram pesados a seco, após a sua completa saturação numa pesagem hidrostática e num estado saturado.



Figura 6.15 – Autoclave para ebulição das amostras.

No caso das telhas, foram utilizados cinco peças de cada uma das quatro fases. Para a obtenção destes valores para os dois tipos de ladrilhos, foram utilizadas oito peças de cada uma das quatro fases.

Relativamente à avaliação das características permeáveis dos três produtos utilizou-se o, já referido, método do cachimbo segundo o documento RILEM (2006). A aplicação dos cachimbos foi elaborada numa superfície onde as peças repousavam horizontalmente. Elaboraram-se 3 ensaios em cada tipo de produto e em cada uma das fases de degradação. No que respeita aos intervalos de leitura, como prevê o documento da RILEM, estes foram ligeiramente alterados, adequando-se aos três tipos de peças diferentes. Devido a uma elevada duração de algumas destas medições, foi necessária a elaboração de ensaios padrão numa placa acrílica impermeável paralelamente a cada ensaio (figura 6.16), com o intuito de registar as perdas por evaporação.

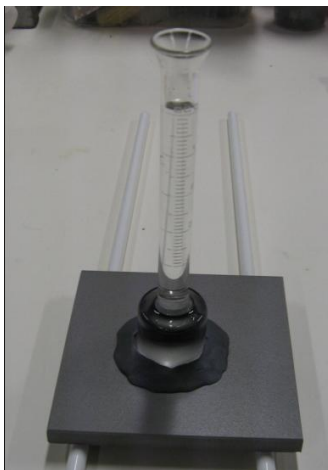


Figura 6.16 – Ensaio do cachimbo em grés vidrado.

6.5.4. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade

O módulo de ruptura indica a capacidade dos cerâmicos em suportar esforços exercidos por cargas. No caso das telhas é de extrema importância, pois durante o seu período de vida podem ser submetidas a diversos tipos de cargas. Sobre elas pode ser necessário o deslocamento de pessoas para a execução de eventuais trabalhos de reparação ou manutenção, em zonas de climas frios, o peso da neve acumulada pode também exercer grandes cargas, ou até mesmo a acção do vento.

Os pavimentos cerâmicos têm de suportar cargas exercidas por pessoas, o apoio pontual de qualquer objecto de maior massa, veículos, etc. Os revestimentos podem ser considerados como os que menos cargas sofrem devido à sua posição vertical, de qualquer das formas, é frequente a presença de mosaicos cerâmicos fracturados por impactos acidentais em níveis próximos do chão. Hoje em dia, embora com pouca frequência, já se aplicam cerâmicos de revestimento através de métodos indirectos, onde as placas estão apenas suspensas por apoios pontuais. Nestes casos a resistência à flexão torna-se realmente importante, devido aos esforços de flexão, quer do peso próprio dos materiais, quer por acção do vento.

Para determinar e avaliar este tipo de resistência, utilizam-se as normas NP EN 538 e NP EN 10545-4 para o caso de telhas cerâmicas de colocação descontínua e para o caso de pavimentos e revestimentos cerâmicos, respectivamente.

Ambas as normas citadas pretendem avaliar a aptidão do produto para resistir a uma carga centrada aplicada a velocidade definida, quando solicitada à flexão sobre dois apoios simples (figura 6.17). No entanto, a diferença essencial entre estas duas normas, está relacionada com a diferente geometria dos produtos.

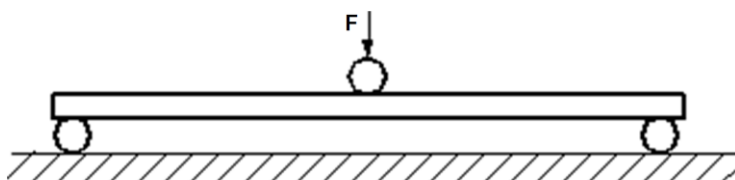


Figura 6.17 – Esquema de ensaio à flexão.

Apesar de não constar destas normas, para o correcto dimensionamento e adequada selecção de materiais de toda a estrutura de revestimento, é conveniente determinar-se o módulo de elasticidade dos revestimentos cerâmicos (Lucas, 2003). A fissuração dos revestimentos pode ser frequentemente consequência dos movimentos do suporte caso estes não apresentem uma compatibilidade mecânica, relacionada com o módulo de elasticidade (Martins & Silva, 2004). Lucas & Abreu (2006), afirmam que do ponto de vista da resistência ao descolamento dos revestimentos cerâmicos, uma das características essenciais e que deve ser conhecida é o seu módulo de elasticidade.

Este poderá ser obtido através do ensaio de flexão acima descrito, registando as deformações do provete ao longo da aplicação da carga até à ruptura.

Deste procedimento, resulta um gráfico força/deslocamento que através do conhecimento da área é convertido para um gráfico tensão/deslocamento (figura 6.18).

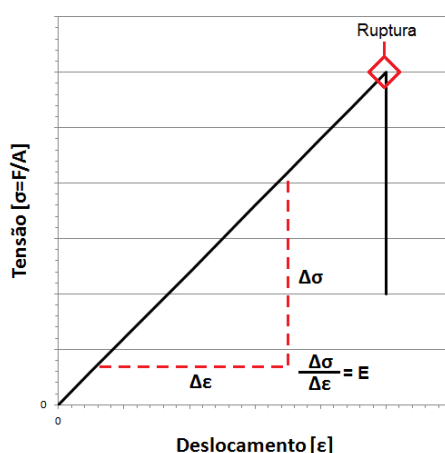


Figura 6.18 – Gráfico tensão/deslocamento de um material com comportamento elástico.

Sabe-se que os materiais cerâmicos usados na construção manifestam uma deformação puramente elástica, uma fractura frágil. Por esta razão, o módulo de elasticidade pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Onde E é o módulo de elasticidade em Pascal, $\Delta\sigma$ é variação da tensão em N/mm e $\Delta\varepsilon$ é a variação de deslocamento onde é aplicada a carga em milímetros.

O módulo de ruptura para o caso das telhas, foi obtido segundo a NP EN 10545-4, devido ao corte prévio que as telhas sofreram. Foi ainda necessário destacar previamente a secção lisa das telhas (aba). Utilizaram-se cinco peças para cada uma das quatro fases. O equipamento utilizado é da marca *Ceramic Instruments*.

Quanto aos ladrilhos, pretendeu-se a obtenção da curva tensão/deformação para o cálculo do módulo de elasticidade, que o equipamento utilizado para as telhas não permite. Assim optou-se pela utilização do equipamento Zwick Z050. Este obrigou à elaboração de um corte nos ladrilhos para que a base das amostras a ensaiar fosse de 4 cm. Ainda que as dimensões não tivessem sido respeitadas, o restante procedimento seguiu a NP EN ISO 10545-4. Neste caso, utilizaram-se oito peças para cada uma das quatro fases.

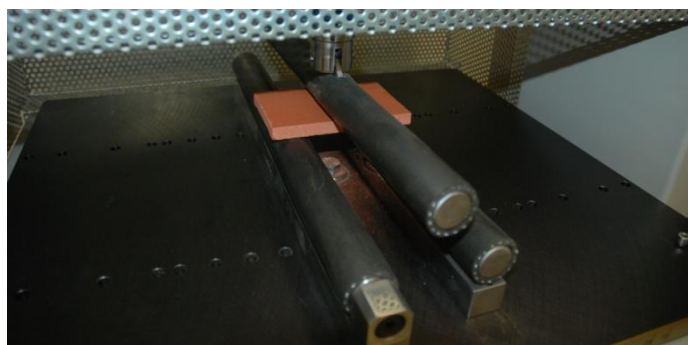


Figura 6.19 – Ensaio à flexão.

6.5.5. Dilatação Linear de Origem Térmica

A generalidade dos materiais sólidos expande com o aumento de temperatura. Esta expansão está relacionada com o grau de agitação dos átomos que compõem o material (ASM, 2002). Para os diversos materiais de construção, existe uma relação linear entre a variação dimensional sofrida e a variação de temperatura que o provocou. O coeficiente de dilatação térmica (α) relaciona estes dois parâmetros. Quando dois ou mais tipos de materiais se apresentam fixos, como o caso dos revestimentos e pavimentos cerâmicos colados, no conjunto, podem existir diferentes coeficientes de dilatação térmica. Os cerâmicos apresentam um valor de coeficiente de dilatação 50% menor que os materiais cimentícios que lhe estão

subjacentes, tendo cada um a sua dilatação restringida, o que poderá ocasionar tensões no sistema (Lucas & Abreu, 2006).

Para estes autores, quando ocorre uma diminuição gradual da temperatura, fruto das variações sazonais, o material cerâmico contrairá menos que os elementos subjacentes, ocasionando frequentemente empolamentos e descolamentos. Por outro lado, caso exista um arrefecimento brusco, podem ocorrer rupturas, resultado da libertação rápida de energia acumulada.

Adicionalmente, o coeficiente de dilatação linear de origem térmica é um importante parâmetro a ter em conta no dimensionamento do revestimento, em particular dos elementos de fixação e de juntas (APICER, 2003). Para que este dimensionamento seja possível, é ainda necessário o conhecimento do valor da temperatura da superfície exterior dos ladrilhos após a sua aplicação. Esta está dependente de outros parâmetros e pode ser calculado com a seguinte expressão (APICER, 2003):

$$t_{se} = t_e + \frac{\alpha_s \cdot R}{h_e}$$

Onde t_{se} representa a temperatura da superfície exterior em °C, t_e a temperatura ambiente exterior em °C, α_s o coeficiente de absorção da radiação solar, R a radiação solar global em W/m^2 e h_e a condutância térmica superficial exterior em $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

A metodologia seguida para a obtenção do coeficiente de dilatação linear de origem térmica, seguiu a norma NP EN 10545-8. Em laboratório procedeu-se à redução da dimensão das amostras através do corte dos produtos com uma serra de disco diamantado, obtendo-se uma fracção do material situado no centro da peça (figura 6.20).

Após a obtenção das amostras com as dimensões requeridas, estas foram introduzidas num dilatómetro Adamel, modelo D.I.24. O aumento de temperatura deu-se a um ritmo de 5°C por minuto até à temperatura máxima de 100°C.

Apenas se considerou para este ensaio, o estado inicial (fase 0) e o estado final (fase 3). Tendo-se utilizado 2 amostras de cada tipo de produto.

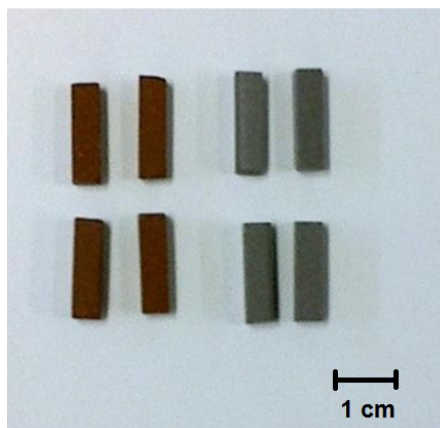


Figura 6.20 – Amostras para a obtenção do coeficiente de dilatação linear.

6.5.6. Análise mineralógica

6.5.6.1. Técnicas e suas aplicações em produtos cerâmicos

- **Microscópio petrográfico**

A microscopia petrográfica, tem sido amplamente utilizada para a caracterização de rochas e betões. Para o seu uso nestes materiais existem normas com as metodologias e procedimentos a seguir, ASTM C1721-09 e ASTM C-856-11, respectivamente.

Contudo, a microscopia petrográfica pode também representar uma ferramenta útil na observação de outros geomateriais (Ingham, 2010), nomeadamente, os cerâmicos. Pode ser empregue para investigar a composição e condição dos materiais cerâmicos, podendo ser complementada por outras técnicas como difracção de raio X ou microscopia electrónica de varrimento (Pavía & Caro, (2007) e Kopar & Ducman, (2005)).

Este método, tem sido amplamente utilizado na caracterização de peças resultantes de achados arqueológicos. Neste âmbito, é bastante relevante, por exemplo, para o conhecimento da proveniência da matéria-prima, como para o conhecimento dos processos e metodologias que lhe deram origem (Fitzpatrick *et al.* 2008).

A microscopia petrográfica pode ainda fornecer informações úteis na identificação de causas que deram origem a defeitos como a perda de adesão ou a fracturação devido ao uso de materiais de colagem não apropriados, através da observação do material de colagem e preenchimento de juntas e pela avaliação da morfologia das fracturas (Ingham, 2010).

Assim, permite genericamente:

- Identificação dos minerais presentes no material em estudo;
- Quantificação expedita das suas percentagens;
- Quantificação expedita da porosidade;

- Identificar orientações preferenciais dos minerais;
- Avaliar o estado de alteração química e física dos minerais;
- Identificar a presença de fracturas;
- Avaliar as dimensões dos grãos;
- Distinguir a fase amorfa da fase cristalina.

No âmbito desta dissertação, pretende-se uma identificação preliminar dos minerais principais presentes nos produtos, bem como na possível presença de fracções vítreas, não quantificadas por difracção de raio X. Pretende também identificar a principal dimensão dos grãos de cada amostra.

Este método pressupõe a utilização dois elementos essenciais: uma lâmina delgada do material a estudar e um microscópio petrográfico.

Para a elaboração das lâminas delgadas, é necessária a utilização de parte do material em estudo. Este é usualmente obtido por corte com dimensões que não excedam as dimensões da lâmina a utilizar. Este deverá apresentar a mais reduzida espessura possível, para facilitar os processos que se seguem.

Sucedese a colagem desta “talisca” de material à lâmina propriamente dita. Existem no mercado diversos tipos de cola, sendo as mais usuais as colas de dois componentes como a resina epóxi.

O conjunto resultante desta colagem, deve ser submetido a um processo de desbaste seguido de polimento, até que a espessura do material a estudar se apresente tão reduzida que permita a passagem de luz.

Após a conclusão deste processo, a lâmina poderá ser introduzida no microscópio petrográfico e alvo de observações e diversos estudos.

Poderia também proceder-se à elaboração de lâminas dos produtos no seu estado inicial, tendo como finalidade a sua introdução na câmara de nevoeiro salino, paralelamente às amostras. Seria realizada uma monitorização precisa da alteração dos minerais ao longo dos ciclos.

- **Difracção de raio X**

Como já foi possível constatar, em capítulos anteriores, um dos principais factores que contribuem para as características finais dos produtos cerâmicos, são os parâmetros de cozedura. Como já foi igualmente possível verificar, a composição mineralógica destas peças varia durante o processo de cozedura.

Assim, as principais características que ditam o desempenho de uma peça em utilização, são influenciadas pela variação da composição mineralógica ocorrida durante o processo de

cozedura. Estas alterações mineralógicas podem ser monitorizadas pela difracção de raio X (Grattan-Bellew & Litvan, 1978).

Alguns estudos têm sido realizados neste contexto. Na tentativa de descobrir temperaturas de cozedura e a proveniência da matéria-prima de achados arqueológicos cerâmicos, têm-se empregue o método de difracção de raio X para obtenção da composição mineralógica, à semelhança do que tem ocorrido na microscopia petrográfica, por exemplo, Bellavia (2006) e Ionescu *et al.* (2007).

A difracção de raio X, em conjunto com outros métodos permite perceber as alterações ocorridas nos minerais de acordo com diversas temperaturas, possibilitando assim a optimização dos processos de cozedura. As diversas fases da composição mineralógica de determinada mistura argilosa podem ser interpretadas e escolhidas de acordo com as características físicas, químicas e mecânicas do produto final pretendido.

Após este estudo inicial, na indústria torna-se impraticável o uso da difracção de raio x para fins de controlo de qualidade, contudo, este método pode ser usado na ajuda da resolução de problemas presentes nos produtos e processos de fabrico bem como em investigação (Grattan-Bellew & Litvan, 1978).

A caracterização mineralógica do produto final é um aspecto importante no auxílio do conhecimento nas características de durabilidade. Conhecendo as diferentes tendências dos minerais à alteração química, é possível prever a maior ou menor susceptibilidade à degradação do produto onde estão incluídos.

Por outro lado, em laboratório com o recurso a ensaios de envelhecimento acelerado, é também possível identificar eventuais transformações mineralógicas ocorridas, que podem ser as principais intervenientes na mudança de características mecânicas do produto.

O equipamento consiste sucintamente num emissor de raio-X, uma câmara onde é colocada a amostra e um detector que recebe os raios difractados. A técnica de ensaio baseia-se em fazer incidir um feixe de raio-X (com comprimento de onda conhecido) sobre a amostra. Quanto este atinge os minerais, difracta e provoca reflexões com os seus ângulos característicos, obtendo-se um difractograma (Alberts *et al.* 2002), (fig. 6.21).

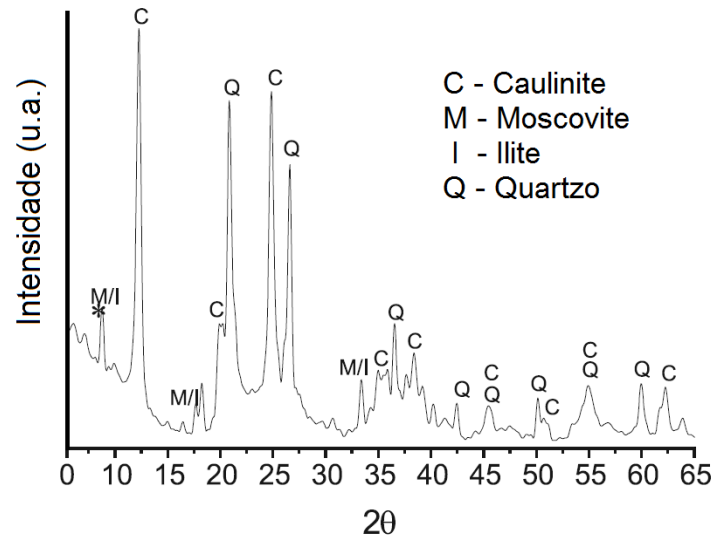


Figura 6.21 – Exemplo de difractograma (Adaptado de Vieira *et al.* 2003).

6.5.6.2. Procedimento

- **Microscópio petrográfico**

Foram elaboradas lâminas delgadas dos três tipos de produtos estudados no seu estado inicial. As frações dos produtos a estudar foram individualizadas por corte e posteriormente colados nas lâminas com uma cola de dois componentes. Após a sua secagem, procedeu-se ao desbaste do excesso de material até uma espessura que permita a sua visualização no microscópio.

As amostras foram introduzidas no microscópio petrográfico de marca Nikon e procedeu-se à sua análise (figura 6.22). Paralelamente, com uma máquina fotográfica digital de marca *Olympus*, foram tiradas fotografias a aspectos que se revelaram representantes da amostra total.



Figura 6.22 – Observação ao microscópio petrográfico.

- **Difracção de raios X**

As amostras utilizadas na elaboração do ensaio para obtenção dos difractogramas, para uma melhor representatividade dos minerais, são usualmente compostas pelo pó da amostra prensado. Devido a inexistência de equipamento adequado que permita executar tais “pastilhas” do material, utilizaram-se amostras de pequenas dimensões individualizadas por corte dos produtos. Caracterizaram-se mineralogicamente as amostras correspondentes aos três produtos no seu estado inicial (fase 0) e no seu estado final (fase 3).

A análise por difracção de raio X das amostras foi efectuada com um conjunto de equipamentos da marca Philips, formado por um gerador PW 1130/90, goniómetro PW 1050/70, microprocessador PW 1710 e registador PM 8203 A. Foi utilizada radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$) filtrada. As condições operacionais foram as seguintes: 20 mA, 30 KV, sensibilidade de 2×10^3 , velocidade de rotação do goniómetro de $1^\circ/\text{min}$, velocidade de deslocamento do papel de registo de $1 \text{ cm}/\text{min}$.

Os difractogramas das amostras foram obtidos através de um aparelho Philips X’Pert constituído por um gerador MPPC, um goniómetro PW 3050 e um microprocessador PW 3040/60 com registo numa impressora. Foi utilizada radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$), condições operacionais de 50 kV, 30 mA, scan contínuo, fenda de 1° , um step size de $0.02^\circ 2\theta$ e scan step time de 1.05 s.

Para identificar os minerais presentes e para os semi-quantificar, os difractogramas foram interpretados manualmente. Nesta elaboração, pretendeu-se complementar a caracterização dos produtos em estudo obtida por outros métodos, nomeadamente a microscopia petrográfica.

7. Resultados e discussão

7.1. Matéria-prima

7.1.1. Análise granulométrica

Os resultados das análises granulométricas efectuadas à matéria-prima que deu origem aos produtos em estudo são apresentados na figura 7.1. Nestas curvas granulométricas é possível identificar que a dimensão média das partículas presentes na matéria-prima das telhas é superior à dimensão média das partículas presentes na matéria-prima do grés extrudido.

A curva correspondente ao grés extrudido revela também uma maior suavidade na sua inclinação (dentro da gama de granulometrias analisadas) indicando uma maior amplitude de tamanhos e em percentagens equivalentes. No caso da curva correspondente às telhas, devido à sua maior inclinação, existe uma maior uniformidade da granulometria. Em especial na fracção entre as dimensões de 0.03 mm e 0.002 mm, é entre estas dimensões que se encontram mais de 50% do material. Foi também identificado nas telhas, uma percentagem (cerca de 3%) relativa a partículas com dimensões superiores a 0,5 mm.

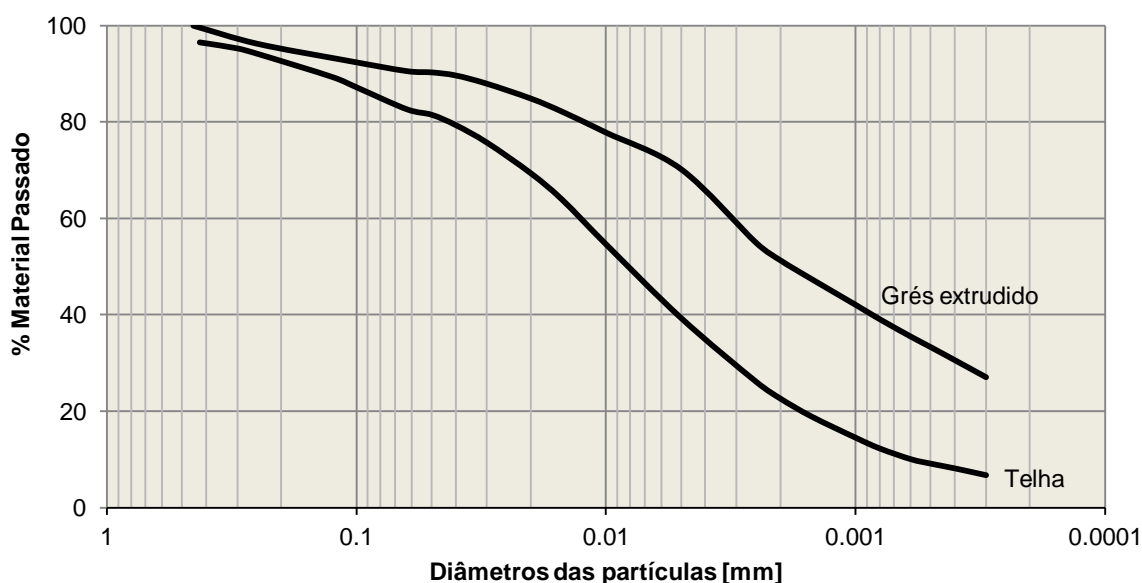


Figura 7.1 – Curvas granulométricas das matérias-primas que originaram os produtos cerâmicos em estudo.

As matérias-primas revelaram a existência de uma fracção significativa de dimensões inferiores a 0,0002 mm, fora da amplitude de leitura do equipamento. Esta foi para o caso da telha 6,78% e para o caso do grés extrudido 26,99%.

Seguindo as classificações usualmente adoptadas, apresentam-se as diferentes percentagens de argila, silte e areia das matérias-primas na tabela 7.1.

Pela sua análise, verifica-se mais uma vez, que a percentagem de material argiloso é inferior no caso das telhas 22,65% ao caso do grés extrudido, 51,27%. Contrariamente, a fracção de areia é maior na matéria-prima correspondente às telhas.

Tabela 7.1 – Percentagens de areia, silte e argila nas matérias-primas.

Dimensão [μm]	Telhas	Grés extrudido
Areia; 63<	17.35	9.42
Silte; 2<63	60.00	39.31
Argila; 2>	22.65	51.27

De uma forma geral, pode dizer-se que as telhas apresentam uma granulometria de dimensão média superior e uma maior uniformidade.

Transpondo os resultados para o diagrama ternário de Winkler (figura 7.2), observa-se que a localização dos pontos correspondentes ao grés extrudido (L) e a telhas (T) estão distantes, como seria expectável.

