



Márcio Manuel
Rodrigues Leal

**Desenvolvimento de
argamassas de revestimento
com comportamento térmico
melhorado**

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Margarida Armada Brás e coorientação da Professora Doutora Maria Paulina Santos Forte de Faria Rodrigues.

Dezembro, 2012

DECLARAÇÃO

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apreciada pelo júri a designar.

O candidato,

Setúbal, ...de de

DECLARAÇÃO

Declaro que esta Dissertação se encontra em condições de ser apresentada a provas públicas.

A orientadora,

Setúbal, ...de de

AGRADECIMENTOS

Apesar da presente dissertação se apresentar como uma componente de avaliação individual, na realidade, não teria sido possível realizá-la sem a partilha de conhecimentos, companheirismo e auxílio de algumas pessoas, pelas quais não posso deixar de manifestar o meu agradecimento. Neste sentido, pretendo agradecer a todos os que a diferentes níveis contribuíram para a conclusão desta dissertação.

À Professora Doutora Ana Brás, minha orientadora científica da ESTBarreiro/IPS, por todo o empenho demonstrado ao longo desta dissertação, pela orientação, partilha de conhecimentos, pela disponibilidade demonstrada e pela incansável confiança transmitida no cumprimento de prazos.

À Professora Doutora Paulina Faria, minha coorientadora científica da Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciência e Tecnologia (FCT-UNL), pela orientação e por se ter mostrado sempre disponível a ajudar.

A todos os professores da ESTBarreiro/IPS que me transmitiram conhecimentos quer na área que se insere a presente dissertação, quer em toda a restante área da engenharia civil.

À técnica de laboratório, Eng.^a Civil, Ana Martins da ESTBarreiro/IPS por toda a disponibilidade, ajuda e conhecimentos transmitidos.

À FCT-UNL pela permissão para a utilização do equipamento de determinação da condutibilidade térmica e do porosímetro de mercúrio.

Ao técnico de laboratório, Eng.^o Técnico Civil, Vitor Silva do departamento de engenharia civil da FCT-UNL por toda a disponibilidade e ajuda prestada em laboratório e pelos conhecimentos transmitidos.

À SECIL, no nome do Eng.^o Vitor Vermelhudo pelo fornecimento de cimento.

À empresa Neto Marques e Marques, Transportes de Mercadorias, Lda. pela areia disponibilizada.

À Fabricor – Indústria de preparação e transformação de cortiça S.A., no nome de Nuno Marques do departamento técnico pelo granulado de cortiça cedido.

À Plastimar – A SYNBRA COMPANY, no nome de Carlos Francisco, gerente de vendas, pelo EPS disponibilizado.

À SIKA pelo fornecimento de SuperPlastificante.

Ao Sr. João Figueiredo pela ajuda prestada em algumas tarefas laboratoriais.

À técnica superior Cristina Manessiez e à técnica profissional Ana Catarino, do centro de documentação da ESTBarreiro/IPS, pela ajuda prestada em alguma pesquisa bibliográfica.

Aos meus colegas e amigos, Bruno Miguel, Wilson Luís, Leandro Almeida, Luís Abreu, João Ascensão, Márcia Costa e Tiago Rebocho pela prontidão demonstrada e por toda a ajuda prestada em laboratório no levantamento de alvenaria dos muretes realizados e na conceção e aplicação de argamassa nos mesmos.

Ao meu colega e amigo Luís Abreu pelo acompanhamento de um ensaio laboratorial, sem o qual não me teria sido possível ter umas merecidas miniférias, em pleno Verão.

A todos os meus amigos que de uma forma ou de outra me transmitiram confiança e incentivaram na conclusão de mais esta etapa.

À minha madrinha e ao meu padrinho de batismo, Susana e Feliciano Chorondo, que apesar de não poderem estar sempre por perto, estão sempre comigo.

E por último, mas não menos importante, à minha mãe e ao meu irmão, Aldina e Flávio Leal, pela amizade, pelos incentivos, pela preocupação demonstrada com o cumprimento de prazos e pela compreensão da minha ausência durante a realização desta dissertação.

Estou grato a todos!

RESUMO

Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado

Com argamassas de revestimento melhoradas termicamente consegue-se contribuir para uma reabilitação energética de habitações, sem perda de área útil, à custa das características de adições. A temática é atual dadas as dificuldades de financiamento da revolução das tecnologias energéticas resultantes da crise, que reforçam a necessidade em apostar na vertente de reabilitação energética.

O principal objetivo consiste no desenvolvimento de uma argamassa com o máximo possível de dosagem de cortiça ou de EPS, minimizando a condutibilidade térmica e a variação do seu custo, tirando partido de um resíduo da indústria corticeira e contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Procedeu-se a substituições até 80% do volume de argamassa por volume de granulado de cortiça/EPS.

Para a sua caracterização recorreram-se a ensaios em provetes prismáticos, como argamassa de revestimento aplicada em tijolos e em muretes. Realizaram-se ensaios por forma a caracterizar argamassas de base cimentícia quanto ao seu comportamento no estado fresco, microestrutura, comportamento mecânico e térmico, garantindo a trabalhabilidade destas argamassas através da introdução de dosagens de superplastificante.

Obtiveram-se argamassas com granulado de cortiça ou de EPS, respetivamente, com ganhos de condutibilidade térmica na ordem dos 72% e 61% em relação a uma argamassa de base cimentícia, garantindo sempre um comportamento mecânico aceitável. Observa-se um aumento da resistência mecânica ao longo do tempo superior para as argamassas com granulado de cortiça comparativamente às de EPS. Verificou-se que as argamassas com este tipo de adições têm uma melhoria significativa na resistência à fissuração, contribuindo para uma melhor preservação da vida útil das habitações.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa, adição, granulado de cortiça, EPS, comportamento térmico, murete rebocado.

ABSTRACT

Mortar coating development with improved thermal behavior

Mortar coating with improved thermal behavior can contribute to energy rehabilitation of dwellings, without loss of usable area, at the expense of additions characteristics. This is a common theme nowadays given the financing difficulties of energy technology revolution resulting from the crisis, which reinforce the need to invest in energy rehabilitation.

The main objective is the development of a mortar with maximum possible dosage of cork or EPS, minimizing the thermal conductivity and the variation of its cost by taking advantage of the waste of the cork industry and contributing to environmental sustainability. We proceeded to substitutions up to 80% mortar volume per granulated cork / EPS volume.

For its characterization tests were performed on specimens prismatic, like mortar coating applied to bricks and low walls. Assays were performed in order to characterize cement based mortars as to their behavior in the fresh state, microstructure, mechanical and thermal behavior, ensuring the workability of these mortars by introducing dosages of superplasticizer.

Mortars were obtained with granules of cork or EPS, respectively, with gains in thermal conductivity on the order of 72% and 61% compared to a cement based mortar, while guaranteeing an acceptable mechanical behavior. It is observed an increase of mechanical strength over time upper for mortars with granulated cork compared with EPS. It was found that mortars with this kind of additions have a significant improvement in resistance to cracking, contributing to a better preservation of housing life.

KEYWORDS: Mortar, addition, cork granulate, EPS, thermal behavior, low wall plastered.

Índice Geral

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
Índice Geral	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xix
LISTA DE ABREVIATURAS	xxiii
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Introdução ao capítulo	1
1.2 Enquadramento e justificação da investigação	1
1.3 Objetivos e Metodologia	2
1.4 Estrutura do Trabalho	3
Capítulo 2 – Argamassas	5
2.1 Introdução ao capítulo	5
2.2 Argamassas de revestimento	5
2.3 História das argamassas	6
2.4 Argamassas hidráulicas	9
2.4.1 Principais constituintes.....	9
2.4.1.1 Ligantes hidráulicos	10
2.4.1.1.1 Cimento Portland	10
2.4.1.1.2 Agregados pétreos	12
2.4.1.1.3 Água	13
2.4.2 Composição tradicional de argamassas de revestimento	14

2.4.3	Cura	17
2.5	Adjuvantes.....	17
2.6	Adições.....	19
2.6.1	Cortiça.....	20
2.6.1.1	Características da cortiça	20
2.6.1.2	Influência da introdução do granulado de cortiça nas argamassas	23
2.6.2	EPS.....	23
2.6.2.1	Características do EPS.....	24
2.6.2.2	Influência da introdução de EPS nas argamassas	26
Capítulo 3	– Programa experimental	27
3.1	Introdução ao capítulo	27
3.2	Materiais da argamassa	27
3.2.1	Seleção dos materiais.....	27
3.2.2	Caracterização dos materiais.....	28
3.2.2.1	Análise granulométrica dos agregados.....	29
3.2.2.2	Baridade	29
3.3	Preparação das argamassas e provetes	31
3.3.1	Dosagem.....	31
3.3.1.1	Mistura	33
3.3.1.2	Moldagem, Desmoldagem e Cura dos provetes.....	35
3.4	Análise das argamassas – Micro-level	36
3.4.1	Avaliação das argamassas no estado fresco.....	36
3.4.1.1	Consistência por espalhamento.....	38
3.4.1.2	Massa volúmica aparente	40
3.4.2	Avaliação das argamassas no estado endurecido	41