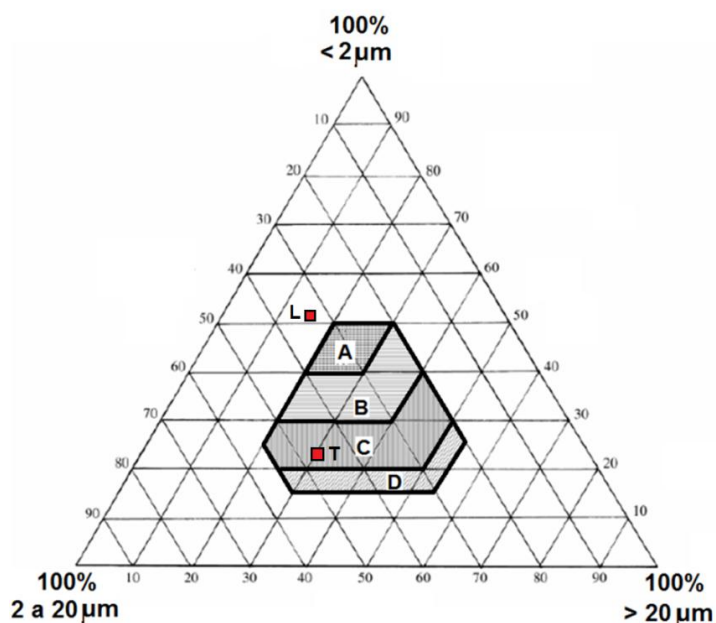


Figura 7.2 – Localização das matérias-primas no diagrama ternário de Winkler.

A matéria-prima referente ao grés extrudido, situa-se fora das zonas de classificação dos produtos, no entanto, a zona mais próxima é a “A” que de acordo com Pracidelli e Melchiades (1997), identifica materiais de qualidade com dificuldade de produção. Relativamente às telhas, esta encontra-se na zona “C”, referente a tijolos furados.

Este diagrama constitui uma boa ferramenta para a selecção da granulometria adequada, doseando as diversas fracções até esta ser a correcta, do ponto de vista de facilitar a conformação e secagem das peças. Por essa razão e devido aos resultados obtidos, crê-se que as matérias-primas foram recolhidas numa etapa inicial do seu processamento, antes do seu tratamento e adições de produtos que visem a diminuição de dificuldade durante a conformação.

Por outro lado, este diagrama surge na bibliografia pela primeira vez em 1954, desde então muitas evoluções e melhoramentos no processo de fabrico têm sido efectuados.

7.1.2. Consistência

Os resultados do limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade obtidos, são apresentados na tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Limites de consistência das pastas.

	L.L.	L.P.	I.P.
Telha	33	24	9
Grés extrudido	50	27	23
Grés vidrado	-	-	-

Pela rápida análise de resultados podemos constatar uma grande diferença de resultados entre pastas. Sendo o LL da pasta que deu origem ao grés extrudido bastante superior ao da telha, isto é, suporta uma maior quantidade de água até passar ao estado líquido. O valor referente ao LP são mais próximos o que implica um IP do grés extrudido substancialmente maior. Este facto revela que esta pasta se mantém mais facilmente num estado plástico e numa gama muito superior de percentagens de água.

O LL depende apenas da presença de partículas de reduzidas dimensões. À medida que a percentagem de minerais argilosos numa mistura decresce o LL decresce também, e por sua vez, o LP varia muito menos com este facto (Cerato, 2001). Desta forma concluí-se que o índice de plasticidade aumenta com o incremento de partículas de reduzidas dimensões e minerais argilosos.

Este facto está em consonância com as diferentes necessidades e exigências dos dois tipos de produtos. Actualmente, as pastas utilizadas em produtos como telhas, na generalidade apresentam pastas de grão mais grosseiro.

Os valores foram transpostos para os gráficos das figuras 7.3 e 7.4.

Analisando a localização da pasta que origina o grés extrudido (L) na figura 7.3, verifica-se que esta tem características óptimas de extrusão e pela figura 7.4 que apresenta uma adequada trabalhabilidade e uma retracção média. Assim, esta pasta apresenta excelentes características para o fabrico de diversos tipos de cerâmicos.

Quanto à pasta utilizada nas telhas cerâmicas (T), pela figura 7.3 os valores encontram-se fora das janelas de A e B pelo que esta deverá apresentar características deficientes de extrusão, fraca coesão e baixas características de trabalhabilidade (figura 7.4).

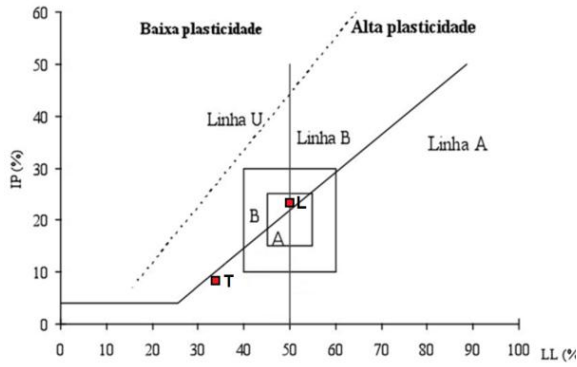


Figura 7.3 – Propriedades de extrusão das pastas dos dois produtos.

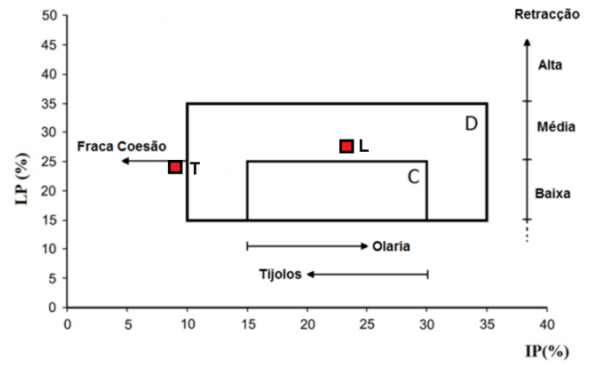


Figura 7.4 – Trabalhabilidade das pastas dos dois produtos.

A diferença de resultados obtidos nas duas matérias-primas, pode estar associada ao facto da sua recolha ter sido efectuada em etapas distintas de processamento. A pasta correspondente ao grés extrudido, foi recolhida numa fase mais avançada do processamento, quando a matéria-prima já foi sujeita à adição de produtos tendo como o objectivo a modificação das suas propriedades de extrusão.

De qualquer das formas, estes quadros constituem apenas um meio auxiliar para selecção e classificação de pastas não sendo os seus resultados limitativos. A adequabilidade de uma pasta depende muito da sua abundância e disponibilidade, tecnologia de fabrico e do produto pretendido.

7.2. Ciclos nevoeiro salino

7.2.1. Monitorização da solução das lavagens

De acordo com a norma adoptada, a lavagem dos produtos apenas deveria ser concluída quando a condutividade da solução, onde estes estão imersos, não apresentasse valores superiores ao dobro da condutividade da solução inicial. Desta forma, tornou-se necessário a sua monitorização. Os gráficos da figura 7.5 representam a evolução da condutividade da solução, algumas horas após as renovações da água do recipiente onde estavam submersos os produtos.

A água destilada utilizada, apresenta valores iniciais de condutividade entre $3\mu\text{S}$ e $15\mu\text{S}$.

Para o caso das telhas (figura 7.5), os valores de condutividade na primeira troca de água atingiram rapidamente valores muito superiores aos iniciais, chegando em 500 minutos a valores próximos dos $1500\mu\text{S}$, mais de 100 vezes superior ao valor da solução original. Com o evoluir das trocas de água, a subida da condutividade ao longo do tempo, tendeu a decair devido à diminuição da concentração no sistema de NaCl, e à dificuldade da solução penetrar em zonas cada vez mais profundas nos poros dos materiais onde ainda existia NaCl. Não obstante, na última troca de água monitorizada, o valor de condutividade obtido após 500 minutos de submersão era de $133\mu\text{S}$, valor ainda 19 vezes superior ao registado inicialmente de $7\mu\text{S}$.

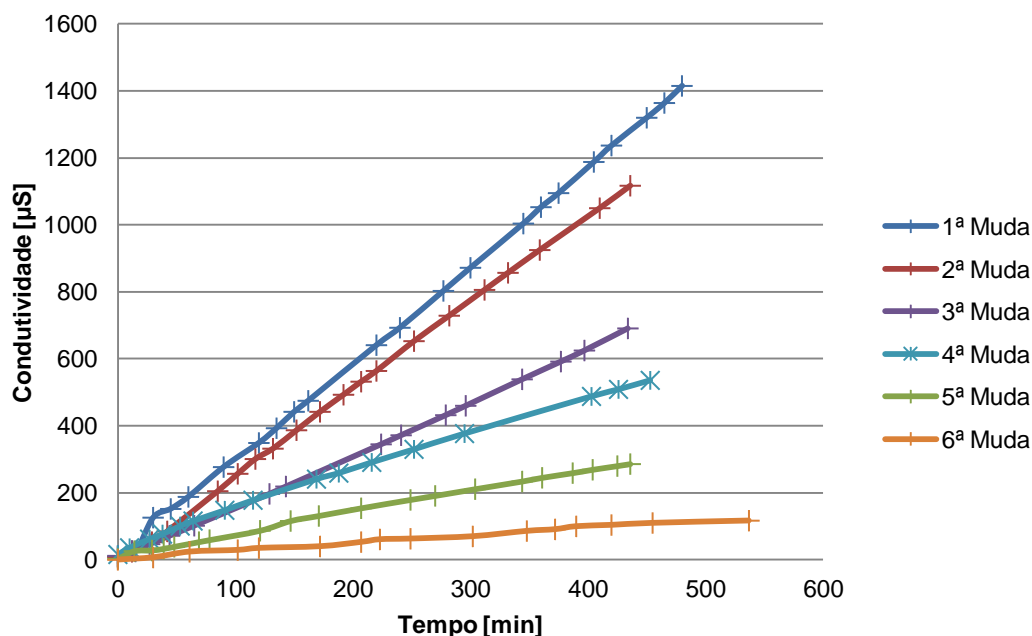


Figura 7.5 – Evolução da condutividade da solução da lavagem das telhas.

No caso dos ladrilhos, a situação ocorrida foi semelhante (figura 7.6). No entanto, ainda durante a primeira muda de água, ocorreu uma estabilização do aumento da condutividade, possível de detectar pela diferença de inclinação da curva. Esta revela que a remoção mais

superficial do NaCl ocorreu rapidamente e expõe a dificuldade na extração do NaCl restante. As restantes mudas, espelham esta situação pois apresentam valores e taxas de aumento de condutividade muito semelhantes. Mais uma vez, na última muda, passados 400 minutos de imersão, a solução já apresentava valores de condutividade próximos dos 150 μS , cerca de 20 vezes superior aos iniciais.

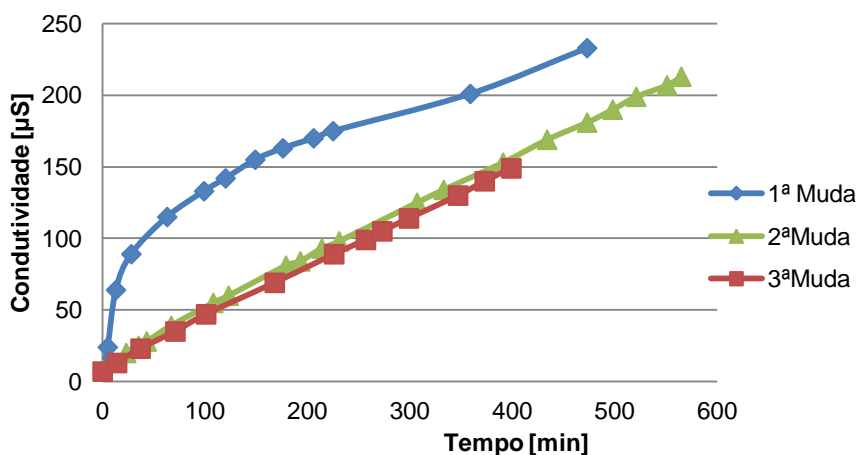


Figura 7.6 – Evolução da condutividade da solução da lavagem dos ladrilhos.

Destes dados, poderemos concluir que neste parâmetro a norma utilizada não se adapta a materiais cerâmicos, pelo tempo de “lavagem” ser extremamente longo. Dado que este procedimento necessita de ser adoptado em cada ciclo, o ensaio tornar-se-ia muito moroso pelo tempo que se tem que esperar até a condutividade da solução ser inferior ao dobro da original. Então, optou-se por estabelecer 9 dias de lavagem após cada conjunto de 10 ciclos e frequentes mudas de água.

7.2.2. Variação de massa

Na figura 7.7, o gráfico representa os valores da massa ao longo dos ciclos de nevoeiro salino, relativos à massa inicial, sendo que as medições efectuadas foram realizadas, após cada ciclo, sem lavagem e com lavagem de 9 dias.

Com seria expectável, após os 10 primeiros ciclos de nevoeiro salino, verifica-se uma subida da massa em todos os tipos de cerâmicas. De qualquer das formas, existem diferenças substanciais entre estas, que se vão manter ao longo dos restantes ciclos. A maior ou menor presença de sais de NaCl no interior da estrutura porosa, bem como as eflorescências presentes na superfície das peças, são bastante significativas reflectindo-se na massa obtida. Este facto é um indício de que a porosidade e a permeabilidade deverão ser maior no caso das telhas e menores no caso dos ladrilhos vidrados, tendo o grés extrudido características intermédias.

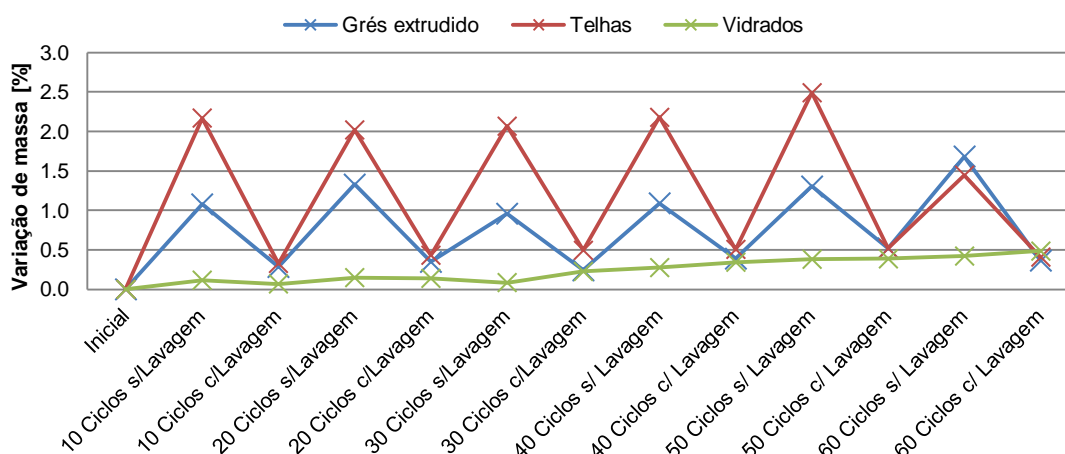


Figura 7.7 – Variação de massa ao longo dos ciclos.

Após a primeira lavagem (durante 9 dias), a massa dos provetes desceu para valores próximos do original. Esta diferença poderá ser justificada com a incompleta remoção do NaCl. Caso as lavagens fossem eficazes, a sua massa seria idêntica ou menor que a inicial, mas não se constatou perda de material significativo através das observações efectuadas.

Nos primeiros 30 ciclos, em todos os produtos, o comportamento foi bastante semelhante e constante, o que denuncia estabilidade e poucos indícios de alteração.

As modificações relevantes ocorreram no 40º ciclo onde o comportamento padrão até então demonstrado se alterou. No caso das telhas, a amplitude entre a massa sem lavagem e com lavagem iniciou o seu aumento, facto que sofreu um incremento nos ciclos seguintes (50 ciclos). Este facto poderá denunciar uma possível degradação da estrutura interna dos provetes, e conseqüentemente um aumento de volume de vazios (porosidade e fissuração), onde uma maior quantidade de NaCl se pode alojar, justificando o aumento de gradual de massa antes da lavagem. Uma diminuição de massa superior é justificável precisamente pelo mesmo facto, a dissolução dos sais será facilitada pelo aumento da porosidade, bem como com a perda de massa ocorrida pelas telhas. Este facto é também suportado pela perda de material que se soltou durante a lavagem (figura 7.8) e pela observação macroscópica dos provetes.

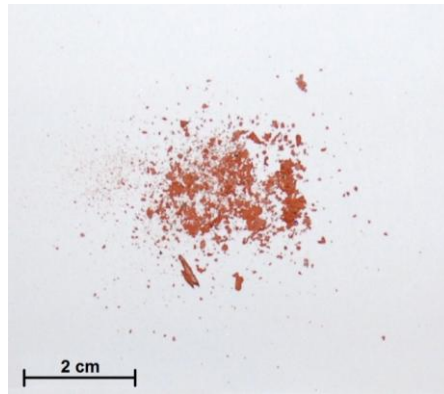


Figura 7.8 – Partículas de telha provenientes da lavagem após 40 ciclos.

Nos gráficos das figuras 7.9 e 7.10, verifica-se perda relativa de massa pelas telhas, após 60 ciclos. Este facto será explicável por uma perda significativa de material dos provetes, esta diminuição de massa não foi colmatada pela massa correspondente ao incremento de NaCl.

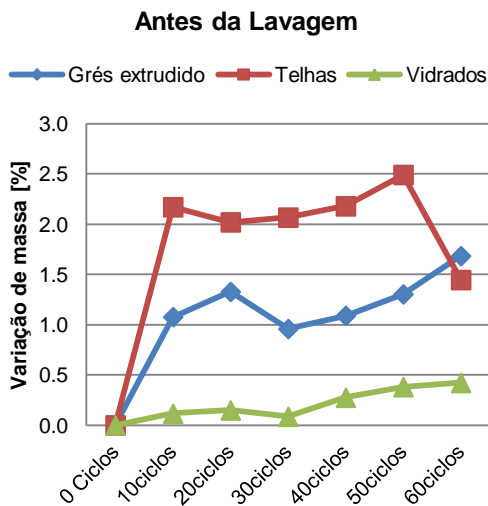


Figura 7.9 – Evolução da massa com os ciclos antes da lavagem.

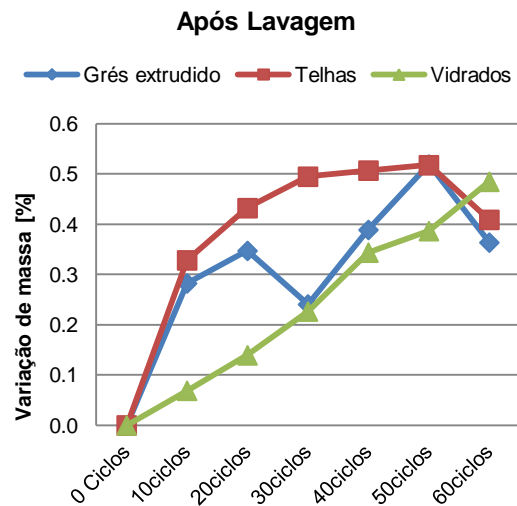


Figura 7.10 – Evolução da massa com os ciclos após a lavagem.

No que se refere ao grés extrudido, apresenta também uma mudança de comportamento após 40 ciclos. No entanto, em ambas as situações, antes e após lavagem, as massas tendem a subir o que indica uma maior e mais profunda penetração de solução salina e a sua crescente dificuldade de remoção por lavagem.

As figuras 7.11 e 7.12 representam a evolução da percentagem de massa antes e após a lavagem. Está nestas figuras explícito, de uma forma geral, que as maiores variações de massa antes e após as lavagens, ocorreram nas telhas, o grés vidrado apresentou a menor variação.

A interpretação destes gráficos, deverá ser essencialmente efectuada através das inclinações das curvas representadas em cada produto. Assim, antes das lavagens (figura 7.11), para o caso das telhas é possível verificar através de uma inclinação constante da curva até aos 80

ciclos, que ocorreu um ganho de massa equivalente em todos estes ciclos. Nos 10 ciclos finais, a inclinação da curva diminuiu, revelando um menor aumento de massa face aos restantes ciclos.

A curva correspondente ao grés extrudido, revela alguma variação da inclinação de ciclo para ciclo, quando ocorre uma menor inclinação caso do final dos 10 e 30 ciclos, significa que houve um menor ganho de massa e portanto uma menor penetração de sais.

Verifica-se que a curva relativa ao grés vidrado é a que apresenta menor inclinação dos três produtos, revelando uma menor penetração de sais.

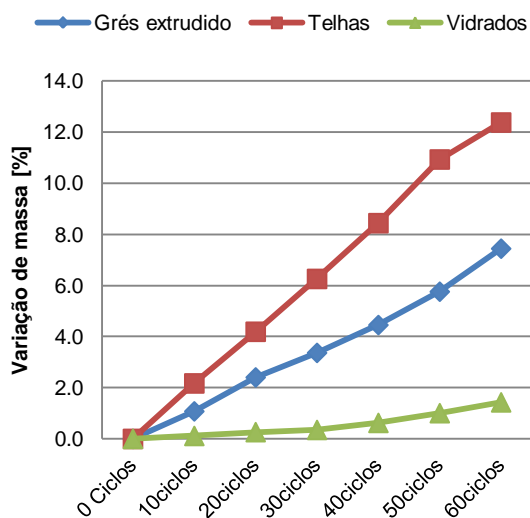


Figura 7.11 – Variações de massas cumulativas antes das lavagens.

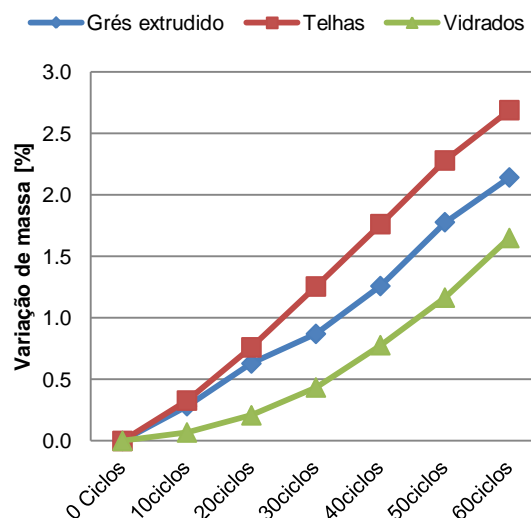


Figura 7.12 – Variações de massas cumulativas após as lavagens.

A figura 7.12, revela que as três curvas se encontram relativamente mais próximas, e com inclinações menos discrepantes, indicando uma menor diferença de variação de massa nos três produtos. A interpretação a efectuar será análoga à anterior, no entanto, no caso do grés vidrado, a inclinação tem tendência a aumentar exponencialmente ao longo dos ciclos o que indica um maior ganho de massa com a evolução dos ciclos.

Os diferentes comportamentos entre as telhas e o grés extrudido poderão ser explicados pelas suas distintas características de porosidade (porometria, quantidade, geometria e sua ligações ao exterior) bem como a distinta reacção ao crescimento dos sais nos dois tipos de materiais.

Estes aspectos podem afectar a maior ou menor penetração do NaCl, a capacidade de penetração das soluções e a sua eficácia na dissolução dos sais e sua remoção nas lavagens.

O grés vidrado, constitui um caso particular, devido à sua reduzida porosidade o NaCl apresenta uma baixa penetração. Assim, após 60 ciclos, verificam-se apenas deposição superficial dos sais.

No entanto, como é possível constatar, a sua massa sofreu um aumento em todas as etapas dos ciclos. Este facto poderá ser explicado com a possível ocorrência de adsorção de água.

Adicionalmente, na tentativa de quantificar a perda de massa de cada tipo de produto e de preparar as amostras para os restantes ensaios, foi efectuada uma lavagem prolongada de 35 dias. Assim, após os ciclos de nevoeiro salino, os produtos foram submetidos a 9 dias, mais 35 dias de lavagem, perfazendo um total de 44 dias. As suas massas relativas estão representadas no gráfico da figura 7.13.

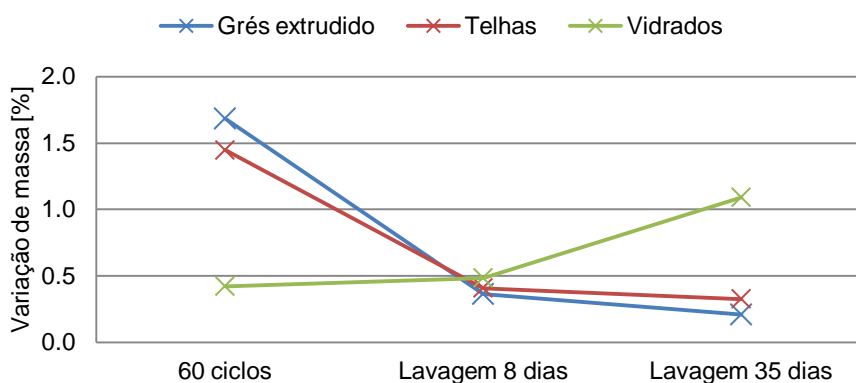


Figura 7.13 – Evolução da variação de massa nas lavagens finais.

Mais uma vez, é possível verificar a dificuldade na remoção do NaCl. No caso das telhas e grés extrudido, nos 8 dias iniciais da lavagem a sua massa em relação à massa inicial reduziu cerca de 1%, correspondente à dissolução dos sais de NaCl. Após esta etapa, e com mais 35 dias de imersão em água destilada renovada frequentemente, a redução de massa foi inferior a 0,2%. O que resulta numa massa não muito superior à massa inicial (0,2% a 0,4%), no entanto, nesta massa está também incluída a perda de material.