3.4.2.1	Condutibilidade térmica de provetes de argamassa	43
3.4.2.2	Módulo de elasticidade dinâmico.....	44
3.4.2.3	Resistência à tração por flexão.....	45
3.4.2.4	Resistência à tração por compressão.....	46
3.4.2.5	Absorção de água por capilaridade	47
3.4.2.6	Secagem.....	50
3.4.2.7	Porosidade Aberta	51
3.4.2.8	Massa volúmica real e aparente	53
3.4.2.9	Ensaio de arrancamento.....	54
3.4.2.10	Porosimetria de mercúrio.....	56
3.5	Análise das argamassas – Macro-level.....	58
3.5.1	Aplicação dos rebocos otimizados em muretes	58
3.5.2	Ensaio tipo	59
3.5.2.1	Ultrassons em muretes	59
3.5.2.2	Ensaio de arrancamento em muretes.....	61
Capítulo 4	- Análise de resultados	63
4.1	Introdução ao capítulo	63
4.2	Caracterização dos constituintes da argamassa	63
4.2.1	Análise granulométrica.....	63
4.2.2	Baridade.....	64
4.2.2.1	Agregados	65
4.2.2.2	Ligante.....	65
4.3	Caracterização das argamassas no estado fresco.....	65
4.3.1	Consistência por espalhamento	65
4.3.2	Massa volúmica aparente	72
4.4	Caracterização das argamassas no estado endurecido.....	73

4.4.1	Condutibilidade térmica.....	74
4.4.2	Módulo de elasticidade dinâmico	75
4.4.3	Resistência à tração por flexão.....	78
4.4.4	Resistência à compressão.....	80
4.4.5	Absorção de água por capilaridade	84
4.4.6	Secagem.....	90
4.4.7	Porosidade Aberta	92
4.4.8	Massa volúmica real e aparente	95
4.4.9	Ensaio de arrancamento.....	96
4.4.10	Resultados da porosimetria de mercúrio.....	96
4.5	Aplicação em muretes.....	99
4.5.1	Ensaio de ultrassons.....	99
4.5.2	Ensaio de arrancamento.....	103
4.6	Análise transversal de resultados.....	103
4.6.1	Ensaio de trabalhabilidade.....	104
4.6.2	Condutibilidade térmica.....	104
4.6.3	Módulo de elasticidade dinâmico	105
4.6.4	Resistência à tração por flexão.....	106
4.6.5	Resistência à compressão.....	108
4.6.6	Absorção de água por capilaridade	109
4.6.7	Porosidade Aberta	111
4.6.8	Resultados da porosimetria de mercúrio.....	112
4.6.9	E/Resistência à flexão.....	112
4.6.10	Resistência à flexão/Resistência à compressão e quociente entre ambos	114
4.6.11	Pab/Resistência à compressão.....	115

4.6.12	Pab/Massa volúmica	117
4.6.13	I.S./ Coef. Capilaridade	119
Capítulo 5 - Análise económica.....		121
5.1	Introdução ao capítulo	121
5.2	Comparação de propriedades de argamassas produzidas com argamassas comercializadas	121
5.3	Análise do custo global e de exploração	124
Capítulo 6 – Conclusão.....		131
6.1	Introdução ao capítulo	131
6.2	Conclusões gerais.....	131
6.3	Propostas de desenvolvimento futuro	134
Bibliografia		137

ANEXO A – Boletim de análise: granulado de cortiça

ANEXO B – Ficha do produto: EPS

ANEXO C – Ficha do produto: CEM II/B-L 32,5N

ANEXO D – Ficha do Produto: Sika Viscocrete 3008

ANEXO E – Ficha técnica: RHP ecoCORK

ANEXO F – Ficha técnica: ISODUR

ANEXO G – Artigo publicado na 2ª Conferência de Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Parque edificado, por época de construção [NEVES, 2012]	2
Figura 2.1 - Linha de tempo da história das argamassas [MONTEIRO, 2008]	7
Figura 2.2 - Esquema indicativo do processo de produção industrial de argamassas [MONTEIRO, 2008].....	8
Figura 2.3 - Microscopia eletrónica de varredura (MEV) da cortiça; a-secção radial; b-secção tangencial [SILVA, 2005]	22
Figura 2.4 – Microscopia eletrónica de varredura (MEV) da estrutura celular e da fina espessura das paredes do EPS [POLETTTO, 2009]	26
Figura 3.1 – Recipiente para determinação da baridade	31
Figura 3.2 – Misturadora e torna utilizada, respetivamente	34
Figura 3.3 – Elaboração e compactação de provetes.....	36
Figura 3.4 – Resultado do ensaio na mesa de espalhamento após as 20 pancadas.....	40
Figura 3.5 – Esquema e ordem de utilização dos provetes para os ensaios.....	43
Figura 3.6 – Equipamento utilizado no ensaio de condutibilidade térmica	44
Figura 3.7 – Realização do ensaio do módulo de elasticidade dinâmico	45
Figura 3.8 – Métodos de medição do tempo de propagação das ondas ultrassónicas; a) método direto b) método semidirecto e c) método indirecto [GONÇALVES, 2010]	45
Figura 3.9 – Rotura do provete no ensaio de resistência à tração por flexão.....	46
Figura 3.10 – Rotura do provete no ensaio de resistência à tração por compressão.....	47
Figura 3.11 – Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	49

Figura 3.12 – Equipamento de ensaio da porosidade aberta	53
Figura 3.13 – Equipamento utilizado no ensaio de arrancamento	56
Figura 3.14 – Rotura observada no ensaio de arrancamento.....	56
Figura 3.15 – Equipamento de ensaio do porosímetro de mercúrio	57
Figura 3.16 – Amostra antes e depois do ensaio do porosímetro de mercúrio	58
Figura 3.17 – Muretes construídos	58
Figura 3.18 – Pontos para colocação dos transdutores e colocação dos mesmos para leitura da propagação de ultrassons, respetivamente	60
Figura 3.19 – Ensaio de arrancamento, Pull-off.....	61
Figura 4.1 – Análise granulométrica da areia e da cortiça.....	64
Figura 4.2 – Percentagem de espalhamento das composições com cortiça.....	67
Figura 4.3 – Percentagem de espalhamento das composições com EPS	70
Figura 4.4 – Massa volúmica das composições com granulado de cortiça	73
Figura 4.5 – Massa volúmica das composições com EPS.....	73
Figura 4.6 – Condutibilidade Térmica aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça	74
Figura 4.7 – Condutibilidade Térmica aos 28 dias de idade das argamassas com EPS.....	75
Figura 4.8 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com cortiça.....	76
Figura 4.9 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com EPS	77
Figura 4.10 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com cortiça.....	78

Figura 4.11 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com EPS.....	79
Figura 4.12 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com cortiça, a diferentes idades.....	80
Figura 4.13 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com EPS, a diferentes idades.....	80
Figura 4.14 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com cortiça.....	81
Figura 4.15 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com EPS.....	82
Figura 4.16 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com cortiça, a diferentes idades.....	84
Figura 4.17 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com EPS, a diferentes idades.....	84
Figura 4.18 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias das argamassas com cortiça.....	85
Figura 4.19 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias, pormenor da 1ª hora de ensaio das argamassas com cortiça.....	86
Figura 4.20 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias das argamassas com EPS.....	88
Figura 4.21 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias, pormenor da 1ª hora de ensaio das argamassas com EPS.....	88
Figura 4.22 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com cortiça.....	90
Figura 4.23 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com cortiça, primeiras 48 horas.....	90
Figura 4.24 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com EPS.....	91
Figura 4.25 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com EPS, primeiras 48 horas.....	91

Figura 4.26 – Ensaio de porosidade aos 28 dias das argamassas com cortiça.....	93
Figura 4.27 – Ensaio de porosidade aos 28 dias das argamassas com EPS.....	94
Figura 4.28 – Massa volúmica e aparente das argamassas com cortiça	95
Figura 4.29 – Massa volúmica e aparente das argamassas com EPS ..	95
Figura 4.30 – Diâmetro e percentagem de poros, CB	97
Figura 4.31 – Diâmetro e percentagem de poros, CC70**	97
Figura 4.32 – Diâmetro e percentagem de poros, CE80.....	98
Figura 4.33 – Procedimento de ensaio 1, CC70**	100
Figura 4.34 – Procedimento de ensaio 2, CC70**	100
Figura 4.35 – Procedimento de ensaio 1, CE80	100
Figura 4.36 – Procedimento de ensaio 2, CE80	101
Figura 4.37 – Módulo de elasticidade dinâmico/resistência à tração por flexão aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça	112
Figura 4.38 – Módulo de elasticidade dinâmico/resistência à tração por flexão aos 28 dias de idade das argamassas com EPS.....	113
Figura 4.39 – Resistência à tração/resistência à compressão das argamassas com cortiça	114
Figura 4.40 – Resistência à tração/resistência à compressão das argamassas com EPS.....	115
Figura 4.41 – Probabilidade aberta/resistência à compressão das argamassas com cortiça	116
Figura 4.42 – Probabilidade aberta/resistência à compressão das argamassas com EPS.....	117
Figura 4.43 – Massa volúmica e porosidade aberta das argamassas aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça.....	117