No caso do grés vidrado, o incremento verificado apresentou valores superiores, facto este que parece indiciar mais uma vez a ocorrência de adsorção de água, a qual apenas se poderá confirmar através da elaboração de outros ensaios como análise térmica diferencial.

7.3. Cerâmica após acção do nevoeiro salino

7.3.1. Observação macroscópica e à lupa binocular

Após cada ciclo de nevoeiro salino, foi possível identificar macroscopicamente eflorescências e depósitos de sal nas telhas e ladrilhos. Nas telhas as eflorescências distribuem-se homogeneamente pela superfície e acentuam-se com o decorrer dos ciclos (figura 7.14).

Em ambos os ladrilhos, as eflorescências têm com uma morfologia distinta e constante ao longo dos ciclos (figura 7.14).

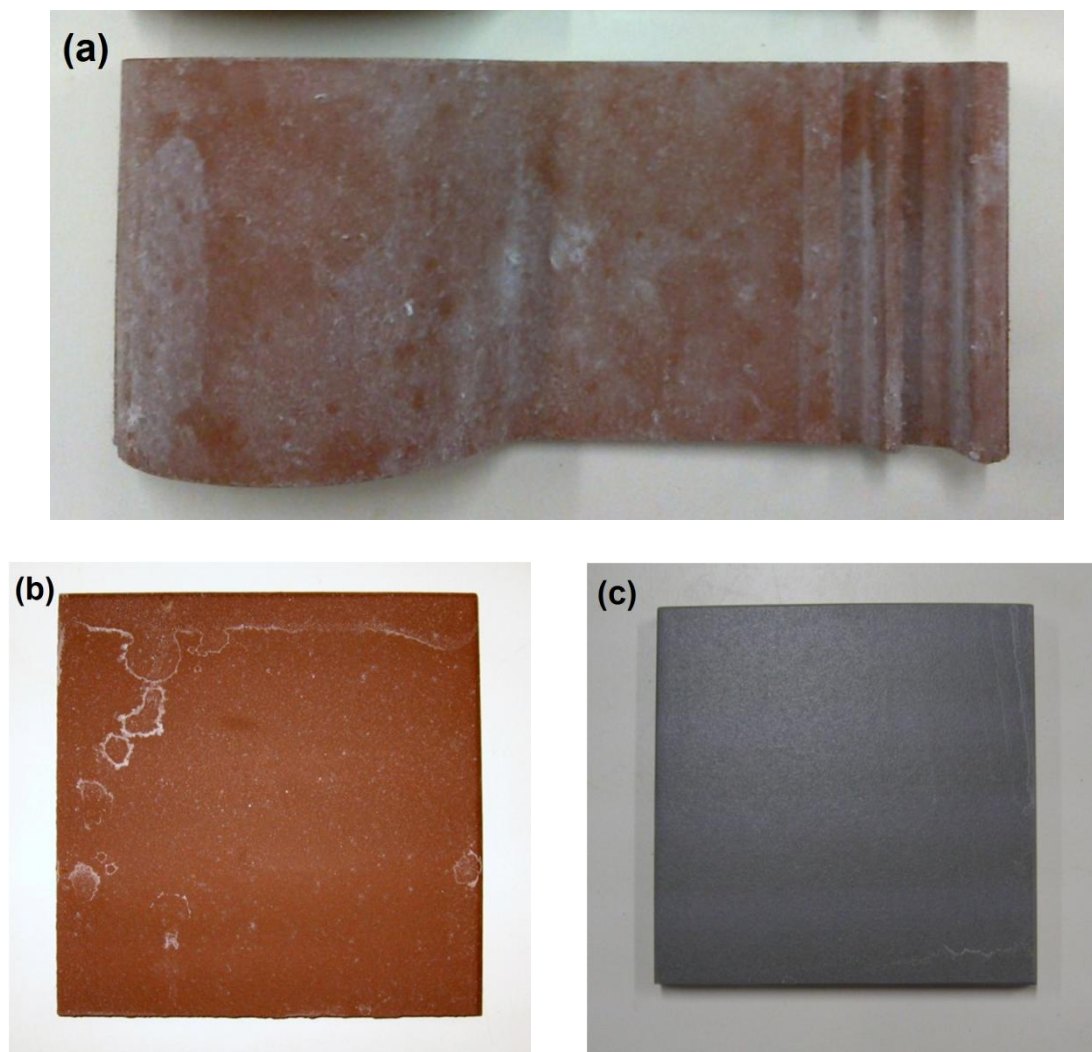


Figura 7.14 – Aspecto das amostras após nevoeiro salino (a) telhas; b) grés extrudido; c) grés vidrado).

Após a lavagem das amostras, na fase 1, não se registaram alterações visíveis macroscopicamente. No fim da fase 2, surgem nas telhas alguns picamentos de tom escuro e por vezes mais claros, continuando a não ser visível, a olho nú, qualquer modificação nos ladrilhos.

Após a fase 3, a densidade deste picamento torna-se mais elevada, nas telhas (figura 7.15) sendo também visíveis pequenas escamações de material, confirmadas pelos detritos de material presente no depósito de lavagem das peças. Relativamente ao grés extrudido surgem picamentos de reduzidas dimensões de difícil visualização com tonalidade mais clara.

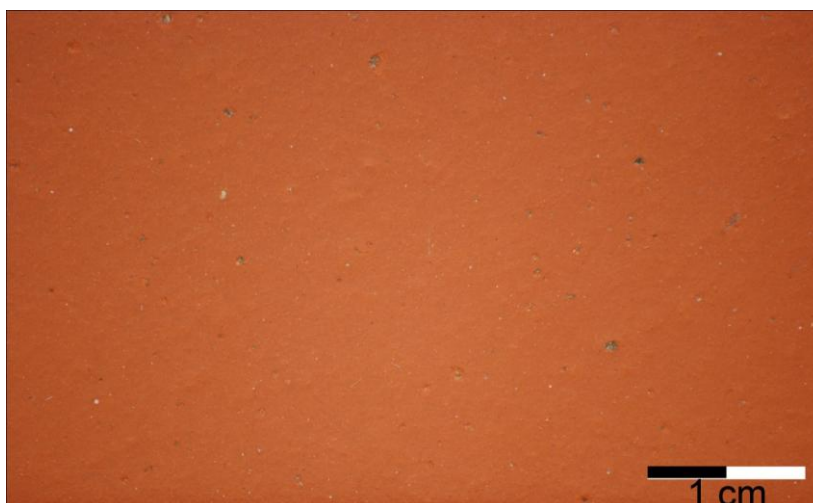


Figura 7.15 – Aspecto geral da superfície da telha após fase 4.

Através da observação com o auxílio de uma lupa binocular, podem ser identificados outros fenômenos imperceptíveis macroscopicamente. Antes da lavagem dos produtos é possível identificar diferentes morfologias dos sais de cloreto de sódio depositados na superfície das peças. Estas distintas formas de cristalização já foram identificadas e estudadas (Arnold & Kueng, 1985, Arnold & Zehnder, 1985 e Silva & Simão, 2009). Os hábitos dos cristais estão relacionados com o tipo de superfície do material e com o grau de saturação da solução que lhes deu origem (Arnold & Zehnder, 1985).

Surgem na superfície das telhas e dos ladrilhos aglomerados de sais de aspecto buteróidal, sobressaindo também cristais individualizados e bem formados de halite (figura 7.16 a) e ainda sais com aspecto de filamentos (figura 7.16 b).

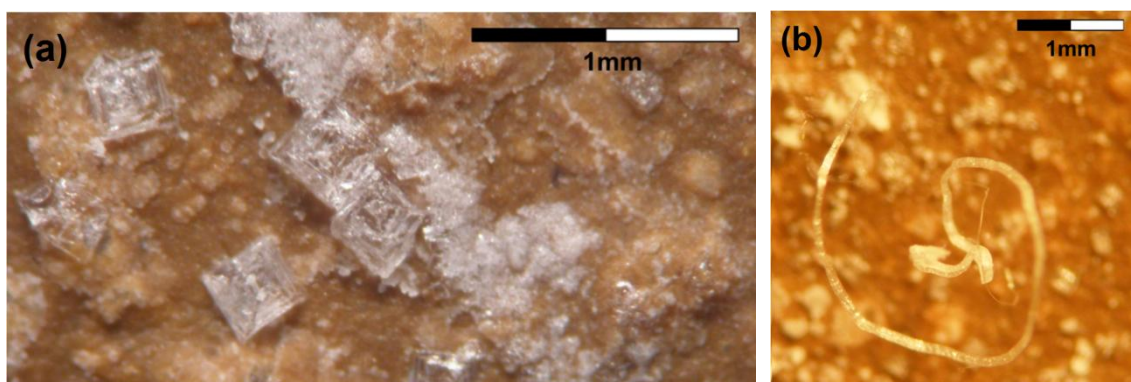


Figura 7.16 – Cristais de halite formados após acção do nevoeiro salino; a) superficiais; b) filamentar).

As duas primeiras morfologias, parecem ocorrer devido à deposição superficial dos sais. No caso dos filamentos, estes provêm do interior das peças e chegam à superfície pela porosidade acessível. O seu aspecto indica que houve sobresaturação da solução proveniente do nevoeiro salino na rede porosa do material (Arnold & Zehnder, 1985). Com a evaporação da solução ocorreu a cristalização de sais e o seu aumento de volume, devido a estes estarem num espaço confinado, o crescimento deu-se para o exterior originando o aspecto filamental. Pode-

se deduzir que, durante o seu aumento de volume, os sais exerceram tensões na sua envoltória até ao exterior. Estas, por vezes foram suficientes para provocar pequenas escamações do material envolvente aos poros (figura 7.17). Este facto sugere que ocorreram tensões verticais e laterais relativamente à superfície do material (Arnold & Kueng, 1985).



Figura 7.17 – Filamento de halite que provocou escamação.

É também possível a ocorrência de uma situação análoga em poros interiores menos acessíveis e que as tensões exercidas pelo crescimento dos sais não se tenham dissipado para o exterior, criando um estado de tensões no interior das peças, como vimos no capítulo 5, maior que aquele que se identificou visualmente à lupa. Este facto poderá afectar o desempenho mecânico dos produtos.

No que respeita ao grés vidrado, o crescimento de sais com este tipo de aspecto não foi identificado. Apenas ocorre com frequência a formação superficial de cristais individualizados (figura 7.18). Pode-se dizer que, essencialmente pelo acabamento vidrado, a porosidade acessível destes materiais é muito reduzida, o que dificulta a penetração de solução no seu interior.

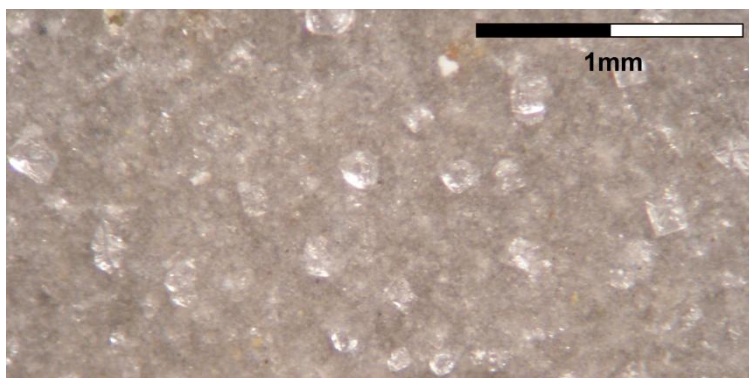


Figura 7.18 – Aspecto dos sais de halite na superfície do grés vidrado.

Após as lavagens e secagens ao longo das várias fases, foi feita uma monitorização visual com o recurso à lupa, de alguns pontos das peças. No caso das telhas, a sequência da figura 7.19

exibe a evolução de dois pequenos grãos (possivelmente de quartzo) presentes na superfície da peça.

É possível verificar que após a fase 1 (figura 7.19 b), um dos grãos destacou-se da superfície sendo também visível perda de parte da matriz cerâmica que anteriormente cobria o grão na zona superior da foto. Após a segunda fase é possível constatar perda de material nas telhas.

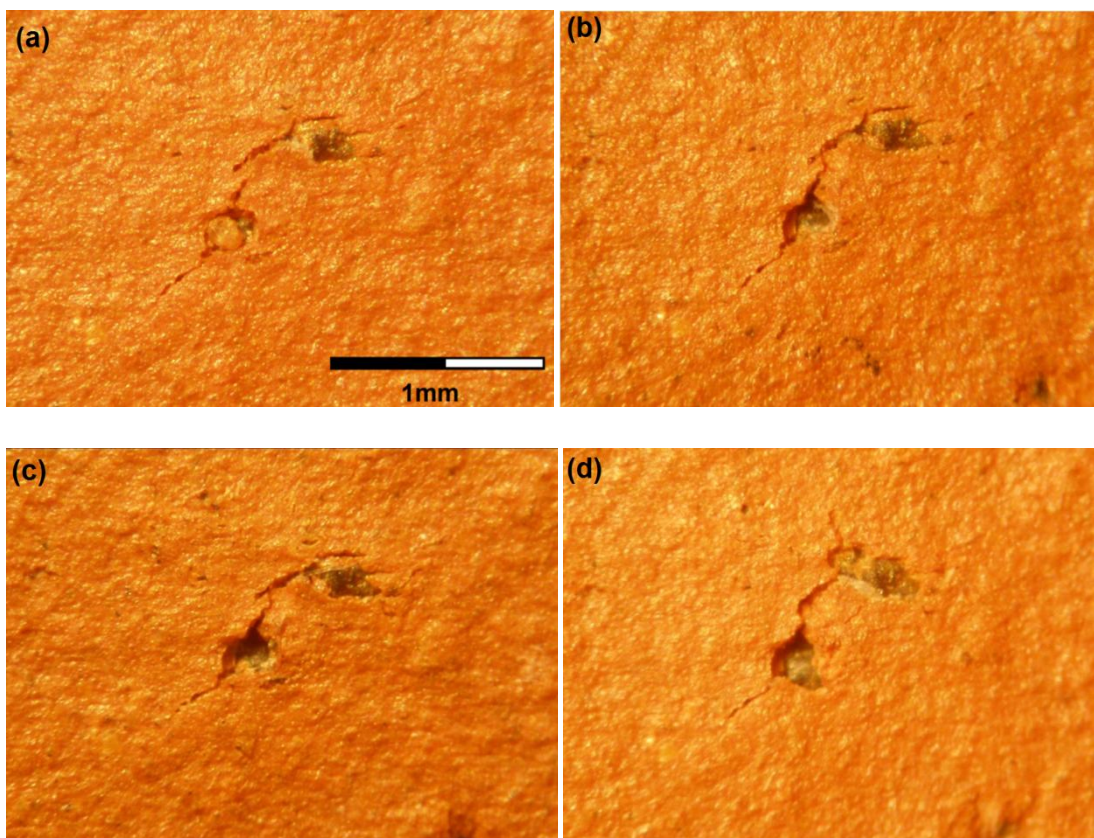


Figura 7.19 – Sequência ao longo das fases de um pormenor da telha (1). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.

Durante a fase 2 (figura 7.19 c), detectou-se um ligeiro aumento da cavidade onde inicialmente estava alojado o grão.

No final do ensaio (figura 7.19 d), registaram-se mudanças significativas, havendo uma maior escamação da matriz cerâmica que cobria o grão na zona superior da imagem, aumento da fissuração já existente e mais uma vez o aumento da cavidade onde se encontrava o grão na zona inferior da imagem.

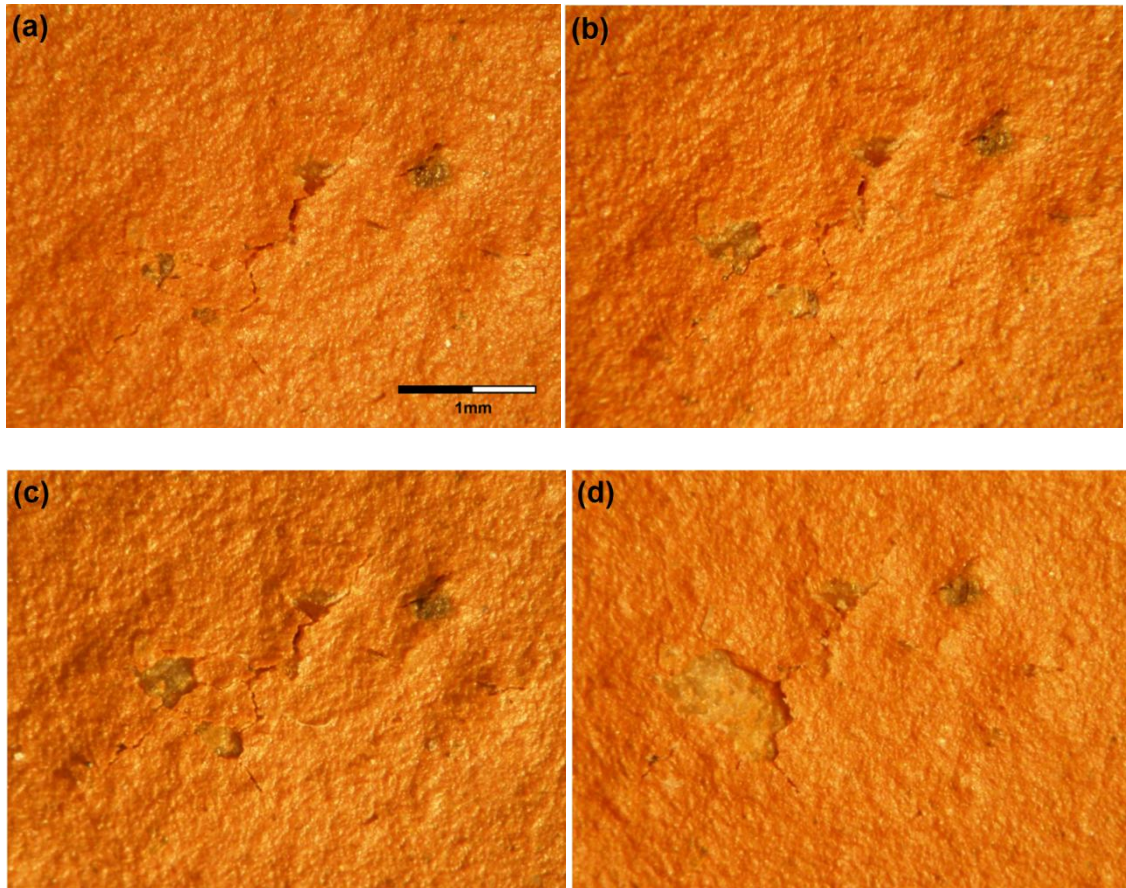


Figura 7.20 – Sequência ao longo das fases de um pormenor da telha (2). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.

A sequência apresentada na figura 7.20 exhibe a evolução de um processo de escamação da matriz cerâmica das telhas, iniciando-se a partir da primeira fase. Esta evolução foi gradual ao longo dos ciclos. Sendo as diferenças visuais evidentes e ocasionadas por uma escamação da fracção de material próximo aos diversos grãos de maiores dimensões.

Relativamente ao grés extrudido, as mudanças não são tão evidentes (figura 7.21 a,b,c,d). No entanto, verifica-se ligeiras alterações em zonas próximas de cristais de cores claras, eventualmente quartzo. Na fase dois, observa-se o desaparecimento de uma camada que envolvia parte de um grão. Ao longo das restantes fases, é possível constatar o desaparecimento de pequenas partes da matriz que rodeia o cristal.

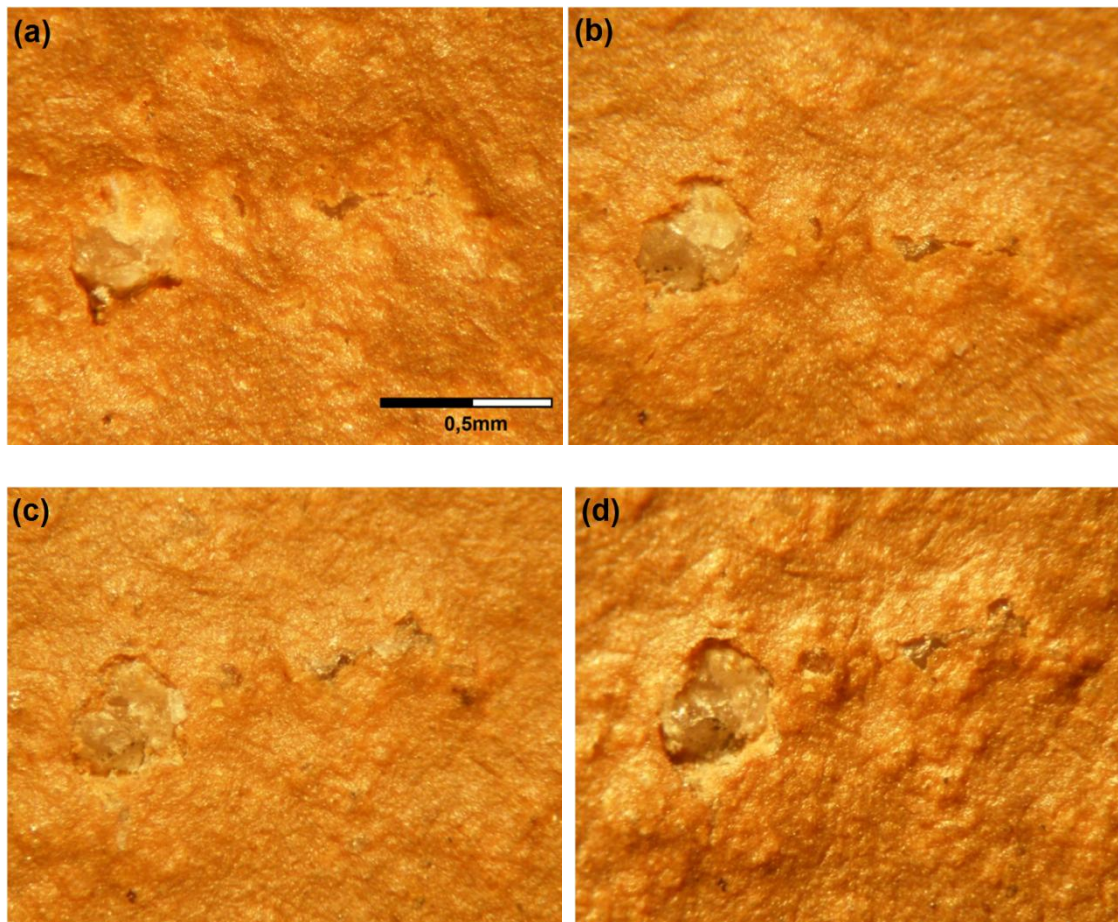
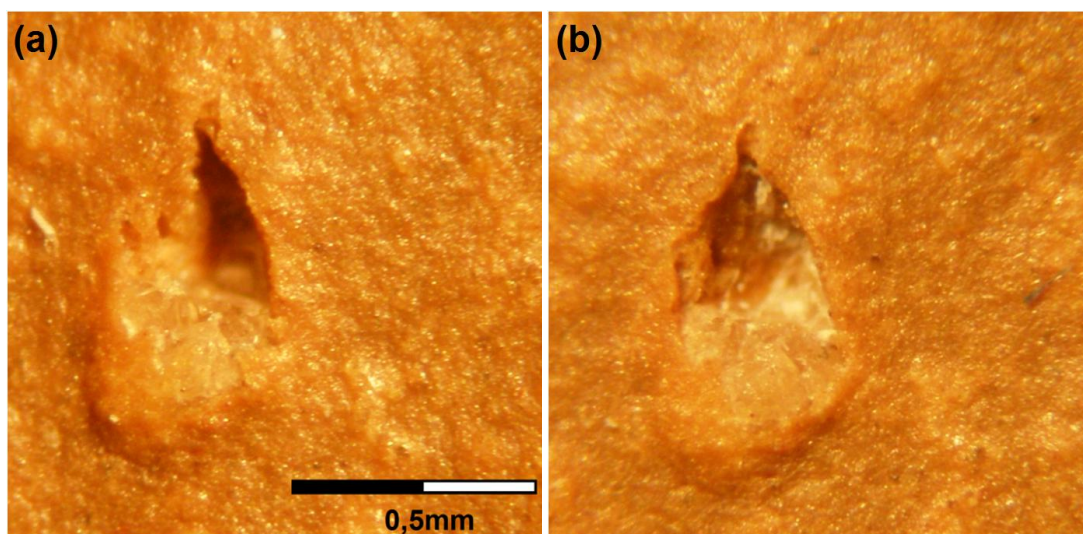


Figura 7.21 – Sequência ao longo das fases de um pormenor do ladrilho (1). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.

Na figura 7.22 é possível verificar que existe uma pequena cavidade parcialmente preenchida por um grão de quartzo. Na fase 1 e 2 não são visualmente detectáveis diferenças significativas. Após a fase 3, nota-se o desaparecimento de uma camada que envolvia parte do grão. É também possível identificar o desaparecimento de porções de matriz que rodeia o cristal.