Figura 4.44 – Massa volúmica e porosidade aberta das argamassas aos 28 dias de idade das argamassas com EPS	118
Figura 4.45 – Índice de secagem/coeficiente de capilaridade das argamassas com cortiça	119
Figura 4.46 – Índice de secagem/coeficiente de capilaridade das argamassas com EPS	120
Figura 5.1 – Custo de exploração para Lisboa	127
Figura 5.2 – Custo global para Lisboa	128
Figura 5.3 – Custo de exploração para Bragança	128
Figura 5.4 – Custo global para Bragança	129

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Classificação do cimento [IPQ, 2001/2005/2008]	11
Tabela 2.2 – Compostos principais do cimento Portland [VIEIRA, 2010]	11
Tabela 2.3 – Classificação dos agregados [MENDONÇA, 2007]	13
Tabela 2.4 - Evolução da trabalhabilidade e da resistência mecânica em função dos fatores de composição do betão [LOURENCI, 2003].....	15
Tabela 2.5 - Classificação das argamassas relativamente a vários fatores [LOURENCI, 2003].....	16
Tabela 2.6 - Aplicações de argamassas, traços e relações A/L [LOURENCI, 2003].....	16
Tabela 2.7 – Alguns tipos de adjuvantes	18
Tabela 2.8 – Características físicas e mecânicas da cortiça [ALVES, 2010]	22
Tabela 3.1 – Designação das composições realizadas	33
Tabela 3.2 – Equipamento utilizado nas misturas	35
Tabela 3.3 – Definição das propriedades das argamassas no estado fresco [LOURENCI, 2003]	37
Tabela 3.4 – Definição das características e prestações das argamassas no estado endurecido [LOURENCI, 2003].....	41
Tabela 4.1 – Análise granulométrica da areia e da cortiça e suas dimensões mínima (d) e máxima (D)	64
Tabela 4.2 – Baridade dos agregados.....	65
Tabela 4.3 – Baridade do ligante	65
Tabela 4.4 – Alteração entre composições com granulado de cortiça...	67
Tabela 4.5 – Aumento do peso do granulado da cortiça durante o tempo, quando imerso.....	69

Tabela 4.6 – Alteração entre composições com EPS.....	71
Tabela 4.7 – Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com cortiça e com EPS.....	76
Tabela 4.8 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça	86
Tabela 4.9 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade aos 28 dias de idade das argamassas com EPS	89
Tabela 4.10 – Valor do índice de secagem e respetivo desvio padrão das melhores composições.....	92
Tabela 4.11 – Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa) das argamassas com cortiça	96
Tabela 4.12 – Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa) das argamassas com EPS.....	96
Tabela 4.13 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 1, CC70**	101
Tabela 4.14 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 2, CC70**	101
Tabela 4.15 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 1, CE80.....	102
Tabela 4.16 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 1, CE80.....	102
Tabela 4.17 – Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa), muretes CC70** e CE80	103
Tabela 4.18 – Razão entre resistência à flexão e resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com cortiça	114
Tabela 4.19 – Quociente entre resistência à flexão e resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com EPS	115
Tabela 5.1 – Exposição das características das argamassas com cortiça	122

Tabela 5.2 – Exposição das características das argamassas com EPS	123
Tabela 5.3 – Dados utilizados para o cálculo do custo global	127
Tabela 5.4 – Poupança ao longo dos anos, em euros por m ² , ao longo do tempo	129

LISTA DE ABREVIATURAS

- A/L – Relação Água/Ligante
- CB – Composição Base
- CC – Composição com Cortiça
- CE – Composição com EPS (Poliestireno Expandido)
- CEN – Comité Europeu de Normalização
- C.C. – Coeficiente de Capilaridade
- E – Módulo de elasticidade dinâmico
- I.S. – Índice de Secagem
- IPQ – Instituto Português da Qualidade
- LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- Pab – Porosidade aberta
- RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- SP – Superplastificante
- EN – Norma Europeia
- NP – Norma Portuguesa
- prEN – Pré-Norma

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Introdução ao capítulo

Inicialmente procede-se ao enquadramento do tema, salientando a importância do estudo da presente dissertação. De seguida são indicados os objetivos e a metodologia adotada neste estudo. Para concluir o referido capítulo é apresentada a estrutura e a organização do texto desta dissertação.

1.2 Enquadramento e justificação da investigação

As características exigidas aos revestimentos de paredes são cada vez mais severas, nomeadamente ao nível do comportamento térmico. Tem-se observado, cada vez mais, a aposta em conseguir obter um comportamento melhorado das argamassas pela introdução de novos ou menos correntes materiais na sua constituição.

A formulação de uma argamassa para reboco com características térmicas implica não só um conhecimento profundo das suas matérias primas, mas também uma avaliação às diferentes combinações de componentes, de modo a otimizar propriedades pré-definidas.

As propriedades destas argamassas no estado fresco revelam-se tão importantes quanto as que serão atingidas no seu estado endurecido, na medida em que o seu desempenho global depende *a priori* de capacidades como o seu espalhamento e trabalhabilidade, para serem aplicáveis, que condicionam o seu comportamento futuro.

O desempenho dos revestimentos de paredes, em particular os exteriores, constituem a primeira barreira aos agentes de degradação, afetando diretamente as construções. Ao longo do tempo, ocorre uma redução progressiva do seu desempenho, perdendo capacidade ao nível das suas características funcionais de proteção (nomeadamente de contributo para a impermeabilização) e acabamento [MARTINS, M., 2010] [GIL, 2007].

A avaliação do desempenho de um revestimento poderá consistir em parte pela utilização de técnicas de ensaio *in situ* nomeadamente com a utilização do ensaio de ultrassons, na avaliação do comportamento mecânico dos revestimentos de parede. Como tal, pretende-se fazer uma campanha experimental em rebocos aplicados em pequenos muretes de alvenaria sujeitos a envelhecimento natural. Tem-se por objetivos aferir a sensibilidade do método de ensaio e comparar o desempenho de dois rebocos sujeitos às mesmas condições ambientais.

Segundo a AECOPS (Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços) o parque edificado existente em Portugal divide-se por épocas de construção como se mostra na figura 1.1 [NEVES, 2012].

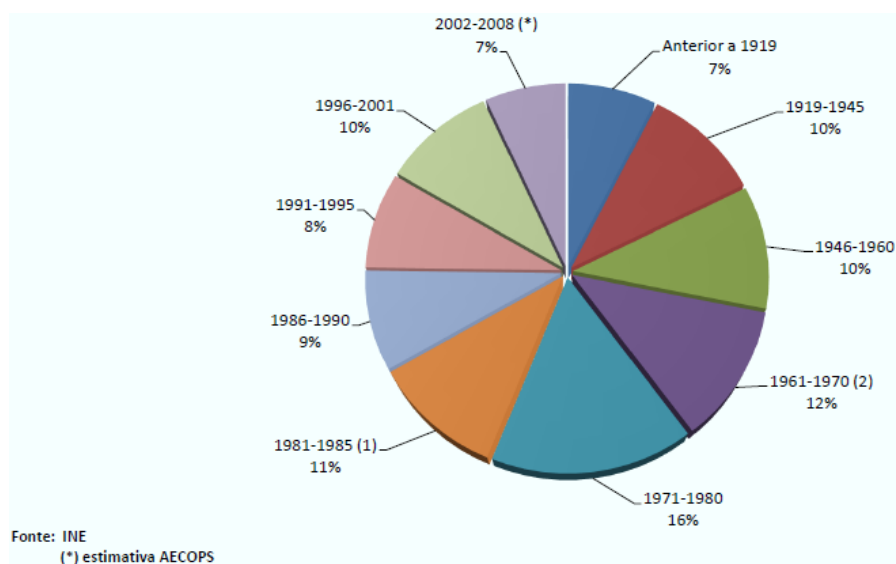


Figura 1.1 – Parque edificado, por época de construção [NEVES, 2012]

Tendo em conta que a partir de meados da década de 50 os rebocos passaram a ser correntemente de base cimentícia, são os edifícios a partir daí o objeto alvo desta investigação, que correspondem a cerca de 80% do edificado existente.

1.3 Objetivos e Metodologia

O objetivo principal deste trabalho de investigação prende-se com o desenvolvimento de argamassas para reboco de comportamento térmico melhorado. Para tal vão utilizar-se dois materiais leves em granulometria fina –

granulado de aglomerado de cortiça e grânulos de EPS. A nível experimental vão definir-se as composições de argamassa mais adequadas, com um máximo de agregados leves, mas também os melhores procedimentos de mistura para argamassas de reboco com características térmicas, atendendo à sua forma de utilização - aplicação em paredes como revestimento. A otimização das propriedades pré-definidas foi realizada com recurso a uma análise do desempenho das argamassas em estado fresco e em estado endurecido, tendo também como base, as normas de argamassas em vigor.