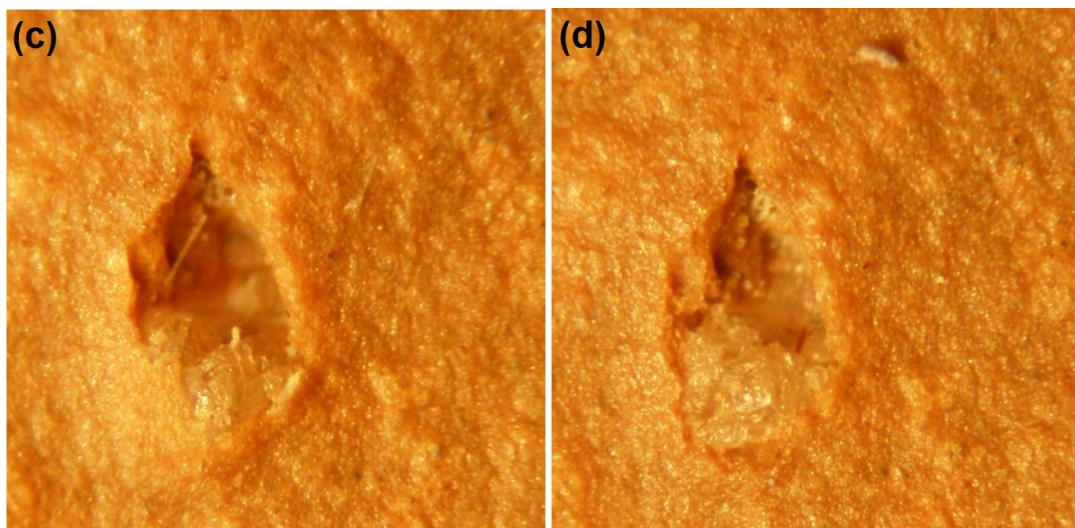


Figura 7.22 – Sequência ao longo das fases de um pormenor do ladrilho (2). a) Início, b) Fase 1, c) Fase 2, d) Fase 3.

No grés vidrado, não foram detectadas alterações visíveis à lupa binocular com excepção de uma peça, que apresentava pequenos defeitos de fabrico, sofrendo reduzidas modificações visíveis à lupa binocular (figura 7.23 e 7.24).

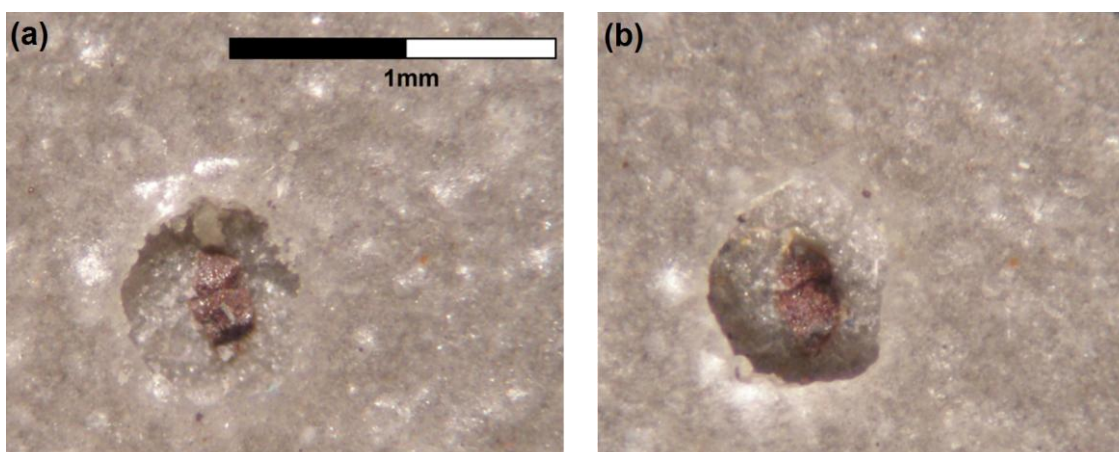


Figura 7.23 – Pormenor de defeito de fabrico de ladrilhos vidrados (1). a) Início dos ensaios, b) Fase 3.

Na figura 7.23, é visível a presença de uma cavidade que aloja dois minerais de aspecto cúbico e de tons alaranjados. Possivelmente óxidos de ferro originados pela presença de um mineral prejudicial na composição da pasta. Através da acção do nevoeiro salino estes minerais passaram a apresentar uma forma mais arredondada. É também possível ver uma redução das arestas que contornam a cavidade.

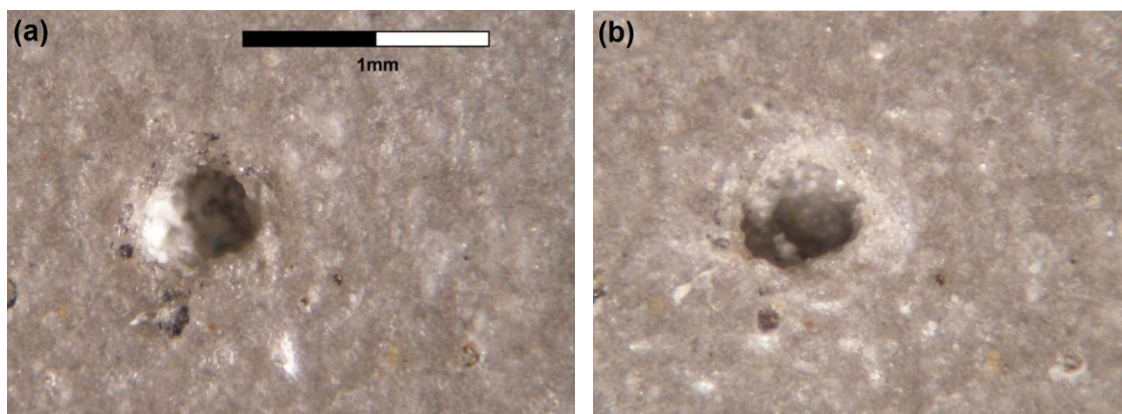


Figura 7.24 – Pormenor de defeito de fabrico de ladrilhos vidrados (2). a) Início dos ensaios, b) Fase 3.

Na figura 7.24, verifica-se igualmente uma cavidade, provocada por defeito de fabrico. No final da fase 3, é possível constatar uma redução das arestas em torno da cavidade.

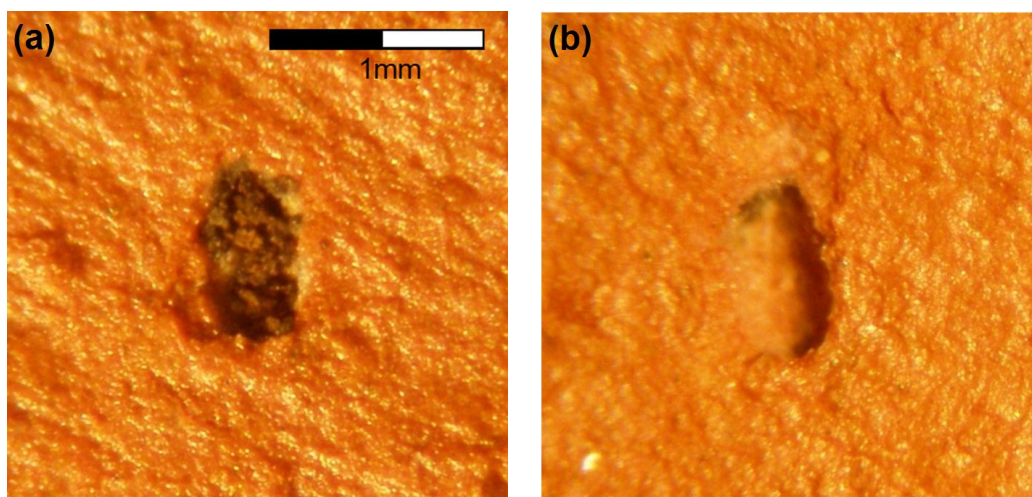


Figura 7.25 – Perda de material na telha. a) Início b) após fase 2.

Outro fenómeno detectado foi, a presença de uma massa friável de cor escura (figura 7.25). Possivelmente seria um grão de algum mineral que se degradou no processo de cozedura. Com o evoluir dos ciclos de nevoeiro salino, é possível verificar que o mesmo se destacou, originando uma cavidade no material. É ainda detectável perda de material na zona superior da cavidade.

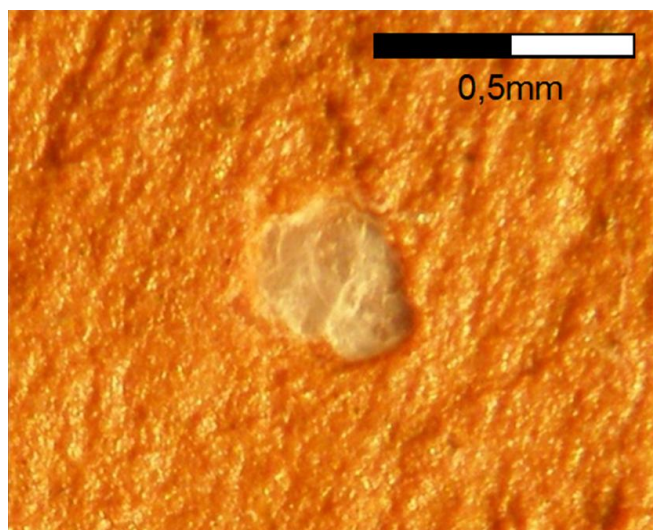


Figura 7.26 – Grão de moscovite na telha após fase 3.

As telhas revelaram, a presença de alguns cristais de aspecto micácio (figura 7.26). Estes, quando próximos da superfície do produto sofrem a acção da cristalização de sais e de diferenças de temperatura. Originando escamação do material por expansão dos planos de clivagem.

7.3.2. Análise da tonalidade

Após a digitalização de parte dos produtos ensaiados, utilizou-se software apropriado para a obtenção dos parâmetros RGB de cada produto. Estes são usualmente representados através de um histograma RGB que representa a quantidade de pixéis existentes na imagem em cada um dos diferentes tons. Através do comportamento destas curvas é, por vezes, possível compreender qualitativamente a imagem em parâmetros como a sua luminosidade e homogeneidade. No caso das telhas, a variação entre as amostras da fase 0 e fase 3 (figura 7.27), revela uma diminuição no valor de número de pixéis nos picos máximos que estão situados numa gama intermédia de tons. Isto revela indirectamente o aumento do número de pixéis em gamas de tons inferiores e superiores, isto é, em tons mais claros e mais escuros.

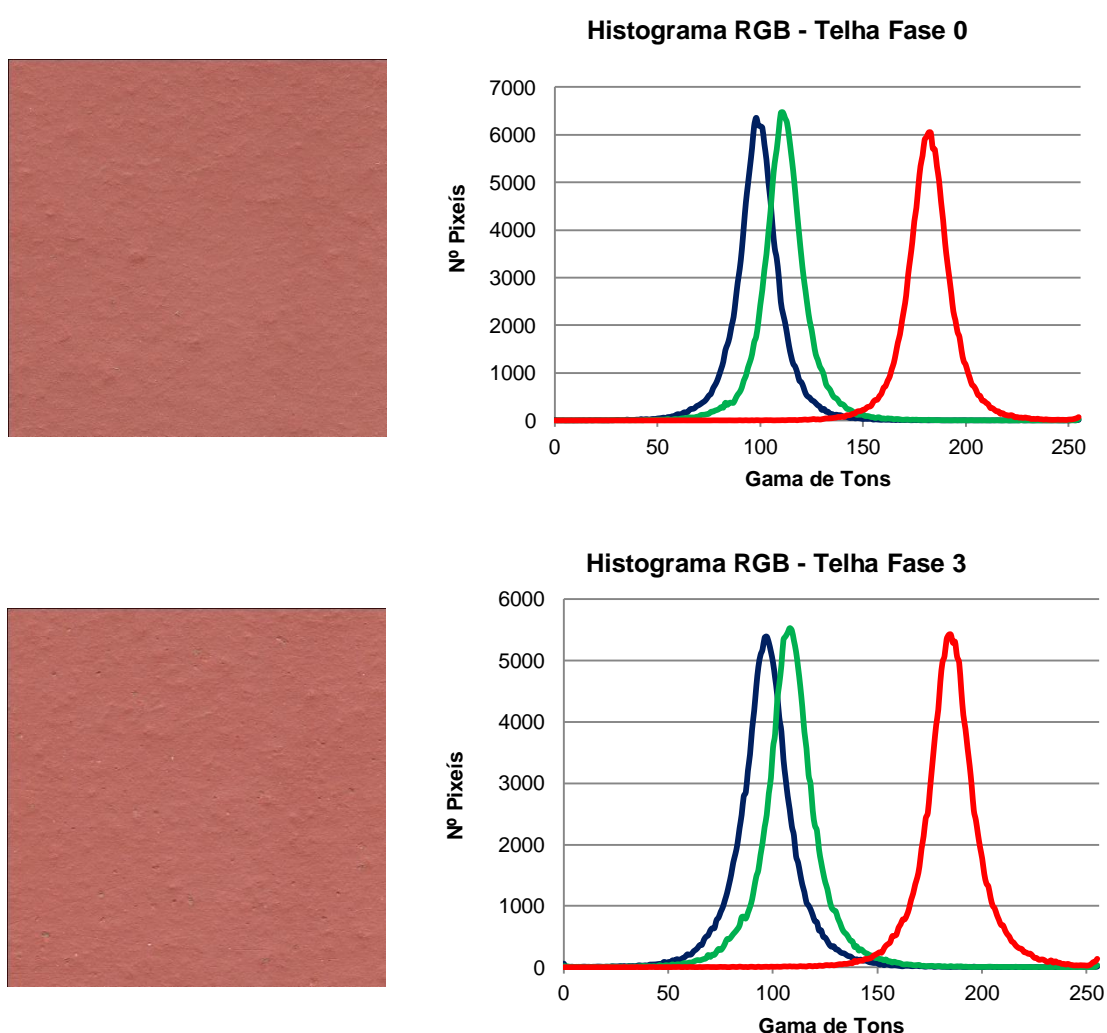


Figura 7.27 – Histogramas RGB e respectivas imagens das telhas.

Se forem considerados os valores médios (figura 7.28), verifica-se que não ocorre grande variação ao longo das fases. A apreciação deste parâmetro poderá ser por vezes inconclusiva dado que apenas fornece informação acerca do comportamento geral da gama de tons como um todo. Poderá haver casos em que a imagem apresente um pico numa gama de tons muito escuros e um pico numa gama de tons muito claros, se estes picos forem equivalentes, a gama de tons média será próxima da que ocorre numa imagem homogénea com uma gama de tons intermédia. Assim, este parâmetro é importante quando se refere a imagens muito homogéneas.

	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
R	181.75	187.38	186.87	186.19
G	109.69	108.94	111.32	108.91
B	97.44	97.71	99.93	97.47

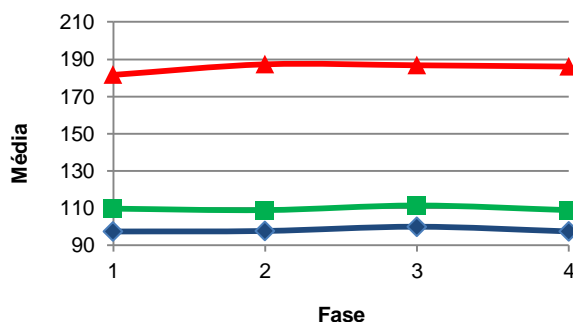


Figura 7.28 – Média de valores RGB de Telhas.

No sentido de melhor caracterizar a heterogeneidade dos valores e conseqüentemente as alterações que o nevoeiro salino provocou na tonalidade da amostra, a figura 7.29 e 7.30, apresentam, respectivamente, a percentagem de pixéis existentes com uma tonalidade escura (gama de tonalidades de 0 a 39) e a percentagem de pixéis existentes com uma tonalidade clara (gama de tonalidades de 215 a 255).

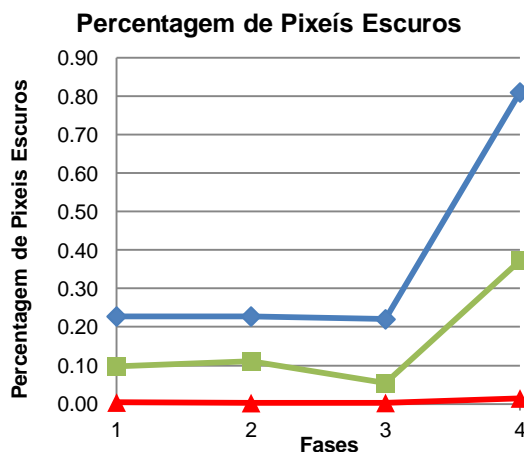


Figura 7.29 – Percentagem de pixéis escuros, na tonalidade da telha.

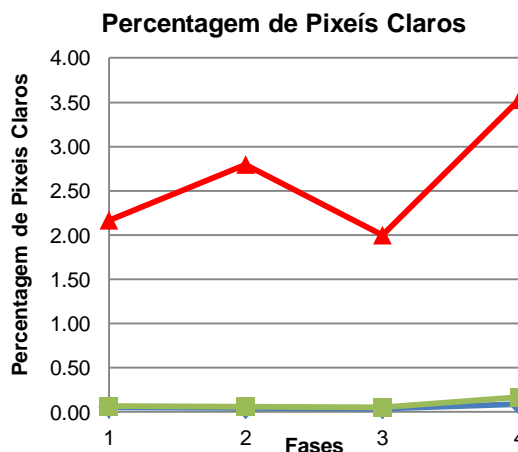


Figura 7.30 – Percentagem de pixéis claros, na tonalidade da telha.

A análise destas imagens revela no geral, uma subida de ambas as percentagens. Na fase 1 e 3 os valores revelam algumas oscilações, por esta razão não é possível obter conclusões acerca das mudanças de tonalidade nestas fases. Estas ligeiras variações estão relacionadas com a variação de origem entre as amostras estudadas e as mudanças que o nevoeiro salino

Ihes provocou nestas fases. No entanto, através das observações com auxílio da lupa observaram-se maiores modificações na fase 3, constatando-se que houve um incremento na percentagem de pixéis escuros e claros. Este aumento é, no caso dos pixéis escuros, cerca de 4 vezes superior.

Pode-se afirmar que o nevoeiro salino após a fase 3, provocou uma maior heterogeneidade na tonalidade das amostras de telhas, que poderá ser explicada pelo aparecimento de picamento.

No que diz respeito ao grés extrudido, os histogramas RGB são apresentados na figura 7.31. Através da sua comparação directa não são perceptíveis alterações significativas que possam prever qualquer tipo de mudança na tonalidade.

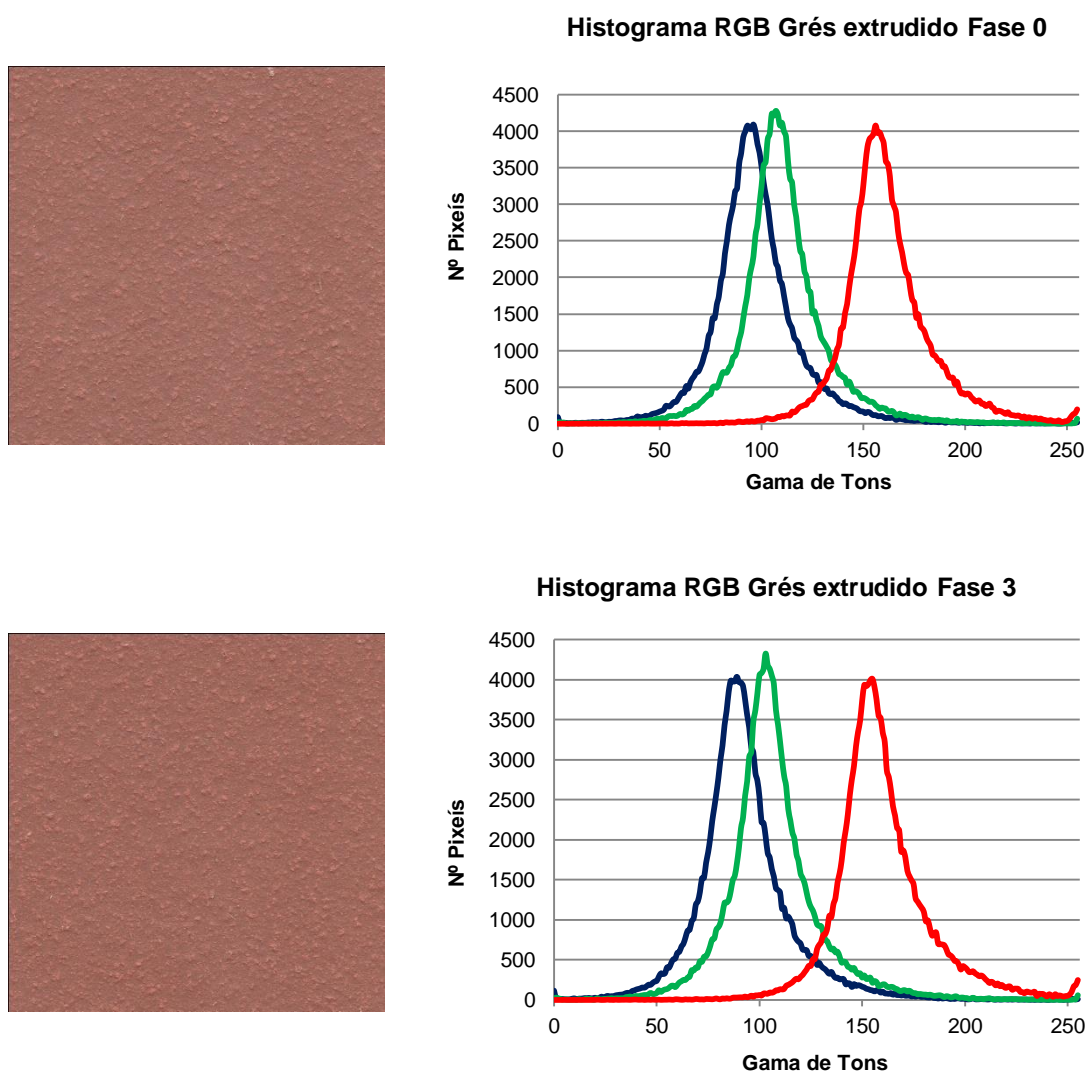


Figura 7.31 – Histogramas RGB e respectivas imagens do grés extrudido.

	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
R	160.98	162.84	162.35	161.30
G	109.17	110.66	109.52	108.72
B	95.54	97.05	95.70	94.97

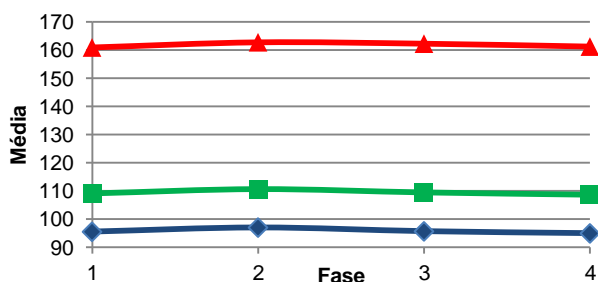


Figura 7.32 – Média de valores RGB do grés extrudido.

Os valores de média (figura 7.32) apresentam um comportamento constante ao longo das fases, não revelando qualquer alteração de tonalidade significativa.

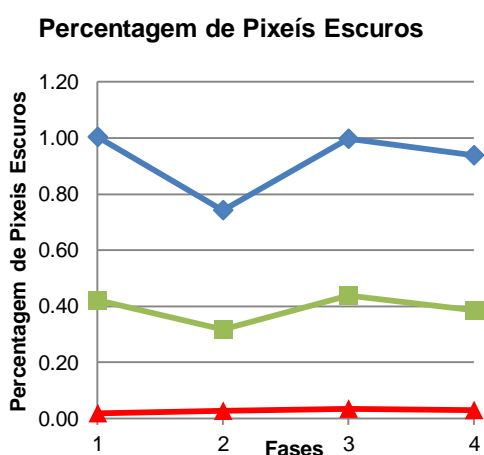


Figura 7.33 – Percentagem de pixéis escuros, grés extrudido.

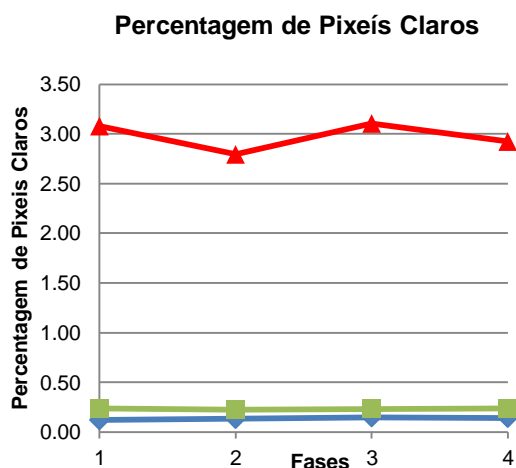


Figura 7.34 – Percentagem de pixéis claros, grés extrudido.

Analisando as variações na percentagem de pixéis escuros e claros (figura 7.33 e 7.34), verifica-se que são igualmente pouco significativas. Estas pequenas variações são da ordem de 1/4 do valor inicial. Dado que este é um método muito sensível, a análise de duas amostras equivalentes poderá por si só revelar estas pequenas diferenças de valores a mudanças imperceptíveis ao olho humano.

Assim, os ladrilhos com a acção de nevoeiro salino aplicada não sofreram mudanças significativas em termos de aspecto visual.

Os histogramas RGB referentes aos ladrilhos vidrados (figura 7.35), expõem um aumento do número máximo de pixéis numa só gama de tons entre o estado da fase 0 e da fase 3.

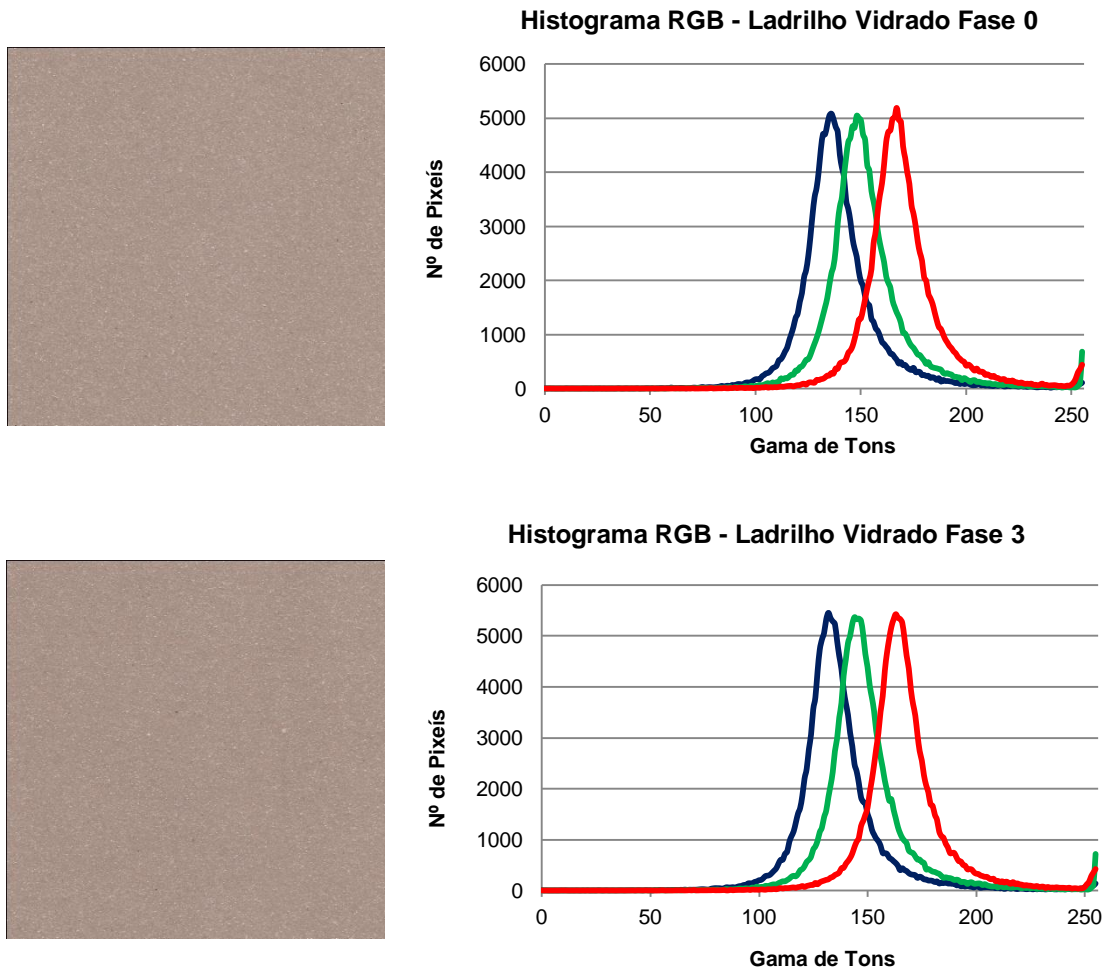


Figura 7.35 – Histogramas RGB e respectivas imagens dos ladrilhos vidrados.

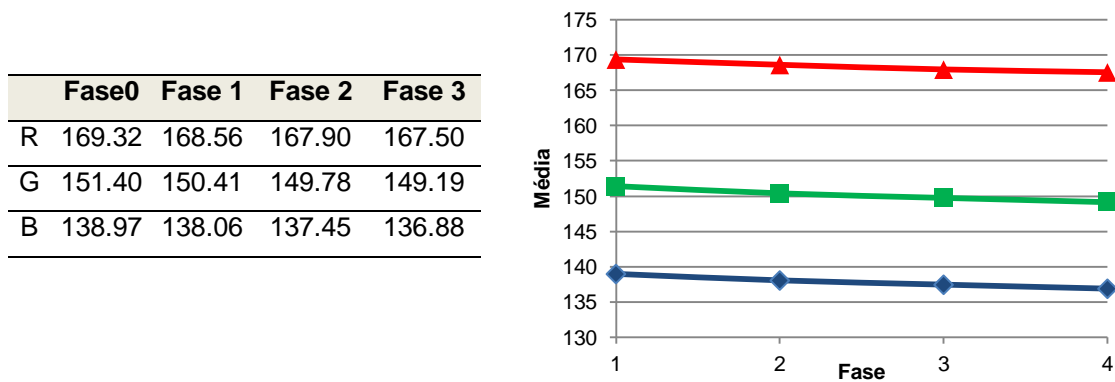


Figura 7.36 – Média de valores RGB dos ladrilhos vidrados.

Os valores da média (figura 7.36) apresentam todos eles, um decréscimo com o evoluir das fases de nevoeiro salino. Isto revela que a tonalidade geral das amostras escurece ao longo da progressão da ação do nevoeiro salino. Os valores apresentam uma tendência, reveladora de uma mudança homogénea.

A variação da percentagem de número de pixéis de tom escuro e claro (figura 7.37 e 7.38), validam os dados acima obtidos. O número de pixéis de tom escuro sofre um incremento ao longo das fases, enquanto o número de pixéis de tons claros sofrem uma diminuição.

Ocorreu uma maior perda de pixéis claros do que ganho de pixéis escuros. Os pixéis claros passaram para tonalidades mais escuras, não existindo apenas, o escurecimento dos pixéis que se situavam numa gama de tons intermédia.

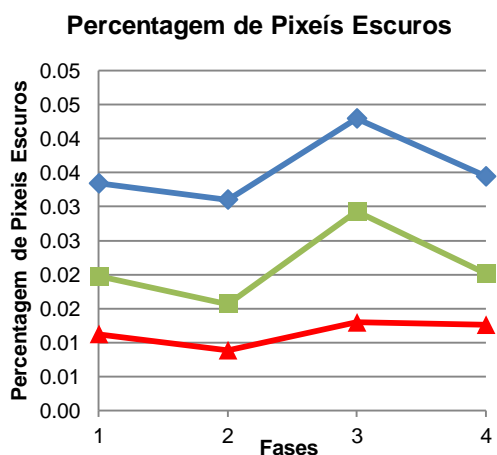


Figura 7.37 – Percentagem de pixéis escuros, ladrilhos vidrados.

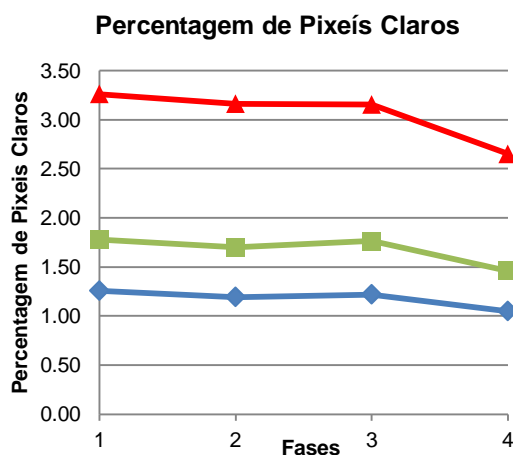


Figura 7.38 – Percentagem de pixéis claros, ladrilhos vidrados.

7.3.3. Análise mineralógica

7.3.3.1. Microscópio petrográfico

Através da análise das lâminas delgadas ao microscópio petrográfico, em nicóis paralelos e nicóis cruzados, foi possível identificar vários aspectos.

No caso das telhas, identificou-se essencialmente quartzo (figura 7.39) com cores de polarização brancas e cinzentas e por vezes amareladas, o que indica que a espessura da lâmina é ligeiramente superior. Apresentam elevada fracturação, possivelmente resultado do processo de fabrico. Por vezes as suas dimensões são superiores a 500 μm estando, na sua maioria, entre os 300 μm e 600 μm . A sua percentagem relativa é de cerca de 15%, sendo o restante correspondente à matriz cerâmica não cristalina.

A fotografia obtida à lâmina correspondente ao grés extrudido (figura 7.40), apresenta, igualmente quartzo com cores de polarização brancas e cinzentas. Identificaram-se também vários grãos de minerais opacos de reduzidas dimensões, que, devido à elevada temperatura de cozedura (1220°C) representam, provavelmente, mulite.

Os grãos de quartzo do grés extrudido apresentam, na generalidade, dimensões inferiores aos observados no caso das telhas, raramente superiores a 500 μm sendo na maioria inferiores a

400 µm. A sua percentagem relativa é de cerca de 10%, enquanto a percentagem dos minerais opacos é inferior a 5%. A matriz cerâmica não cristalina é predominante e o material apresenta uma cor alaranjada.

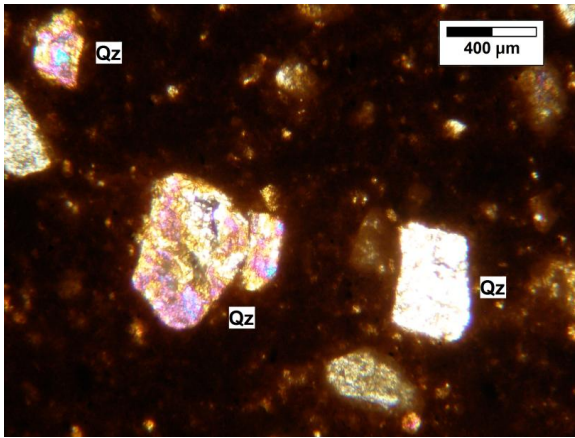


Figura 7.39 – Aspecto das telhas ao microscópio petrográfico (nicóis cruzados).

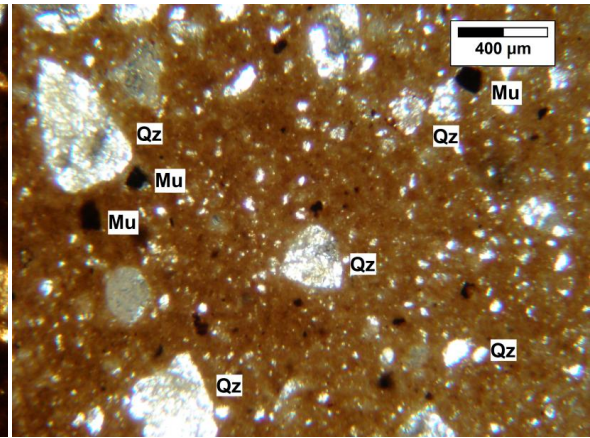


Figura 7.40 – Aspecto dos ladrilhos extrudidos ao microscópio petrográfico (nicóis cruzados).

Na figura 7.41 a) e b), que foram obtidas em laminas delgadas dos ladrilhos vidrados, é possível identificar, a presença abundante de grãos de quartzo. Em alguns casos revelam tons amarelados, o que indica novamente uma espessura da lâmina acima do desejado. Estes apresentam dimensões não superiores a 200 µm e na grande maioria das vezes são inferiores a 100 µm. Ocorre ainda a presença de material opaco, provavelmente mulite, de dimensões variáveis sendo os diâmetros de 150 µm mais frequentes.

A percentagem de grãos de quartzo é de cerca de 15% enquanto a de mulite é inferior a 5%. O material restante corresponde à matriz do produto cerâmico de cores acinzentadas.

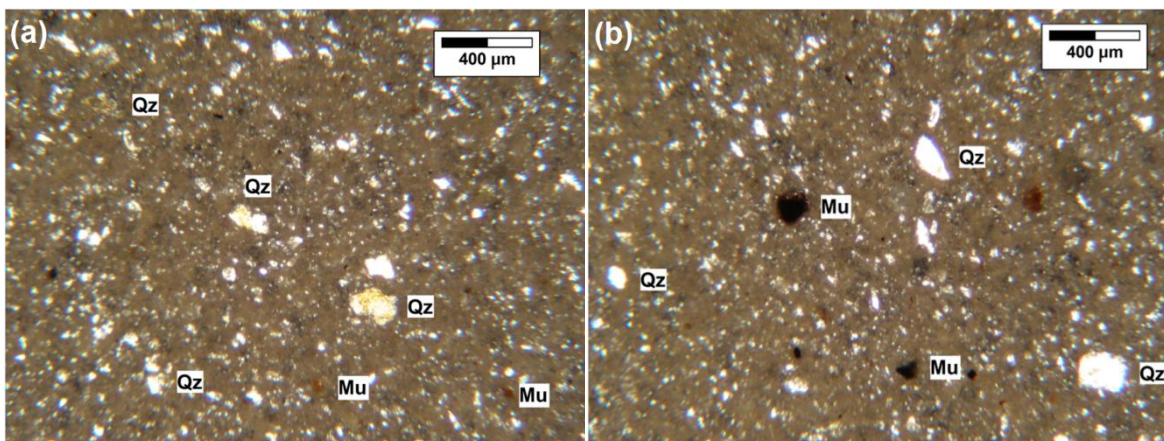


Figura 7.41 a) e b) – Aspecto dos ladrilhos vidrados ao microscópio petrográfico (nicóis cruzados).

7.3.3.2. Difraccção raios X

As figuras 7.42 a), b) e c), representam os difractogramas correspondentes aos três produtos no estado são. Destaca-se em todos, um pico comum correspondente ao quartzo que será o mineral mais abundante. Esta análise está de acordo com os resultados de outros métodos já utilizados em que foi possível identificar a presença do quartzo.

As telhas, através do difractograma, revelam também a presença de hematite. Este facto poderá estar associado ao tom alaranjado das peças.

O difractograma relativo ao grés extrudido, para além da presença do quartzo e hematite que também está associada aos tons alaranjados do produto, revela mulite na sua composição. A presença desta é usual em produtos que sofreram uma elevada temperatura de queima.

Quanto ao grés vidrado, este revela a presença de quartzo, hematite e mulite. A presença dos últimos é justificada pelas mesmas razões expostas no caso do grés extrudido.

As figuras 7.43 representam os difractogramas correspondentes aos três produtos após a conclusão de todos os ciclos de nevoeiro salino. Quando se compara com os difractogramas apresentados na figura 7.42, revelam-se em geral, semelhantes.

Contudo, no caso das telhas, destaca-se um pico, não detectado nos difractogramas anteriores. Este corresponde ao mineral halite, que está presente devido à acção do nevoeiro salino. Este facto comprova a dificuldade da remoção dos sais de NaCl por lavagem em produtos cerâmicos.

No caso do grés extrudido e vidrado, também ocorre a presença de halite no entanto apresentam picos de menor intensidade.

Na tentativa de quantificar a presença destes minerais através dos difractogramas, procedeu-se de forma semelhante à metodologia descrita em Galhano (1999). Desta forma, através das áreas dos picos e dos factores de correcção utilizados por este autor, as percentagens relativas destes minerais estão apresentadas na tabela 7.3.

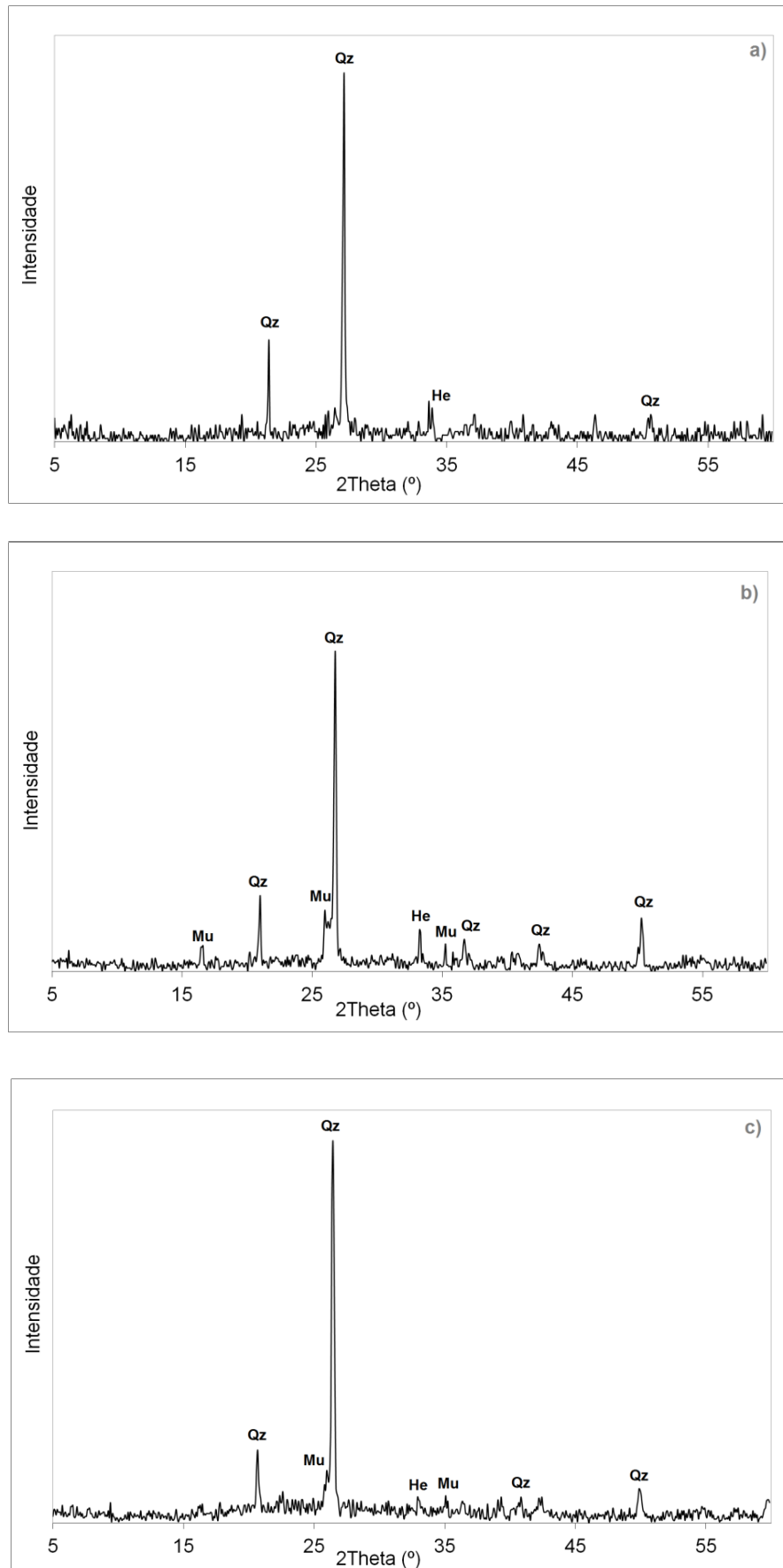


Figura 7.42 - a) Difractograma ao produto: a) telha são; b) grés extrudido são; c) grés vidrado são.
 Legenda: Qz-Quartzo; Mu-Mullite; He-Hematite.

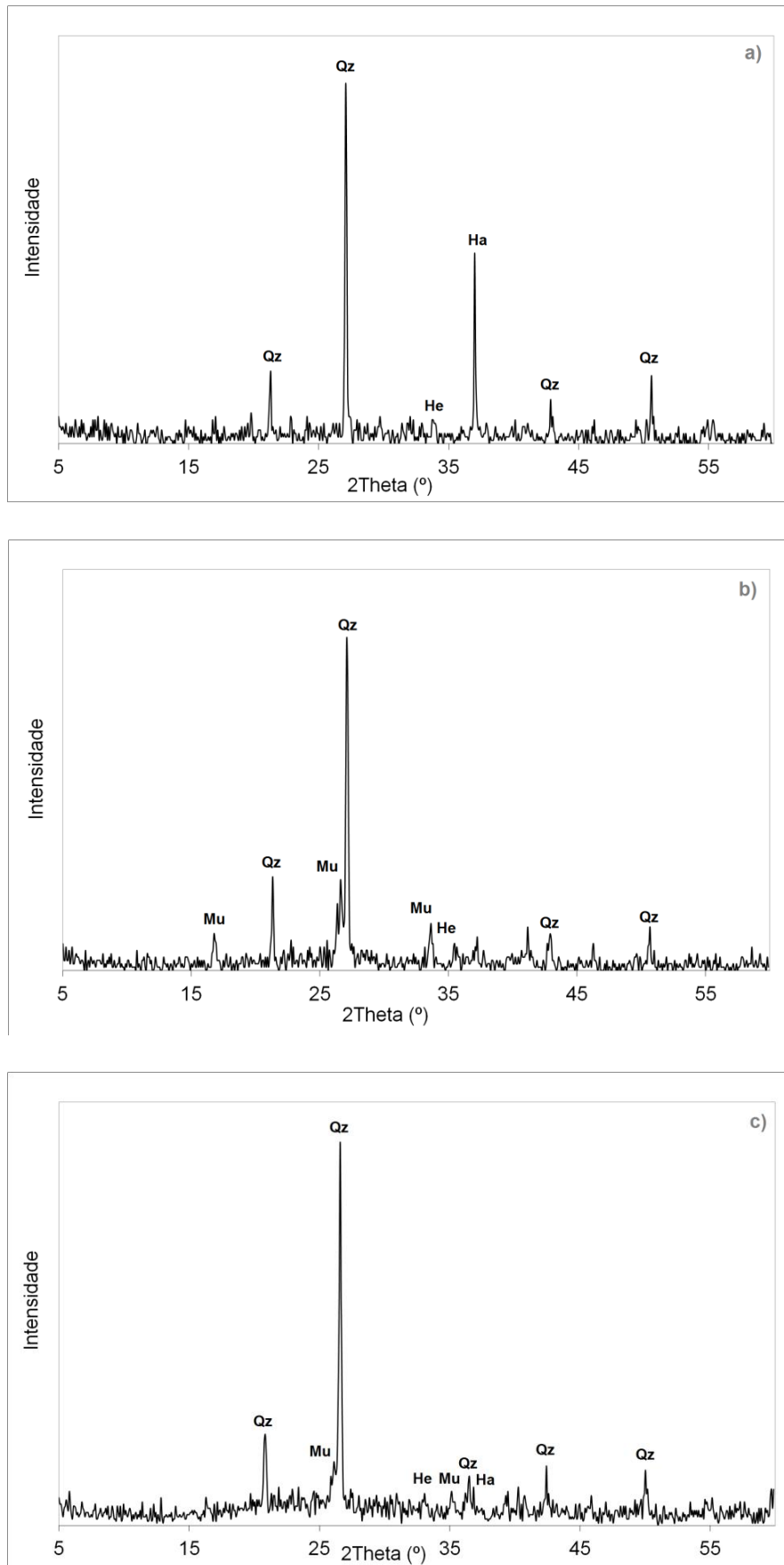


Figura 7.43 - Difractograma ao produto após fase 4: a) telha; b) grés extrudido; c) grés vidrado.

Legenda: Qz-Quartzo; Mu-Mullite; He-Hematite; Ha-Halite.

Tabela 7.3 – Percentagens relativas dos minerais, calculadas através dos difractogramas.

	Telhas		Grés extrudido		Grés vidrado	
	São	Fase 4	São	Fase 4	São	Fase 4
Quartzo	98,4	88,2	94,8	88,0	93,2	92,4
Hematite	1,6	1,0	2,1	4,9	0,8	1,0
Mulite	0,0	0,0	3,0	5,3	6,0	6,0
Halite	0,0	10,9	0,0	1,8	0,0	0,7
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Pela análise dos valores, é possível constatar que o quartzo é o mineral principal em todos os produtos. No caso das telhas, o segundo mineral mais abundante é a hematite sendo que no caso dos ladrilhos é a mulite.

Analisando os valores apresentados após a fase 3, constata-se que nas telhas, a halite apresenta percentagens elevadas, na ordem dos 11%. No caso do grés extrudido é de cerca de 2% e no caso do grés vidrado, 0,7%. Estes valores estão directamente relacionados com as porosidades dos produtos.

O procedimento de preparação de amostras adoptado permitiu identificar a presença dos minerais mais abundantes nos produtos. Apesar disso, os picos com pequenas intensidades podem corresponder a ruído produzido pelo equipamento ou estar relacionadas com a presença de outros minerais menos abundantes.

Para averiguar a presença de outros minerais e de ter uma maior definição dos picos com pequenas intensidades, seria necessário realizar a redução do produto a pó e proceder ao seu tratamento, sendo um deles a eliminação do quartzo presente.

7.3.4. Permeabilidade (Método do Cachimbo)

Para a verificação de alterações na permeabilidade dos produtos cerâmicos utilizou-se o método do cachimbo.