As argamassas desenvolvidas com os agregados leves totalmente produzidos em Portugal foram comparadas com soluções comercializadas no nosso país.

As duas melhores composições de argamassas de base cimentícia obtidas em laboratório, uma com Poliestireno Expandido (EPS) e outra de granulado de cortiça, foram aplicadas em muretes de alvenaria de tijolo furado, pretendendo-se nesta fase observar o seu desempenho a relativo curto prazo face às condições atmosféricas exteriores.

De todo o trabalho experimental realizado, em campo e em laboratório, pretende-se algumas linhas orientadoras que permitem caracterizar a trabalhabilidade destas argamassas, o potencial de incorporação de agregados com desempenho térmico como o granulado de cortiça ou o EPS, a melhor forma de aplicação, o seu comportamento mecânico e, também, algumas regras de boa prática para garantir o controlo da qualidade da aplicação deste tipo de material.

Quando tem lugar a introdução de uma adição - composição com cortiça (CC) ou composição com EPS (CE) – em percentagem do volume da argamassa, parte da massa da areia é substituída pela adição, tendo-se a preocupação de manter a proporção ligante:agregado (em massa).

1.4 Estrutura do Trabalho

A presente dissertação encontra-se organizada em sete capítulos, sendo o seu conteúdo apresentado de seguida.

O estado do conhecimento está presente do capítulo 1 e 2. No capítulo 3 e 4 pode observar-se a descrição dos ensaios realizados, os resultados deles resultantes, bem como a sua análise crítica. No capítulo 5 efetua-se uma análise económica referente às argamassas produzidas. As conclusões e propostas para futuras investigações estão presentes no capítulo 6.

Capítulo 2 – Argamassas

2.1 Introdução ao capítulo

No segundo capítulo apresenta-se uma análise ao estado da arte tendo por objetivo adquirir e consolidar conhecimentos gerais sobre o tema. Descrevem-se conceitos básicos sobre argamassas de revestimento, a sua constituição e características. O tema das adições em argamassas de revestimento também é abordado, procedendo-se a uma análise mais profunda sobre as adições utilizadas nesta dissertação.

2.2 Argamassas de revestimento

Considera-se que uma argamassa é uma mistura de no mínimo um ligante inorgânico, agregados, água e por vezes aditivos e/ou adjuvantes [CEN, 2010].

Sendo uma argamassa, um material de construção com inúmeras aplicações, estas devem ser diferenciadas de acordo com a sua finalidade. As argamassas de revestimento podem ser utilizadas como o acabamento de elementos estruturais ou divisórios, tendo de cumprir requisitos de proteção e estéticos.

Na construção os revestimentos e acabamentos são a primeira camada de proteção das construções, face às ações agressivas da natureza química e mecânica. Para garantir um bom desempenho de argamassas de revestimento há que garantir que se adequam à base onde são aplicadas, terem resistência mecânica suficiente, serem relativamente deformáveis, terem impermeabilidade suficiente e um bom comportamento aos sais [APPLETON, 2003] [VEIGA *et al.*, 2002].

Na formulação das argamassas deve ter-se em atenção todas as suas características, definindo valores mínimos para as mesmas, pois as argamassas de revestimento para além de duráveis devem também garantir que protegem o suporte onde são aplicadas.

A otimização de argamassas de revestimento do ponto de vista térmico e acústico além de contribuir para uma maior qualidade na habitação conduz seguramente a benefícios económicos dos próprios habitantes dado que se traduz numa redução de custos inerentes aos consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento.

2.3 História das argamassas

As primeiras argamassas foram produzidas e utilizadas há mais de 10.000 anos, devido à necessidade do Homem Primitivo construir abrigos e para tal necessitar de um “material” que aglutinasse os restantes elementos disponíveis para a elaboração desses abrigos.

Com a invenção do fogo foi possível estudar os efeitos do calor nos calcários e gessos, melhorando as suas características aglutinantes, em contacto com a água, levando a uma evolução da produção de argamassa.

O primeiro aglomerado não hidráulico a surgir, sendo que regado com água (apagando a cal) obtinha-se um pó branco e fino, foi a cal hidratada ou apagada [SANTOS, 2009] [GALVÃO, 2009] [MONTEIRO, 2008].