Os intervalos de tempo considerados para efectuar as leituras variaram de acordo com os produtos, devido à discrepância de valores obtidos entre as telhas e os ladrilhos. No entanto, foi seguida a recomendação do documento do RILEM nos 60 minutos iniciais, estando os resultados para o caso das telhas, presentes na figura 7.44. O gráfico refere-se a valores médios entre dois exemplares ensaiados de cada fase onde F0 corresponde às telhas sãs, F1, F2 e F3 correspondem as telhas após 20, 40 e 60 ciclos.

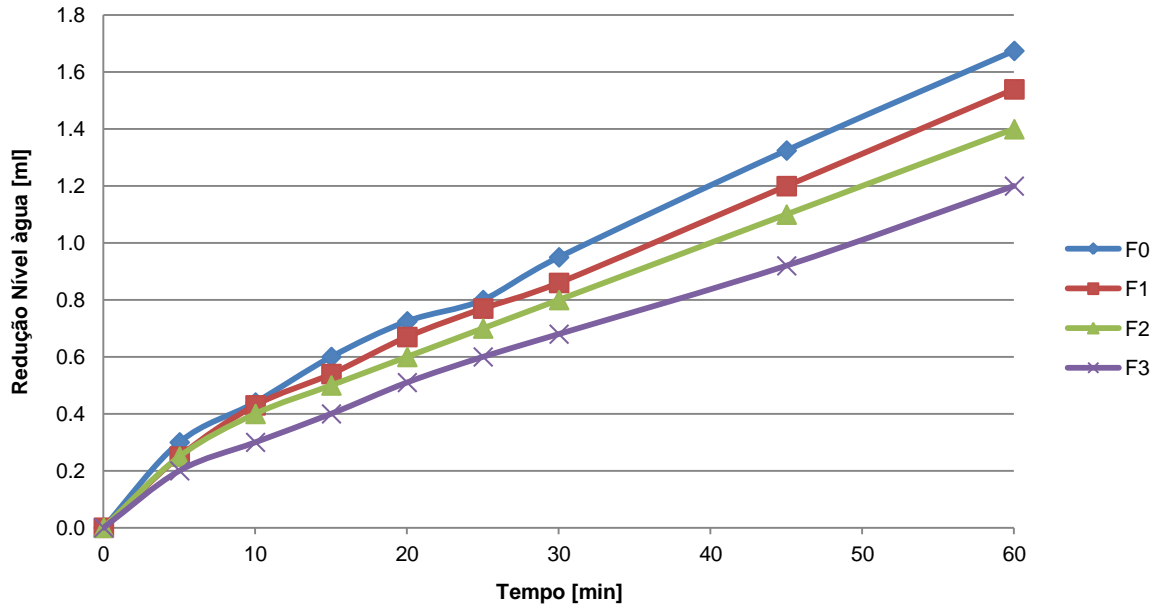


Figura 7.44 - Redução do nível de água no cachimbo vs. tempo (1 hora) para telhas.

Mesmo tendo em conta que a coluna de água presente é equivalente a impactos da chuva quando transportada por ventos de 97 km/h, é possível verificar que as telhas no seu estado inicial apresentam uma permeabilidade relativamente elevada. Nos primeiros 60 minutos de ensaio o nível de água já tinha descido 1,7ml dos 4ml iniciais.

Após este período já era possível verificar macroscopicamente uma mancha com cerca de 2 cm de diâmetro na face inferior da telha (figura 7.45). Este facto revela que a água penetrou a totalidade da espessura da telha.

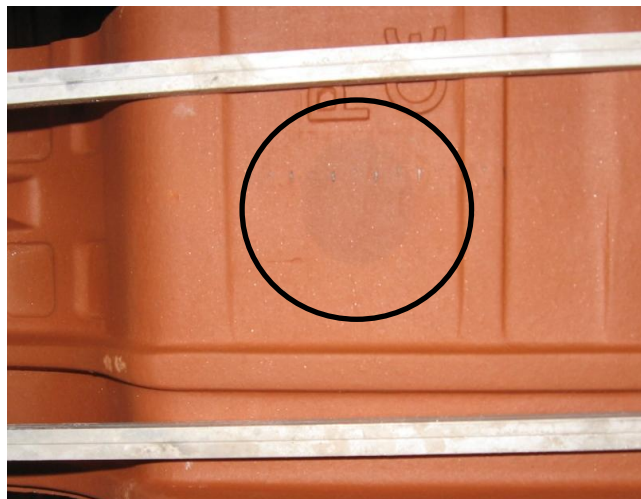


Figura 7.45 – Face oposta à aplicação do cachimbo com mancha de água.

Ao contrário do esperado, quando se analisam as restantes curvas do gráfico, percebe-se que a quantos mais ciclos forem submetidos maior é a diminuição dos valores obtidos. Isto é, menos permeáveis os materiais se tornam.

O aumento da porosidade e o aparecimento de fracturas e micro fracturas por acções físicas da cristalização de sais, deveriam tornar o material mais permeável. No entanto, provavelmente pela dificuldade da total remoção desses sais em materiais cerâmicos, mesmo após várias semanas de lavagem, poderia fazer prever resultados deste tipo. A permanência de cristais nos vazios do produto, provoca uma obstrução à passagem de água. Poderá inferir-se que estes devem surgir em zonas mais interiores, pois a diferença de valores obtidos nos primeiros 30 minutos entre as fases não é tão significativa, indicando que a água ainda não chegou a zonas tão profundas onde eventualmente permanecem os cristais.

A eventual presença de pequenos detritos destacados, provenientes do próprio material e resultado da acção da cristalização dos sais nos poros, podem também ter provocado um efeito de colmatação dos vazios e aumentado a tortuosidade do sistema. Este facto poderá ter contribuído para a diminuição de permeabilidade.

Ideia semelhante está descrita em Schunck *et al.* (2003) que afirma que a estrutura porosa permite a introdução ou percolação de água com substâncias dissolvidas podendo levar à deposição de impurezas que tendem a colmatar os poros e a tornar a telha ainda mais impermeável.

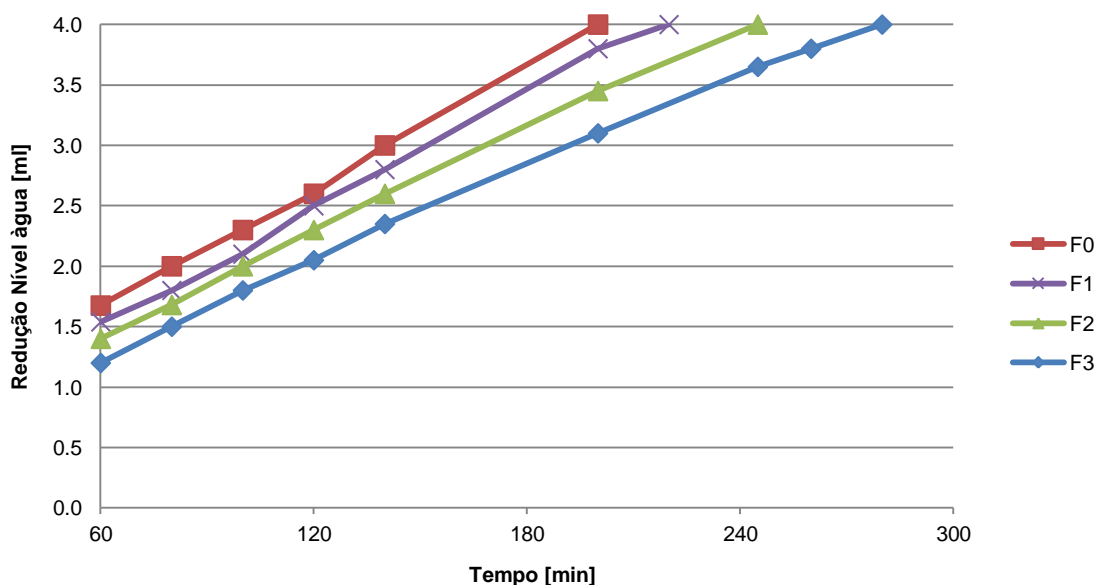


Figura 7.46 - Redução do nível de água no cachimbo até 4ml para telhas.

Após os 60 minutos (figura 7.46) é possível verificar que a sequência se mantém havendo uma redução do nível de água, que sofre um abrandamento em todos os produtos. Este facto está associado essencialmente à diminuição gradual da coluna de água e portanto diminuição das pressões envolvidas.

Podemos ainda verificar que a total penetração da água (4ml) se deu em tempos muito distintos. A mesma quantidade de água em telhas submetidas a 60 ciclos levou cerca de mais 80 minutos a penetrar em relação a telhas saídas de fábrica.

Parece que a acção do nevoeiro salino provocou uma redução da permeabilidade, exercendo uma acção pouco negativa neste parâmetro. Especialmente tendo em consideração que uma remoção completa dos sais numa situação real por um fenómeno atmosférico como a chuva é extremamente difícil.

Relativamente aos ladrilhos, ambos apresentaram uma reduzida permeabilidade. No estado inicial, passado 24 horas de ensaios os valores do nível da água nos cachimbos apresentaram uma pequena redução associada a fenómenos de evaporação, também verificados nos cachimbos padrão. Assim, relativamente a estas amostras os valores registados foram sempre nulos. Verificou-se a mesma situação para as amostras submetidas aos vários ciclos de nevoeiro salino.

A obtenção destes valores não permite afirmar que os ladrilhos se apresentam impermeáveis. Apenas concluímos que para materiais de muito reduzida permeabilidade, numa escala bastante pequena onde é necessário um grau de precisão bastante elevado, este tipo de ensaio poderá não se revelar adequado.

7.3.5. Absorção de água, porosidade aparente

Os parâmetros de absorção de água e porosidade aparente foram obtidos do mesmo ensaio, cujo procedimento está descrito na norma EN NP 10545-3. Os dados obtidos para as telhas estão presentes nas figuras 7.47.

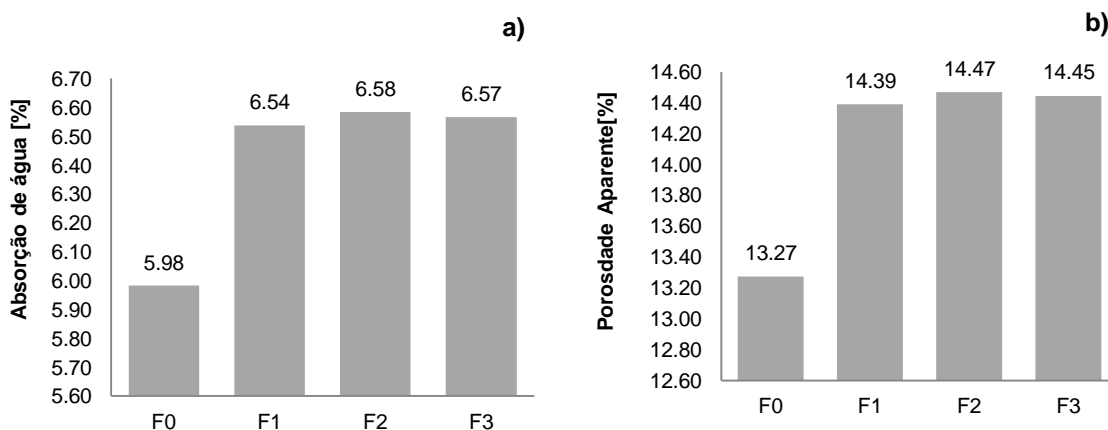


Figura 7.47 – a) Absorção de água das telhas; b) Porosidade aparente das telhas.

Considerando os valores de absorção de água para as telhas (figura 7.47 a)), é possível constatar que estas apresentavam no seu estado inicial um valor de cerca de 6% da massa total. Após a primeira fase de ciclos (F1), a absorção de água em termos de massa, sofreu um incremento significativo de mais de 0,5%. Nos ciclos seguintes, os valores obtidos, são relativamente constantes, relevando uma estabilização. Isto significa que uma telha com uma massa original de 3,750kg, quando completamente saturada passa a pesar cerca de 3,975 kg.

Após a acção do nevoeiro salino a massa que cada telha, completamente saturada, exercerá sobre a estrutura será de cerca de 4,000kg. Deste modo, considera-se que o nevoeiro salino tem uma influência significativa na absorção de água.

A porosidade aparente (figura 7.47 b)), correspondente aos poros acessíveis, apresenta um comportamento semelhante. Na fase 1, houve um incremento de mais de 1% que se manteve até à conclusão das fases. Podemos concluir que existiu um aumento do volume dos poros já existentes nas peças, e/ou surgimento de novos poros, por acções físicas da cristalização dos sais. Como seria expectável, devido à relação directa entre os dois parâmetros, após uma alteração significativa de valores na fase 1, ocorreu uma estabilização.

Os dados aqui apresentados revelam-se contraditórios aos apresentados no ensaio de permeabilidade pelo método do cachimbo que revelaram uma diminuição da permeabilidade com o evoluir dos ciclos, sugerindo uma colmatção da porosidade provocada pelo cloreto de sódio não removido.

O aumento da porosidade foi neste ensaio provado. Este método de ensaio, por imersão dos provetes em água destilada e sua ebulição, parece ter contribuído para a desobstrução da rede porosa através da dissolução do cloreto de sódio remanescente.

O grés extrudido apresenta inicialmente uma absorção de água de 1,4% da sua massa inicial (figura 7.48 a)). Significa que este tipo de produto se apresenta na categoria de produtos com uma gama de absorção de água que varia entre 0,5% e 3%. Durante a fase 1 e 2, este valor cresce de uma forma linear para valores de 1,9% e 2,2% respectivamente, estabilizando na fase 3. A acção do nevoeiro salino ao longo do tempo apresenta uma grande influência neste parâmetro até à fase 2 sendo que na fase 3 ocorreu uma estabilização dos valores. Esta situação também é verificada na porosidade aparente (figura 7.48 b)), onde existe uma diferença de aproximadamente 2% da fase 0 para a fase 2, mantendo-se na fase 3. Ocorreu nestes casos uma maior modificação, relativamente às telhas, entre o estado inicial das peças e após a conclusão dos ciclos, o que revela uma maior intensidade na acção do nevoeiro salino na rede porosa destas peças.

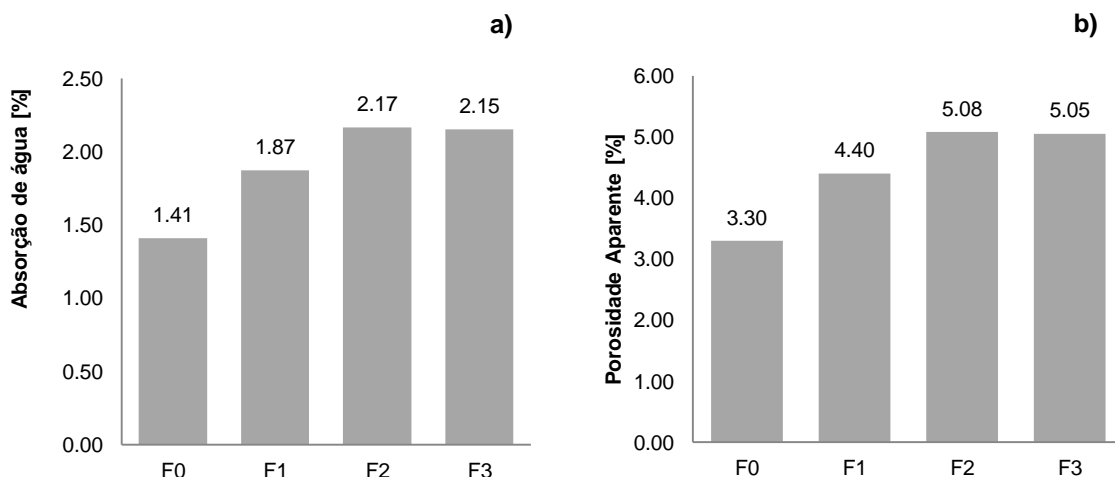


Figura 7.48 – a) Absorção de água do grés extrudido; b) Porosidade aparente do grés extrudido.

Dos três produtos, o grés vidrado é o que apresenta valores de absorção de água menos elevados (figura 7.49 a)). No seu estado inicial, apresentam 0,15% de absorção de água relativamente à sua massa. Portanto, valores inferiores a 0,5%. Ainda que numa pequena ordem de grandeza, ao longo das fases, verifica-se o seu crescimento, ao contrário do verificado nas telhas e grés extrudido, onde surgiu uma estabilização na fase 1 e fase 2 correspondentemente. Esta regra parece indicar que quanto menor for a absorção de água de um produto, mais prolongada no tempo é a acção do nevoeiro salino deste parâmetro.

A porosidade aparente (figura 7.49 b)) revela um valor inicial, igualmente pouco elevado. O seu crescimento constante ao longo das fases é também verificado, contudo, o aumento relativo é superior ao verificado na absorção de água.

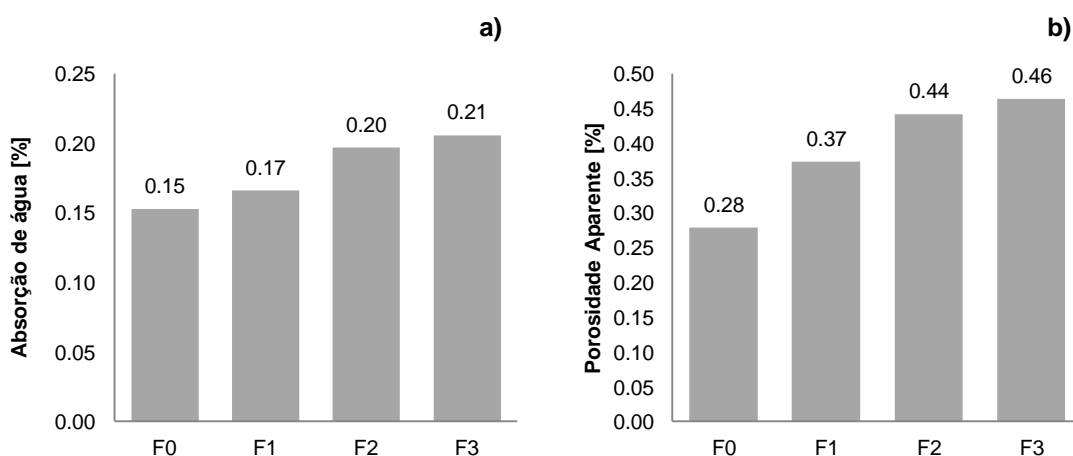


Figura 7.49 – a) Absorção de água dos ladrilhos vidrados; b) Porosidade aparente dos ladrilhos vidrados.

7.3.6. Coeficiente de dilatação linear térmico

Os valores obtidos para o coeficiente de dilatação linear térmico para o caso dos dois tipos de ladrilhos com e sem acção do nevoeiro salino estão representados na tabela 7.4.

Tabela 7.4 – Resultados do coeficiente de dilatação linear térmico.

	Fase 0 [°C ⁻¹]	Fase 3 [°C ⁻¹]
Grés extrudido	6,13X10 ⁻⁶	5,83X10 ⁻⁶
	6,10X10 ⁻⁶	5,86X10 ⁻⁶
Grés vidrado	6,59X10 ⁻⁶	6,84X10 ⁻⁶
	6,16X10 ⁻⁶	6,44X10 ⁻⁶

Através da análise dos valores obtidos para o caso do material inalterado, verifica-se que para este tipo de materiais, os resultados estão na gama de valores obtidos por outros autores como APICER (2003) e Lucas e Abreu (2006).

No caso do grés vidrado, estes valores apresentam-se ligeiramente superiores, isto é, para uma mesma diferença de temperatura, a sua variação dimensional será superior à verificada no grés extrudido.

Após a acção do nevoeiro salino, na fase 3, verificaram-se algumas mudanças neste parâmetro. Relativamente ao grés extrudido, o seu coeficiente sofreu uma redução de cerca de 0,2X10⁻⁶ °C⁻¹ face ao estado inicial. Neste caso, pode dizer-se que a variação dimensional para uma mesma temperatura, será inferior à verificada após a sua aplicação em obra.

No caso dos vidrados, este valor apresentou uma tendência contrária. Com a acção do nevoeiro salino o coeficiente sofreu um incremento de 0,25X10⁻⁶ °C⁻¹.

Os comportamentos antagónicos no coeficiente de dilatação linear térmica nos dois tipos de peças, face à acção do nevoeiro salino, poderão indicar, que esta acção está a provocar nos materiais alteração com diferentes características.

Na tentativa de melhor compreender as modificações destes parâmetros, consideremos a expressão apresentada no capítulo 6.3.7.:

$$t_{se} = t_e + \frac{\alpha_s \cdot R}{h_e}$$

A temperatura ambiente exterior (t_e), para o caso de Portugal poderá variar significativamente, no entanto, poderá atingir ao longo do ano amplitudes de 40°C. O coeficiente de absorção da radiação solar (α_s) dos materiais varia entre os valores de 0 e 1, está dependente essencialmente da sua cor, para cores claras o valor é mais próximo de 0, para cores mais escuras como o preto, este valor poderá ser de 1. No caso de cerâmicos vermelhos e cinzentos considera-se 0.7 e 0.5 respectivamente (Yao e Yan, 2011). De um modo geral para ladrilhos,

considera-se $h_e=25W/m^2.°C$ (APICER, 2003). Por outro lado a radiação solar global (R) depende de vários parâmetros como a sua orientação e inclinação relativamente ao sol. A título exemplificativo, uma peça horizontal situada em Lisboa pode estar sujeita a uma radiação solar global de $1000W/m^2$ (Castro, 2008).

Assim, considerando:

- $t_e = 40°C$;
- $\alpha_s = 0,7$ e $0,5$ (grés extrudido e vidrados, respectivamente);
- $h_e=25W/m^2.°C$;
- $R=1000W/m^2$.

Temos:

- $t_{se \text{ (extrudido)}}=68°C$
- $t_{se \text{ (vidrado)}}=60°C$

Aplicando estes valores, correspondentes a uma situação extrema e utilizando as dimensões reais de cada ladrilho, obtemos variações dimensionais resultado de dilatação linear térmica:

Tabela 7.5 – Dilatação linear de origem térmica dos produtos em estudo.

	Por peça [mm]		Por fachada de 20 metros [mm]	
	Fase 0	Fase 3	Fase 0	Fase 3
Grés extrudido	0,062373	0,059568	8,10849 (130 peças)	7,74384 (130 peças)
Grés vidrado	0,0371025	0,0386448	7,4205 (200 peças)	7,72896 (200 peças)

Considerando uma fachada de 20 metros, onde são utilizadas cerca de 130 peças de grés extrudido obtêm-se um valor total de 7,74 mm. Para cobrir a mesma área com vidrados, são necessárias 200 peças que no total apresentam uma dilatação semelhante, de 7,72 mm. Desta forma é necessário proceder ao criterioso dimensionamento das juntas bem como dos elementos de fixação ao suporte.

Relativamente à alteração que a acção do nevoeiro salino provocou, é possível verificar, como seria de esperar, que para as condições acima descritas, ocorreu uma diminuição da dilatação no que respeita ao grés extrudido e uma aumento no vidrado. Estes são: de -4,50% e +4,16% para o grés extrudido e para o vidrado, respectivamente.

7.3.7. Módulo de ruptura e módulo de elasticidade

No caso das telhas, devido ao reduzido sentido prático do conhecimento do módulo de elasticidade foi apenas calculado o módulo de ruptura. Assim, na figura 7.50, pode-se observar que as telhas, no seu estado são, apresentam um módulo de ruptura de 19,15 MPa. Após 20 ciclos de nevoeiro salino, na fase 1, existe um decréscimo acentuado da resistência para um valor de 17,12MPa. Este facto corresponde a uma diminuição de mais de 10% relativamente à resistência inicial que pode ser justificado pela acção degradativa dos sais no interior das telhas. Posteriormente, após as telhas serem submetidas a 3 ciclos, o seu módulo de ruptura sofreu um incremento para valores próximos dos valores obtidos nas telhas no seu estado inicial. A diferença entre os valores é de cerca de 1%.

Uma das explicações possíveis para que tal tenha acontecido, poderá residir no facto da colmatação da rede porosa pela presença de sais, e assim a existência de um incremento de resistência em relação à fase 1. Vejamos, como foi referido anteriormente, é extremamente difícil a remoção completa de todos os sais, pois quanto o maior número de ciclos, maior é a penetração em profundidade do NaCl. Relembrando, é possível verificar que a permanência de cristais na porosidade das telhas após as lavagens, aumenta substancialmente com o número de ciclos, a estes valores da fase 2 e 3, deverá ainda acrescentar-se o valor da perda de material constatada nas telhas.

Assim, a colmatação dos poros poderá resultar na diminuição da porosidade pouco acessível originando um aumento da resistência compressiva do material. Num ensaio à flexão, a zona inferior é submetida a esforços de tracção e a zona superior submetida a esforços de compressão, havendo neste último um incremento.

Da fase 2 para a fase 3, o módulo de ruptura decresce novamente. A sua redução em relação ao estado inicial é na ordem dos 8%. Apesar desta situação ser semelhante à anterior, neste caso, a resistência à compressão fornecida pela presença de sais na porosidade não é suficientemente eficaz para compensar os possíveis danos estruturais ocorridos nas telhas.

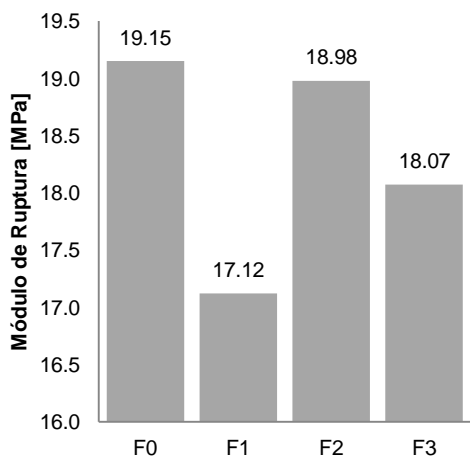


Figura 7.50 – Módulo de ruptura das telhas nas diversas fases.

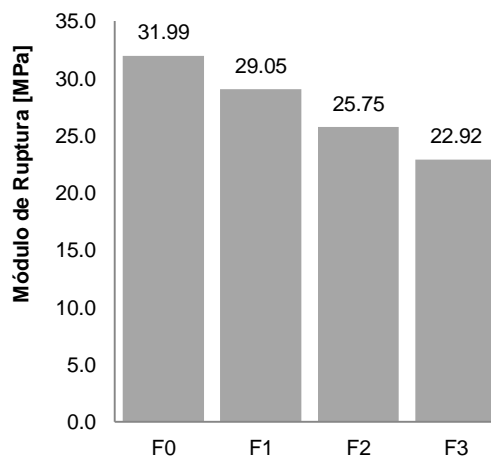


Figura 7.51 – Módulo de ruptura do grés extrudido nas diversas fases.

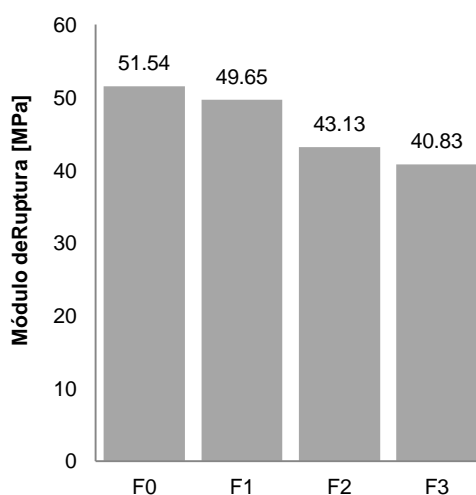


Figura 7.52 – Módulo de ruptura dos ladrilhos vidrados nas diversas fases.

No caso do grés extrudido (figura 7.51), o módulo de ruptura inicial é de 32 MPa, típico deste tipo de materiais e maior que o obtido pelas telhas. Com a evolução das fases, ocorre um decréscimo constante e significativo, onde o valor verificado foi de 23 MPa. Este representa um decréscimo de aproximadamente 30% relativamente ao valor inicial. A acção do nevoeiro salino condiciona as características de resistência deste tipo de materiais.

O módulo de elasticidade (figura 7.53) apresenta um comportamento inversamente proporcional ao módulo de ruptura. Com o aumento do número de ciclos de nevoeiro salino, este tende a apresentar valores continuamente mais altos entre 229 MPa e no final de 240 MPa. Este parâmetro é também influenciado pela acção do nevoeiro salino, ainda que numa ordem de grandeza inferior. Este facto poderá revelar-se prejudicial à aplicação deste tipo de produtos, nomeadamente no que diz respeito à resistência ao descolamento.

No que respeita ao grés vidrado, o seu módulo de ruptura inicial é de 52 MPa (figura 7.52) sendo um dos mais altos em revestimentos cerâmicos. Após a acção da primeira sequência de

ciclos de nevoeiro salino, verifica-se uma redução deste valor em cerca de 2 MPa. A maior diferença entre ciclos é registada na fase 2, onde o valor obtido foi de 43MPa. No final dos ensaios de nevoeiro salino, na fase 3, o módulo de ruptura foi de aproximadamente 41 MPa, o que corresponde a uma queda no módulo de ruptura face ao inicial de 20%. A acção do nevoeiro salino teve uma influência negativa nas propriedades do material, diminuindo o módulo de ruptura e a sua resistência.

O módulo de elasticidade apresentado por estes produtos é de cerca de 363MPa (figura 7.54). Este valor decresceu em todas as fases realizadas sem nenhum comportamento padrão. Desta forma, é possível verificar uma mudança deste parâmetro originada pelos ciclos de nevoeiro salino.

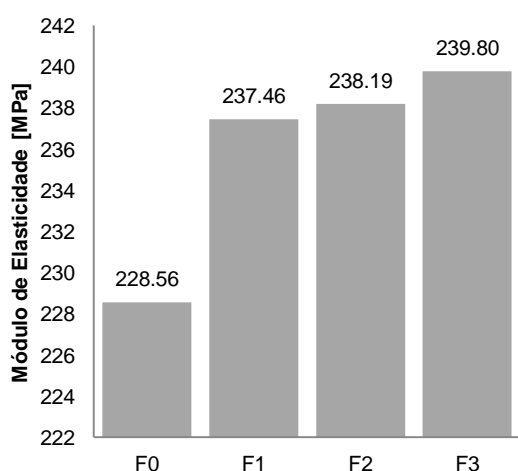


Figura 7.53 – Módulo de elasticidade do grés extrudido nas diversas fases.

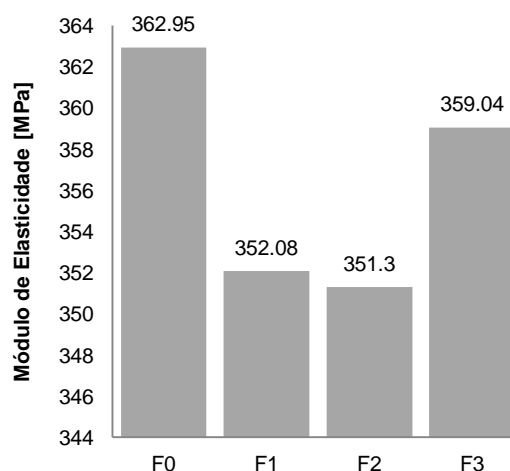


Figura 7.54 – Módulo de elasticidade dos ladrilhos vidrados nas diversas fases.

8. Conclusões

A acção do nevoeiro salino é uma causa de degradação em materiais cerâmicos aplicados em construções que se situam em zonas litorais. Esta degradação é expressa através de alterações químicas, físicas e mecânicas.

Os ensaios laboratoriais efectuados aos diferentes produtos em estudo e respectivas matérias-primas, possibilitaram compreender quais as características inerentes a cada produto, que influenciam o desempenho da peça no seu estado inicial.

Estas características são:

- Granulometria da matéria-prima;
- Mineralogia da matéria-prima;
- Temperatura máxima de cozedura;
- Pressão de extrusão/conformação;
- Presença de acabamento.

Para além do propósito identificativo, os dados fornecidos pelos fabricantes relativos aos processos de fabrico, em conjunto com as análises granulométricas efectuadas às matérias-primas (tabela 8.1), permitiram prever o desempenho dos produtos que delas resultaram.

Tabela 8.1 – Resumo das características de fabrico das peças em estudo.

	Granulometria	Temp. máx. de cozedura	Pressão de extrusão	Acabamento
Telhas	Areia 17,4%; Silte 60,0%; Argila 22,7%	1035°C	12,5 bar	Ausente
Grés extrudido	Areia 9,4%; Silte 39,3%; Argila 51,3%	1230°C	20,0 bar	Ausente
Grés Vidrado	-	1220°C	-	Vidrado

Após os ensaios realizados aos produtos no seu estado inicial, pode-se concluir que, quanto menor for a dimensão média dos grãos da matéria-prima, mais contínua for a sua granulometria, maior a pressão de extrusão, maior a temperatura máxima e eventualmente a presença de acabamento vidrado, melhores serão as características iniciais da peça.

Assim, os produtos em estudo podem ser ordenados quanto à sua perspectiva de desempenho face aos parâmetros estudados:

Grés vidrado > Grés extrudido > Telhas

É necessário algum cuidado na interpretação desta afirmação, uma vez que apesar dos ensaios e análises efectuadas a todos os produtos serem equivalentes, representam produtos com aplicações distintas e assim com diferentes graus de exigência, sendo muitas vezes adequados para as funções para o qual foram fabricados.

A campanha experimental de ensaios de envelhecimento acelerado por nevoeiro salino para simulação de um ambiente litoral, revelou-se útil para a avaliação do desempenho que os produtos cerâmicos apresentam face a este ambiente. Apesar disso, a metodologia seguida, resultado da adaptação da norma NP EN 14147, não permitiu a quantificação da perda de material ocorrida, tendo sido apenas constatada visualmente no caso das telhas. A utilização da difracção de raios-X foi útil para provar a ineficiência da remoção de NaCl por lavagem.

Através da inspecção visual macroscópica e com recurso à lupa binocular foi possível identificar alterações essencialmente físicas das telhas e grés extrudido. Também desta forma se compreenderam os fenómenos ocorridos superficialmente. Verificou-se que minerais com características de elevada dureza e de dimensões próximas ou superiores a 0,5mm, quando presentes na superfície do produto, potenciam a perda de material sob a forma de escamações e eventualmente o seu próprio destacamento. Este facto manifestou-se no caso das telhas e do grés extrudido onde foram identificados grãos de quartzo com as características acima descritas, através da análise granulométrica à matéria-prima, na observação à lupa binocular e ao microscópio petrográfico.

A sua presença origina dois factores que podem ser prejudiciais ao bom desempenho dos produtos quando submetidos à cristalização dos sais:

- Interface entre o cristal e a matriz cerâmica: esta interface facilita a penetração e permanência da solução na peça, tornando-a numa zona preferencial para crescimento de cristais.
- Diferentes resistências mecânicas entre materiais adjacentes: a presença de minerais (por ex. quartzo) na matriz cerâmica cria uma heterogeneidade de resistência pontual. As tensões geradas pelo crescimento de cristais de NaCl são aplicadas nestes dois materiais, originando a cedência do que apresenta menor resistência, provocando assim escamações.

Outros elementos presentes nos produtos que se revelaram prejudiciais, são todos aqueles susceptíveis de aumento de volume. Por exemplo, os minerais micáceos devido à expansão nos planos de clivagem constituem um desses casos. Fazem também parte deste grupo, todos os minerais onde o aumento de volume ocorre devido aos diferentes estados de oxidação dos

seus elementos. A sua acção de degradação é tanto maior, quanto maior for a dimensão destes minerais.

Com o propósito de quantificar e prever o efeito que estas alterações causam no desempenho dos produtos, foi realizado um conjunto de ensaios laboratoriais.

Através da nova metodologia adoptada, foi possível quantificar a evolução da tonalidade ao longo dos ciclos de nevoeiro salino e estabelecer comparações entre os produtos. Esta revelou-se bastante sensível a pequenas variações, dificilmente detectadas macroscopicamente. Verificou-se ser uma técnica prática, expedita e económica.

No caso das telhas, o efeito do nevoeiro salino provocou nos valores RGB uma maior dispersão, revelando o aspecto mais heterogéneo da sua superfície. Esta deveu-se à presença de minerais de maiores dimensões no produto. No caso do grés vidrado, os valores RGB obtidos indicam um escurecimento geral do produto.

No que respeita às características tecnológicas, conclui-se que o método do cachimbo não é o mais adequado para a avaliação das características permeáveis em materiais cerâmicos de baixa permeabilidade, como é o caso dos ladrilhos utilizados. No caso das telhas, a redução da permeabilidade do produto após os ciclos de nevoeiro salino, confirmou a presença de NaCl nos poros.

A evolução dos parâmetros calculados através da metodologia proposta na NP EN 10545-3, absorção de água e porosidade aparente, revelou-se em todos os casos desfavorável ao seu desempenho. Ao longo dos ciclos de nevoeiro salino, houve uma tendência para o aumento dos valores de absorção de água e porosidade aparente.

Concluiu-se através da quantificação das características mecânicas, pelo módulo de ruptura, a existência de degradação, ainda que a escalas distintas entre produtos, provocada pela acção do nevoeiro salino.

Na tabela 8.2, apresenta-se um resumo de todos os resultados das observações e ensaios efectuados. Os valores apresentam-se relativamente ao produto inicial e não aos valores absolutos. Constata-se, que em duas das mais importantes características, absorção de água e módulo de ruptura, os produtos onde maior alteração se verificou, foram os ladrilhos. Ocorreu um aumento na absorção de água e uma diminuição do módulo de ruptura, face às suas condições iniciais, bastante significativos. A resistência apresentou um decréscimo de mais de 20% e o valor da absorção de água um aumento de mais de 40%.

Este facto é extremamente relevante no dimensionamento e selecção dos materiais para aplicação em ambientes sujeitos à acção do nevoeiro salino. Isto é, apesar do bom

desempenho inicial do produto e as suas características se preverem favoráveis à aplicação neste ambiente, são aqueles que maiores alterações demonstraram face ao estado inicial.

Considera-se que este estudo constituiu uma importante ferramenta na selecção mais adequada de matérias-primas argilosas e materiais cerâmicos para a aplicação em ambientes com influência marinha. Poderá ser uma mais-valia para os fabricantes, que podem assim ajustar a formulação das suas pastas e parâmetros de fabrico, bem como no aconselhamento dos seus clientes. Para os clientes, através da selecção do material mais adequado, podem evitar, prevenir ou retardar o aparecimento de patologias numa fase precoce da construção, reduzindo custos provenientes de intervenções durante o seu tempo de vida.

Tabela 8.2 – Resumo das alterações verificadas nos produtos após 60 ciclos de nevoeiro salino.

	Obs. Macroscópica	Obs. à lupa binocular	Tonalidade	Mineralogia	Permeabilidade	Absorção de água *	Porosidade aparente *	Coef. dilatação linear térmica *	Módulo de ruptura *	Módulo de elasticidade *
Telha	Picamento e escamação	Perda de material e destacamento de minerais	Maior heterogeneidade	+++ Halite	Diminuição da permeabilidade	+9,87%	+8,89%	-	-5,64%	-
Grés extudido	Picamento	Pequenas escamações	Sem mudança	++Halite	Sem mudança	+52,42%	+53,03%	-4,50%	-28,35%	+4,92%
Grés Vidrado	Sem mudança	Sem mudança	Escurecimento homogêneo	+Halite	Sem mudança	+40,00%	+54,29%	+4,16%	-20,78%	-1,08%

*Valores em % face ao valor inicial do material são.

9. Desenvolvimentos Futuros

Um dos objectivos desta dissertação está associado à elaboração de trabalhos futuros. Devido ao esforço na caracterização dos processos de fabrico e das características dos materiais aqui estudados, será possível, em conjunto com outros estudos da mesma natureza, perceber com mais clareza os parâmetros que mais afectam a durabilidade dos materiais cerâmicos estruturais à acção do nevoeiro salino. Estes estão certamente relacionados com a composição da matéria-prima e com os processos de fabrico. Futuramente, é conveniente a utilização de produtos onde discorde apenas uma destas variáveis. Isto é, manter o processo de fabrico (temperatura de cozedura e acabamento) variando as características da matéria-prima ou variar a temperatura de cozedura e utilizar uma matéria-prima semelhante.

Como foi referido ao longo da dissertação, a norma aplicada para a realização do envelhecimento acelerado por nevoeiro salino não está adaptada para a utilização de materiais cerâmicos estruturais. A remoção do NaCl das amostras através da metodologia proposta pela norma, revelou-se pouco apropriada para estes materiais.

Pretende-se então, encontrar uma forma eficaz de remoção. Verificou-se, pela ausência de qualquer resultado anómalo nos valores de absorção de água, que o método de ebulição dos provetes poderá ser uma boa solução na remoção do NaCl de amostras cerâmicas. Tem-se que verificar esta afirmação experimentalmente. Uma vez que este procedimento será frequente durante o ensaio de envelhecimento acelerado, é necessário avaliar, cuidadosamente as implicações da ebulição nos produtos, de um ponto de vista químico, físico e mecânico.

Alguns dados obtidos experimentalmente, carecem de um melhor esclarecimento acerca dos fenómenos ocorridos. Estes podem ser despistados através da elaboração de outros tipos de ensaios, não considerados nesta dissertação.

Relativamente às telhas, ocorreu uma diminuição brusca da resistência após a fase 1, (20 ciclos) de nevoeiro salino, ao que se seguiu um incremento de resistência na fase 2 (40 ciclos) relativamente à fase anterior. Este fenómeno foi explicado teoricamente, sem comprovação experimental. Para esclarecer esta questão, é necessário garantir a completa remoção de NaCl do interior dos produtos. Esta poderá, possivelmente realizar-se através do método anteriormente referido.

Uma outra situação, também não esclarecida nesta dissertação, advém do facto do grés vidrado apresentar um constante ganho de massa após a sua lavagem por imersão. Foi sugerido que esta, provem da ocorrência de adsorção de água, não removida a uma temperatura de 110°C. Para esta confirmação é recomendável a elaboração de análises térmicas diferenciais para uma melhor compreensão dos fenómenos ocorridos.

10. Bibliografia

- Aboobaker, K. (2010) – Desenvolvimentos recentes na normalização de tijolos cerâmicos de alvenaria e telhas cerâmicas. Dissertação de Mestrado. *Faculdade de Ciência e Tecnologia*. Departamento de Engenharia Civil.
- Aires-Barros, L. (1991) – Alteração e alterabilidade de rochas. *Instituto Nacional de Investigação Científica*. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 384p.
- Alberts, A., Melchiades, F., Machado, R., Baldo, J., Boschi, A. (2002) - Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica*. Vol. 48. pp. 34- 37.
- Alvarez, J. (2007) – Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano. *2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*. Lisboa.
- Annerel, E., Taerwe, L. (2011) - Methods to quantify the colour development of concrete exposed to fire. *Construction and Building Materials*. Vol. 25 (10), pp. 3989-3997.
- APICC (1998) – Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas. *APICC*. Coimbra.
- APICER, (2003) – Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos. *Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica e Construção*. Coimbra.
- Arnold, A., Kueng, A. (1985) – Crystallization and habits of salt efflorescences on walls I: Methods of Investigation and Habits. Félix G (ed.) Proc. 5th Int. Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, pp. 255–267.
- Arnold, A., Zehnder, K. (1985) – Crystallization and habits of salt efflorescences on walls II: Conditions of crystallization. Félix G (ed.) Proc. 5th Int. Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, pp. 269–77.
- ASM (2002) – Thermal Properties of Metals. ASM Ready Reference. *ASM International Materials Properties Database Committee*. 7p.
- Bailey, S. W. (1980) – Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals. *American Mineralogist*, 65, pp 1-7.
- Bain, J.A. (1970) - A plasticity chart as an aid to the identification and assessment of industrial minerals. *Clay Mineral*. Vol. 9. pp. 1–17.
- Baio Dias, A. (2002) – Construção em tijolo cerâmico: Das exigências normativas do produto à prática de aplicação. *P.B. Lourenço & H. Sousa*. Porto.

- Barba, A., Beltrán, V., Felíu, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., Sanz, V. (2002) – Materias primas para la fabricacion de soportes de baldosas cerâmicas. 2ª Edição. *Instituto de Tecnología Cerámica*. Castellón.
- Becker, G.F., Day, A.L. (1905) - The linear force of growing crystals. *Proc. Washington Acad. Sci.* Vol. 7. pp. 283-288.
- Beixing, L., Guoju, K., Mingkai, Z. (2011) - Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete. *Construction and Building Materials*. Vol. 25. pp. 3849–3853.
- Benavente, D., Cueto, N., Martínez-Martínez, J., García del Cura, M.A., Cañaveras, J.C. (2007) - The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. *Environ. Geol.*, Vol. 52, pp.215-224.
- Bessa-Torcatto, M.; Figueiredo, C.; Torcatto, J. (2007) – Utilização da metodologia “Análise de Imagem” no estudo de rochas ornamentais. *Revista de Geologia*. Vol. 20 (1). pp. 65-81.
- Bessa-Torcatto, M.; Torcatto, J., Figueiredo, C., Neto, J. (2008) – Estudo dos granitos cearenses “vermelho Filomena, meruoca clássico e verde ceará” por análise digital de imagem em câmara com atmosfera saturada em SO₂. *Geonomos*. Vol. 16 (2). pp.51-62.
- Bellavia L. (2006) - Archeological excavation of ancient Roman pottery from Palazzaccio, Italy, and analysis by Mossbauer Spectroscopy and X-Ray Diffraction. *Proceedings of the National Conference on undergraduate research*. University of Carolina.
- Bodungen, B., Turner, R. K. (2001) - Science and Integrated Coastal Management. *Dahlem University Press*. Berlin.
- Bormans, P. (2004) – Ceramics are more than clay alone. *Cambridge International Science Publishing*. Cambridge.
- Bresciani, A. (2007) - Shaping in Ceramic Technology – an Overview. *Extrusion in ceramics*. Springer. pp. 13-38.
- Brigatti, M., Galan, E., Theng, B. (2006) – Structures and mineralogy of clay minerals. *Handbook of Clay Science*. pp 19-85.
- Brindley, G. W. (1966) - Discussions and recommendations concerning the nomenclature of clay minerals and related phyllosilicates. *Clay and Clay Minerals, Prec. 14th Conf.*, Pergamon Press, New York, pp 27-34.

- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J. (1997) – Seawater: Its Composition, Properties and Behaviour. 2ª Edição. *The Open University*.
- Brown, G. (1955) - Report of the clay minerals group sub-committee on nomenclature of clay minerals. *Clay Min. Bull. Vol. 2.* pp 294-300.
- Cardell, C., Delalieux, F., Roumpopoulos, K., Auger, F., Van Grieken, R. (2003) - Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France. *Construction and Building Materials.* Vol. 17. pp.165-179.
- Carter, B., Norton, G. (2007) – Ceramic Materials – Science and Engineering. *Springer: New York.* London. 716p.
- Carvalho, A. (2003) – Geologia sedimentar: Sedimentogénese, Volume 1. *Âncora.* Lisboa.. p 444.
- Casagrande, A. (1948) - Classification and identification of soils. *Transactions ASCE.* Vol. 113. pp. 901-930.
- Castro, R. (2008) – Introdução à energia fotovoltaica. *DEEC. IST.* Lisboa.
- Cerato, A. (2001) – Influence of Specific surface area on geotechnical characteristics of fine-grained soils. Department of Civil and Environmental Engineering. *University of Massachusetts.* Massachusetts.
- Chang, R. (2005) – Química. 8ª Edição. *McGraw-Hill.* Aravaca. 1100p.
- Chanvillard, G., Scherer, G. (2006) – Effect of the pore size distribution on crystallization pressure. *In Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties: An International Symposium dedicated to Professor Surendra P. Shah.* Springer. 805 p.
- Chaves, A. (2009) – Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachada. Tese de Mestrado. *Universidade do Minho.* Escola de Engenharia.
- Chomka, M., Petelski, T. (1997) – Sea Spray Emission in the Mass Exchange over the Coastal Zone. *J. Aerosol Sci.* Vol. 30. pp. 397-398.
- Colen, I., Brito, J., Freitas, V. (2008) – Condition assessment of façade rendering through in-situ testing. *11ª International Conference on Durability of Building Materials and Components.* Istanbul.
- Costa, A. (1997) – Durabilidade de estruturas de betão armado em ambiente marítimo. Tese de Doutoramento. *Instituto Superior Técnico.* Lisboa.

- Costet, J., Sanglerat G. (1975) – Curso práctico de mecânica de suelos. *Omega*. Barcelona.
- Crauss, C. (2010) – Penetração de Cloretos em Concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial. Dissertação de Mestrado. *Universidade Federal de Santa Maria*. Brasil.
- Cruz, C. (2010) – Comportamento e durabilidade de telhas cerâmicas em ambiente marítimo. LNEC. Lisboa.
- Sitter, W.R. (1984) - Costs for Service Life Optimization: The “Law of Fives”, Durability of Concrete Structures. *Workshop Report*. Ed. *Steen Rostam*.
- Deer, W., Howie, R., Zussman, J. (2008) – Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução. 3ª Edição. *Fundação Calouste Gulbenkian*. Lisboa.
- Donza, H., Cabrera, O., Irassar E. (2002) - High-strength concrete with different fine aggregate. *Cement and Concrete Research*. Vol. 32. pp. 1755–1761.
- EOTA (1999) – Assumption of working lif of construction products in Guidelines for European Technical Approval. *European Technical Approvals and Harmonized Standards*. Guidance Document 002.
- Espinosa-Marzal R., Scherer, G. (2009) – Advances in understanding damage by salt crystallization. *Accounts of chemical Research*. Vol. 43 (6). pp-897-905.
- Fitzpatrick, S., Carstensen, J., Marsaglia, K., (2008) – Preliminary petrographic and chemical analyses of Prehistoric ceramics from Carriacou, West Indies. *Journal of Caribbean Archaeology*. Special Publicacion Vol.2. pp. 59-83.
- Flat, R. (2002) – Salt damage in porous materials: how high supersaturation are generated. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 242. pp. 435-454.
- Foltescu, V.L., Pryor, S.C., Bennet, C. (2005) – Sea Salt generation, dispersion and removal on the regional scale. *Atmospheric Environment*. Vol. 39. Pp. 2123-2133.
- Fonseca, A. (2000) – Tecnologia do processamento cerâmico. *Universidade Aberta*. Lisboa.
- Galembeck, T., Simão, J., Silva, Z., Artur, A.C. (2008) - Effects of salty solutions in dimension stones from Southeast Brazil. *II International Congress of Dimension Stone*. Carrara. Italy. pp. 517.

- Galhano C., Simão, J.A.R. (2010) - Efeitos do nevoeiro salino em argilas para cerâmica estrutural (nota preliminar). *Revista Electrónica de Ciências da Terra*. Vol. 20 (20). VIII Congresso Nacional de Geologia.
- Galhano, A. Carlos (1999) – Relações entre propriedades geotécnicas, mineralógicas e geoquímicas das Argilas e Lodos da Região de Aveiro. Dissertação de Mestrado. *Universidade de Aveiro*. Aveiro. 253p.
- Garcez, N. (2009) – Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas. Dissertação de Mestrado. *Instituto Superior Técnico*. Lisboa.
- Gippini, E. (1969) - Contribution à l'étude des propriétés de moulage des argiles et des mélanges optimaux de matières premières. *L'Industrie Céramique*. Vol. 619. pp 423-435.
- Gokay, M., Gundogdu, I. (2007) - Color identification of some Turkish marbles. *Construction and Building Materials*. Vol. 22 (7). pp-1342-1349.
- Gomes, C. (1988) – Argilas: O que são e para que servem. *Fundação Calouste Gulbenkian*. Lisboa.
- Gomes, C. (2002) – Argilas – Aplicações na Indústria. *Dinterna*, Aveiro.
- Gong, S., Barrie, L., Prospero, J., Sovaie, D., Ayers, G., Blanchet, J.P., Spacek, L., (1997) - Modeling sea-salt aerosol in the atmosphere: 2. Atmospheric concentrations and fluxes. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 12. pp - 3819–3830.
- Gonzalez, R., Buergo, M., Martín, F., Azcona, M. C. (2004) - Stone decay in 18th century monuments due to iron corrosion. *Building and Environment*. Vol. 39. The Royal Palace. Madrid. pp.357 – 364
- Grattan-Bellew P., Litvan G. (1978) – X-Ray Diffraction Method for Determining the Firing Temperature of Clay Brick. *American Ceramic Society Bulletin*. Vol. 57 (5). pp. 493-495.
- Gross, M. (1967) – Oceanography. Merrill Physical Science Series. *Merrill Pub Co*.
- Guggenheim, S., Adams, J. M., Bain, D. C., Bergaya, F., Brigatti, M. F., Drits, V. A., Formoso, M. L. L., Galan, E., Kogure, T., Stanjek, H. (2006) - Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006. *Clay Minerals*, Vol. 41 (4). pp 863-877.

- Guggenheim, S., Martin, R.T., (1995) - Definition of clay and clay mineral: joint report of the AIPEA nomenclature and CMS nomenclature committees. *Clays and Clay Minerals*, 43. pp. 255–256.
- Guiducci, E. (2009) – Some considerations on granulation of ceramic powders to improve quality of end-products. *International Ceramics Journal* (April 2009). pp. 23-26.
- Händle, F. (2007) – Extrusion in Ceramics. *Springer*. Muhlacker. 413p
- Henriques, F., Rodrigues, J., Aires-Barros, L., Proença, N. (2005) - Materiais pétreos e similares: terminologia das formas de alteração e degradação. LNEC. Lisboa.
- Helene, P. (1993) – Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese de doutoramento. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Houben, H., Guillaud, H. (1994) – Earth Constuction: A comprehensive guide. *ITDG Publishing*. London.
- Ingham, J. (2010) – Geomaterials under the microscope. *Manson Publishing*. London. 192p.
- Ionescu C., Ghergari L., Horga M., Radulescu, G. (2007) - Early medieval ceramics from the Viile Tecii Archeological site (Romania): an optical and XRD study. *Studia Universitatiis Babes-Bolyai*. Geologia. pp. 29–35.
- IPCC (2001) - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Cambridge University Press*. UK.
- Jimeno, C. (1998) – Manual de Áridos: Prospección, explotación y aplicaciones. Tercera Edición. *Entorno Gráfico*. Madrid.
- Katzorff, G. (2004) – Fracture of Porous Materials Induced by Crystallization of Salts. *Massachusetts Institute of Technology*. Massachusetts.
- Kopar, T., Ducman, V. (2007) – Low-vacuum SEM analyses of ceramic tiles with emphasis on glaze defects characterization. *Materials Characterization* Vol. 58. pp.1133-1137.
- Krynine, D.; Judd, W. (1972) – Principios de Geología y Geotecnia para ingenieros. 3ª Edição. *Omega*. Barcelona.
- Lagaly, G., Bergaya, F. (2006) – General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. *Handbook of Clay Science*. Volume: 1, No. 05. Elsevier. pp 1-18.

- Larsen, P.K. (2007) - The salt decay of medieval bricks at a vault in Brarup Church, Denmark. *Environ. Geol.* Vol. 52. pp. 375–383.
- Lavalle, J. (1853) - Recherches sur la formation lente des cristaux à la température ordinaire. *Compte Rend. Acad. Sci.* Vol. 36. pp. 493-495.
- Leeuw G. (1986) - Vertical profiles of giant particles close above the sea surface. *Tellus.* Vol. 38B. pp. 51-61.
- Leeuw G.; Vignati, E. (1998) – Aerosol Particle Size Distributions at a Rural Coastal Site. *J. Aerosol Sci.* Vol. 29. pp. 695-696.
- Leeuw, G. (1999) – Sea Spray Aerosol Production Form Waves Breaking in the Surf Zone. *J. Aerosol Sci.* Vol. 30. pp. 63-64.
- Leggerini, M. (s/d) – Materiais Cerâmicos. Materiais Técnicas e Estruturas. Faculdade de Arquitectura e Urbanismo. Publicação on-line.
- Lolli, L., Nasseti, G., Marino, L. (2000) - A Preparação a Seco de Massas Cerâmicas. *Cerâmica Industrial*, 5, pp. 23-27.
- Lubelli, B. (2006) – Sodium chloride damage to porous building materials. Tese de Douturamento. *Politecnico di Milano.* Milano.
- Lubelli, B., Van Hees, R., Groot, C. (2004) - The role of sea salts in the occurrence of different damage mechanisms and decay patterns on brick masonry. *Construction and Building Materials* vol. 18. pp.119–124.
- Lucas, J. (2001) – Anomalias em revestimentos cerâmicos colados. *LNEC.* Lisboa.
- Lucas, J. (2003) – Azulejos ou Ladrilhos Cerâmicos. Descrição geral, exigências normativas, classificação funcional. *LNEC.* Lisboa.
- Lucas, J., Abreu, M. (2006) – Revestimentos cerâmicos colados: Descolamento. *LNEC.* Lisboa.
- Malinovzsky, A. (1921) – Ceramics: A manual for Chemists, Engineers and Manufacturers. *D. Van Nostrad Company.* New York.
- Martin, C., Bailey, S., Eberl, D., Fanning, D., Guggenheim, D., Kodama, H., Pevear, D., Srodon, J., Wicks F. (1991) – Report of the Clay Minerals Society Nomenclature Committee: Revised Classification of clay materials. *Clays and Clay Minerals.* Vol. 39, No. 3, pp. 333-335.

- Martins, J., Silva, A. (2004) – Materiais de Construção – Produtos Cerâmicos. 2ª Edição. UFP. Porto.
- Melchiades, F.; Boschi, A. (1999) – Cores e Tonalidades em Revestimentos cerâmicos. *Ceramica Industrial*. Vol. 4. pp.11-18
- Modesto C., Bernardin, A. (2008) - Determination of clay plasticity: Indentation method versus Pfefferkorn method. *Applied Clay Science*. Vol. 40. pp. 15–19.
- Montemor, M.F. (1995) – Estudo da deterioração por corrosão de estruturas de betão armado. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Moon, C., Whateley M., Evans A. (2006) – Introduction to mineral Exploration. Second Edition. *Blackwell Publishing*. Oxford.
- Morais, A. (2007) – Soluções de reabilitação de fachadas com revestimento em ladrilhos cerâmicos. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. Porto.
- Moser, K. (1999) – Towards the practical evaluation of service life – Illustrative application of the probabilistic approach. *Durability of Building Materials and Components*. Vol. 8. pp. 1319-1329.
- Motoki, A., Zucco, L., Sichel, S., Aires, J., Petrakis, G. (2006) – Desenvolvimento da técnica para especificação de cores e a nova nomenclatura para classificação de rochas ornamentais com base nas cores medidas. *Geociências*. Vol. 25 (4). pp.403-415.
- Murray, H. (2007) – Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and common Clays, *Elsevier*, Oxford.
- Newman, J., Choo, Ban (2003) - Advanced concrete technology-constituent materials. *Butterworth-Heinemann*. Oxford.
- Nepomuceno, A. (2005) – Mecanismo de transporte de fluídos no concreto. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo. pp. 447-550.
- Njoya, D., Hajjaji, M., Nkoumbou, C., Elimbi, A., Kwekams, M., Njoya, A., Yvon, J., Njopwouo, D. (2010) – Chemical and Mineralogical Characterization and Ceramic Suitability of Raw Feldspathic Materials from Dschang. *Bull. Chem. Soc. Ethiop*. Vol. 24. pp. 39-46.
- Norton, F.H. (1973) – Introdução à tecnologia cerâmica. Reading Massachusetts. Wesley Publishing.

- Oliveira M., Maganha M. (2006) - Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas branca e de revestimentos. *CETESB*. São Paulo.
- Pabst, W., Koranová, R. (2009) – Prehistory of clay mineralogy – From ancient times to Agricola. *Acta Geodyn. Geomater.* Vol. 6, No. 1. pp. 87–100.
- Parras, J. (1999) – Mineralogía y propiedades cerâmicas de pizarras paleozoicas de ciudad real. *Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha*.
- Pavía, S., Caro, S. (2007) - Petrographic microscope investigation of mortar and ceramic technologies for the conservation of the built heritage. *Proc. Of SPIE*. Vol 6618. pp.1-12.
- Penttala, V., Al-Neshawy F. (2002) – Stress and strain state of concrete during freezing and thawing cycles. *Cement and Concrete Research*. Vol. 32 (9). pp. 1407-1420.
- Pessler, A. (1999) – Considerações sobre a variação de tonalidades: Problemas e Oportunidades. *Cerâmica Industrial*. Vol. 4. pp.7-10.
- Pinto, A., Alho, A., Moura, A., Henriques, A., Carvalho, C., Ramos, J., Almeida, N., Mestre, V. (2006) – Manual da pedra natural para arquitectura. *Direcção-Geral de Geologia e Energia*. 199p.
- Pires V., Silva Z.S.G., Simão J.A.R., Galhano C., Amaral P.M. (2010) - “Bianco di Asiago” limestone pavement – Degradation and alteration study. *Construction and Building Materials* vol. 24. pp. 686–694.
- Pracidelli, S., Melchades, F. (1997) – Importância da Composição Granulométrica de Massas para Cerâmica Vermelha. *Cerâmica Industrial*. Vol. 2. pp. 31-35.
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J., Schoof, J.T., Binkowski F.S., Delle Monache L., Stull, R. (2008) – Modeling the impact of sea-spray on particle concentrations in a coastal city. *Science of the Total Environment*. Vol. 391. pp. 132-142.
- Pukasiewicz, A. (2001) – Tecnologia dos Processos de Fabricação IV – Materiais Cerâmicos. *Centro de Educação Tecnológica do Paraná*. Paraná.
- Reeves, G. M., Sims, I., Cripps, J. C. (2006) - Clay Materials Used in Construction. *Geological Society*, London, Engineering Geology Special Publication, Vol. 21.
- Ribeiro, C.; Correia, M.; Ferreira, L.; Gonçalves, A.; Ribeiro, M.; Ferreira, L. (2004) – Estudo sobre a Influência da Matéria Orgânica na Plasticidade e no Comportamento Térmico de uma Argila. *Cerâmica Industrial*. Vol. 9. pp. 35-38.

- Ribeiro, R., Ventura, J., Labrincha, J. (2001) - A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica. *Cerâmica Industrial*, 6, pp. 34-40.
- Rieder, M., Cavazzini, G., D'yakonov, Y.S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P.V., Muller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E.W., Robert, J-L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z., Wones, D.R., (1998) - Nomenclature of the Micaceous Minerals. *Clays and Clay Minerals*, 46, pp. 586–595.
- Robinson, G. (1978) – Extrusion defects. *Ceramic Processing Before Firing*. Wiley, New York pp. 391-407.
- Rocha P. (2008) – Anómalias em coberturas de terraço e inclinadas. Dissertação de Mestrado. *Instituto Superior Técnico*. Lisboa.
- Sampaio, E. (2006) – Mineralogia do Solo. Departamento de Geociências. *Universidade de Évora*. Évora.
- Scherer, G. (1999) – Crystalization in pores. *Cement and Concrete Research*. Vol. 29. pp. 1347-1358.
- Scherer, G. (2004) – Stress from crystalization of salt. *Cement and Concrete Research*. Vol. 34. pp. 1613-1624.
- Scherer, G. (2006) – Internal Stress and Cracking in Stone and Masonry. *Measuring, Monitoring and Modeling Concrete Properties*. Vol. 7. pp. 633-641.
- Schunck, E., Oster, H., Barthel, R. (2003) - Roof Construction Manual. Pitched Roofs. *Birkhäuser Architektur*.
- Seinfeld J., Pandis S. (1998) - Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. *John Wiley-Interscience*. USA.
- Silva Z.S.G., Simão J.A.R. (2009) - The role of salt fog on alteration of dimension stone. *Construction and Building Materials*. Vol. 23. pp. 3321–3327.
- Silva, B.; Rivas, T., García-Rodeja E., Prieto, B. (2007) – Distribution of ions of marine origin in Galicia (NW Spain) as a function of distance from sea. *Atmospheric Environment*. Vol. 41. pp. 4396-4407.
- Silvestre, J. (2005) – Sistema de Apoio à inspeção e diagnóstico de Anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes. Dissertação de Mestrado. *Instituto Superior Técnico*. Lisboa.

- Simão, J. (2000) – Coberturas com revestimento descontínuo. Revestimento de coberturas. *LNEC*. Lisboa.
- Smith, W. (1998) – Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. Terceira Edição. *McGraw-Hill*.
- Sousa Coutinho, A. (1997) – Fabrico e Propriedades do Betão. Volume I. *LNEC*. Lisboa.
- Souza Santos, P. (1992) - Ciência e Tecnologia de Argilas, volume 1. *Edgard Blücher*. São Paulo.
- Stefanis, A., Theoulakis, P., Pilinis, C. (2005) – The decay effects of sea-salt aerosol on the surface of historic buildings. *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology*. Rhodes Island.
- Steiger, M. (2005)^{a)} – Crystal growth in porous materials- I: The Crystalization pressure of large crystals. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 282. pp. 455-469.
- Steiger, M. (2005)^{b)} – Crystal growth in porous materials- II: Influence of crystal size on the crystalization pressure. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 282. pp. 470-481.
- Stevanović, M. (1997) - The Age of Clay: The Social Dynamics of House Destruction. *Journal of Anthropological Archaeology*. Vol. 16. pp.334–395.
- Terzaghi, K; Peck, R. (1973) – Mecanica de Suelos – En la Ingenieria Pratica. Segunda Edicion. *Ateneo*. Barcelona.
- Thang, L. (1999) – Concentration dependence of diffusion and migration of chloride ions. Part 1. Theoretical considerations. *Cement and Concrete Research*. Vol. 29. pp. 1463-1468.
- Treacy G.; Wilcox G. (2000) - Surface analytical study of the corrosion behaviour of chromate passivated Al 2014 A T-6 during salt fog exposure. *Applied Surface Science*. Vol. 157 pp.7–13.
- Tuutti, K. (1982) – Corrosion of steel in concrete. *Pub. Swedish Cement and Concrete Research Institute*. Stockholm.
- U.N.L. – F.C.T. (1996) – Materiais de Construção: Características Gerais dos Materiais. *Faculdade de Ciências e Tecnologia*. Departamento de Engenharia Civil.
- U.N.L. – F.C.T. (2005) – Química. *Faculdade de Ciências e Tecnologia*. Departamento de Química.

- Velho, J., Gomes, C., Romariz, C. (1998) – Minerais Industriais: Geologia, Propriedades, Tratamentos, Aplicações, Especificações, Produções e Mercados. *Gráfica de Coimbra*. Coimbra.
- Vieira C., Soares T., Monteiro S. (2003) – Massas cerâmicas para telhas: características e comportamento de quima. *Cerâmica*. Vol. 49. pp. 245-250.
- Vieira C.; Monteiro S.; Duailibi J. (2005)- Considerações sobre o Uso da Granulometria como Parâmetro de Controle de uma Argila Sedimentar. *Cerâmica Industrial*, 10 (1). pp. 23-26.
- Vieira, C., Monteiro, S., Filho, J. (2001) – Formulação de Massa de Revestimento Cerâmico com Argilas Plásticas de Campos dos Goytacazes (RJ) e Taguá (SP). *Cerâmica Industrial* Vol. 6. (6) pp. 43-49.
- Wardeh, G., Perrin, B. (2008) - Freezing-thwing phenomena in fired clay materials and consequences on their durability. *Construction and Building Materials*. Vol. 22 (5). pp. 820-828.
- Washburn, E.W., Ries, H., Day, A.L. (1920) – Report of the Committee on Definition of the Term “Ceramics”. *Journal of the American Ceramic Society*. Vol. 3 (7). pp.526-536.
- Wasserman R., Bentur A. (1996) - Interfacial Interactions in Lightweight Aggregate. Concretes and their Influence on the Concrete Strength. *Cement & Concrete Composites*. Vol. 18. pp. 67-76.
- Weaver, C. (1989) – Clays, Muds, and Shales. *Developments in Sedimentology*, 44. Elsevier.
- Weiss, T.; Siegesmund, S., Fuller, E. (2003) - Thermal degradation of marble: indications from finite-element modeling. *Building and Environment*. Vol. 38. pp. 1251 – 1260
- Winkler, H.G.F., (1954) - Bedeutung der Korngrossenverteilung und des Mineralbestandes von Tonen feur die Herstellung grobkeramischer Erzeugnisse. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*. Vol. 31 (10), pp. 337–343.
- Wu, J. (1989). Contributions of film and jet drops to marine aerosols produced at the sea surface. *Tellus*. Vol. 41B. pp. 469-473.
- Yao, J., Yan, C. (2011) - Effects of Solar Absorption Coefficient of External Wall on Building Energy Consumption. *Engineering and Technology*. Vol. 76. Pp.758-760.
- Zeza F, Macri F. (1995) - Marine aerosol and stone decay. *Sci Total Environ*. Vol. 167, pp. 123-43.

Normas e especificações

ASTM C242-01 (2007) – Standard Terminology of Ceramic Whitewares and Related Products. *ASTM*. USA.

ASTM C856-11 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete. *ASTM*. USA.

ASTM C1721-09 Standard Guide for Petrographic Examination of Dimension Stone. *ASTM*. USA.

E 196 (1966): Solos- Análise Granulométrica. *LNEC*. Lisboa.

EN 1052-3:2002/A 1:2007 - Methods of test for masonry. Part 3: Determination of initial shear strength. *CEN*. Brussels.

EN 13501-1:2007+A1:2009 - Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. *CEN*. Brussels.

EN 13501-1:2007+A1:2009 - Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. *CEN*. Brussels.

EN 13501-5:2005+A1:2009 - Fire classification of construction products and building elements. Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests. *CEN*. Brussels.

EN 772-19:2000 - Methods of test for masonry units. Part 19: Determination of moisture expansion of large horizontally perforated clay masonry units. *CEN*. Brussels.

EN 772-9:1998 - Methods of test for masonry units. Part 9: Determination of volume and percentage of voids and net volume of calcium silicate masonry units by sand filling. *CEN*. Brussels.

EN 772-9:1998/A 1:2005 - Methods of test for masonry units. Part 9: Determination of volume and percentage of voids and net volume of clay and calcium silicate masonry units by sand filling. *CEN*. Brussels.

ISO 9227 (2006) – Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests.

ISO 15686 (2005) - *Building service planning*, Part 1 – General principles. Working Draft.

NP 143 (1969) – Solos: Determinação do limite de liquidez e Determinação do limite de plasticidade. *IPQ*. Lisboa.

NP 498:2008 - Telhas cerâmicas. Ensaio da orelha de aramar. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 771-1:2006 – Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: Tijolos cerâmicos para Alvenaria. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 1024:1998 - Telhas cerâmicas para colocação descontínua. Determinação das características geométricas. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 1304:2007 - Telhas cerâmicas e acessórios. Definições e especificações dos produtos. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 14147:2007 - Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência ao envelhecimento por nevoeiro salino. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 1745:2005 - Alvenarias e elementos de alvenaria. Métodos para determinação de valores térmicos de cálculo. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 538:1997 - Telhas cerâmicas para colocação descontínua. Determinação da resistência à flexão. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 539-1:2007 - Telhas cerâmicas para colocação descontínua. Determinação das características físicas. Parte 1: Ensaio de impermeabilidade. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 539-2:2007 - Telhas cerâmicas para colocação descontínua. Determinação das características físicas. Parte 2: Ensaio de resistência ao gelo. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 772-1:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 1: Determinação da resistência à compressão. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 772-11:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 11: Determinação da absorção de água por capilaridade de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão "face à vista" e de pedra natural, e da taxa de absorção inicial de água de blocos cerâmicos. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 772-13:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 13: Determinação da massa volúmica real seca e da massa volúmica aparente seca de blocos para alvenaria (excepto blocos de pedra natural). *IPQ*. Lisboa.

NP EN 772-16:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 16: Determinação das dimensões. *IPQ*. Lisboa.

- NP EN 772-20:2002 - Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Parte 20: Determinação da planeza das faces de blocos para alvenaria de betão de agregados, de betão "face à vista" e da pedra natural. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 772-3:2000 - Métodos de ensaio para elementos de alvenaria. Parte 3: Determinação do volume líquido e da percentagem de furação em elementos cerâmicos para alvenaria por pesagem hidrostática. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 772-5:2007 - Métodos de ensaio para unidades de alvenaria. Parte 5: Determinação do teor de sais solúveis activos de tijolos cerâmicos para alvenaria. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-1:2001 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 1: Amostragem e condições de recepção. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-10:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 10: Determinação da dilatação com a humidade. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-11:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 11: Determinação da resistência ao fendilhamento para ladrilhos vidrados. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-12:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 12: Determinação da resistência ao gelo. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-13:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 13: Determinação da resistência química. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-14:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 14: Determinação da resistência às manchas. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-15:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 15: Determinação do teor de chumbo e de cádmio libertados por ladrilhos vidrados. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-16:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 16: Determinação de pequenas diferenças de cor. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-2:2008 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 2: Determinação das dimensões e da qualidade de superfície. *IPQ*. Lisboa.
- NP EN 10545-3:2001 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 3: Determinação da absorção de água, da porosidade aberta, da densidade relativa aparente e da massa volúmica global. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 10545-4:2001 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 4: Determinação do módulo de ruptura e da resistência à flexão. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 10545-5:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 5: Determinação da resistência ao impacto por medição do coeficiente de restituição. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 10545-6:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 6: Determinação da resistência à abrasão profunda para ladrilhos não vidrados. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 10545-7:2000 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 7: Determinação da resistência à abrasão superficial para ladrilhos vidrados. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 10545-8:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 8: Determinação da dilatação linear de origem térmica. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 10545-9:2004 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Parte 9: Determinação da resistência ao choque térmico. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 11997-1:2007 – Tintas e vernizes. Determinação da resistência a condições cíclicas de corrosão. *IPQ*. Lisboa.

NP EN 14411:2008 - Pavimentos e revestimentos cerâmicos. Definições, classificação, características e marcação. *IPQ*. Lisboa.

RILEM TC 140 (1997) – Prediction of service life of building materials and components. RILEM Publications SARL.

RILEM, Commission 25-PEM (2006) – Water Absorption Tube Test. Test Method II.4. Standard tests drafted.

UNI 11182 (2006) - Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni. Ente Nazionale Italiano Unificazione. Milano.

Endereços electrónicos - Imagens

<http://www.minersoc.org/> - Imagens retiradas em Junho de 2011.

<http://www.vagabondjourney.com/209-0241-harran-turkey-beehive-houses.shtml> - Imagem retirada em Junho de 2011.

<http://www.reshafim.org.il/ad/egypt/pottery/index.html> - Informação retirada em Junho de 2011.

<http://troiska.com/> - Imagem retirada em Junho de 2011.

<http://www.biology.arizona.edu/biochemistry/tutorials/chemistry/page3.html> - Imagem retirada em Agosto de 2011.

<http://www.australbricks.com/02-brick-properties-and-bricklaying-practices> - Imagem retirada em Novembro de 2011.

<http://www.thielekaolin.com/> - Imagem retiradas em Dezembro de 2011.