A introdução de adições e adjuvantes nas argamassas foi iniciada pela civilização Romana, através da utilização de argamassas de cal aérea constituídas fundamentalmente por cinzas vulcânicas ou outras pozolanas, pó e agregados de tijolo ou telha, e matérias orgânicas (gorduras), com o objetivo de controlar o tempo de presa, conferir hidráulicidade e aumentar a durabilidade das construções.

A degradação das construções em ambientes marítimos e fluviais impulsionou o desenvolvimento de ligantes hidráulicos. O estudo dos referidos ligantes foi desenvolvido pelo engenheiro inglês John Smeaton (1724-1792), sendo o estudo aplicado no quarto farol de Eddystone (Plymouth, Inglaterra). Este farol foi a primeira construção realizada com argamassas constituídas por ligantes hidráulicos [MONTEIRO, 2008] [SANTOS, 2009].

O desenvolvimento da produção e estudo das propriedades do cimento deveu-se a John Smeaton contudo foi Joseph Aspdin em 1824 que patenteou o

cimento Portland (nome dado devido à semelhança da pedra que se extraía das minas na península de Portland, no sul de Inglaterra) [SANTOS, 2009].

Na figura 2.1, consta uma linha de tempo da história das argamassas, nomeadamente referente aos factos mais relevantes após à patente do cimento Portland, não só a nível mundial mas também relativamente a Portugal.

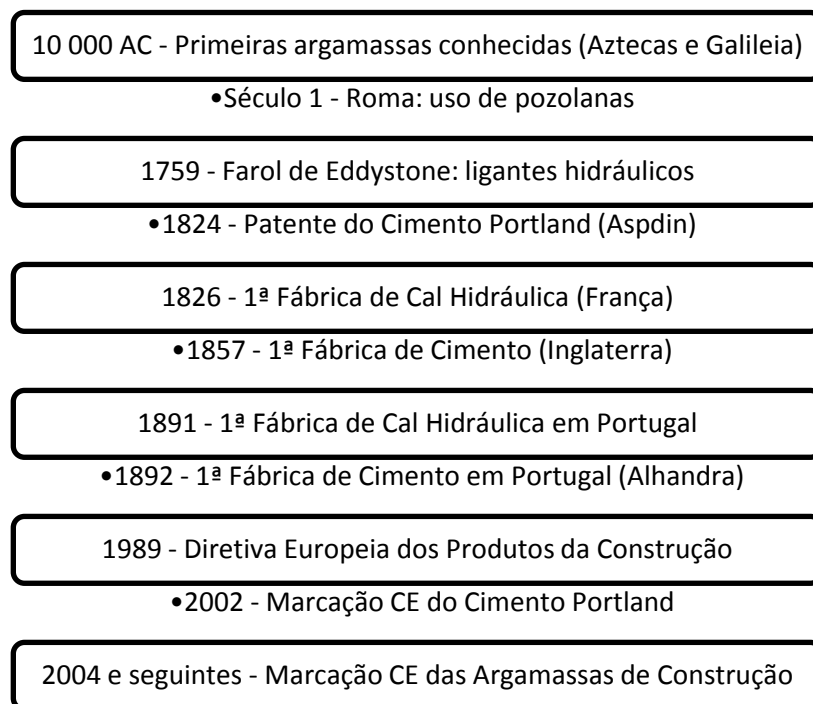


Figura 2.1 - Linha de tempo da história das argamassas [MONTEIRO, 2008]

Antigamente para a aplicação das argamassas em obra, era necessário o transporte e armazenamento das suas matérias-primas, para proceder ao seu fabrico, no local onde iriam ser aplicadas, *in situ*. As argamassas eram produzidas no momento, sendo necessário afetar mão-de-obra unicamente para a tarefa de doseamento de matérias-primas e preparação das argamassas. Mesmo com mão-de-obra encarregue desta tarefa não era possível haver garantias quanto à similaridade e qualidade das argamassas produzidas, devido à difícil quantificação das matérias-primas introduzidas na mistura.

Com vista a minorar as preocupações referentes à racionalização de custos, prazos, à qualidade e durabilidade dos trabalhos, o método tradicional de preparação das argamassas em obra, começou a cair em desuso,

desenvolvendo-se a partir de 1950 a industrialização de argamassas de construção. Contudo, apesar de estarem a cair em desuso, ainda se verifica a produção de argamassas *in situ*, sendo este um dos principais aspetos responsáveis pelos problemas inerentes à qualidade das argamassas [MONTEIRO, 2008].

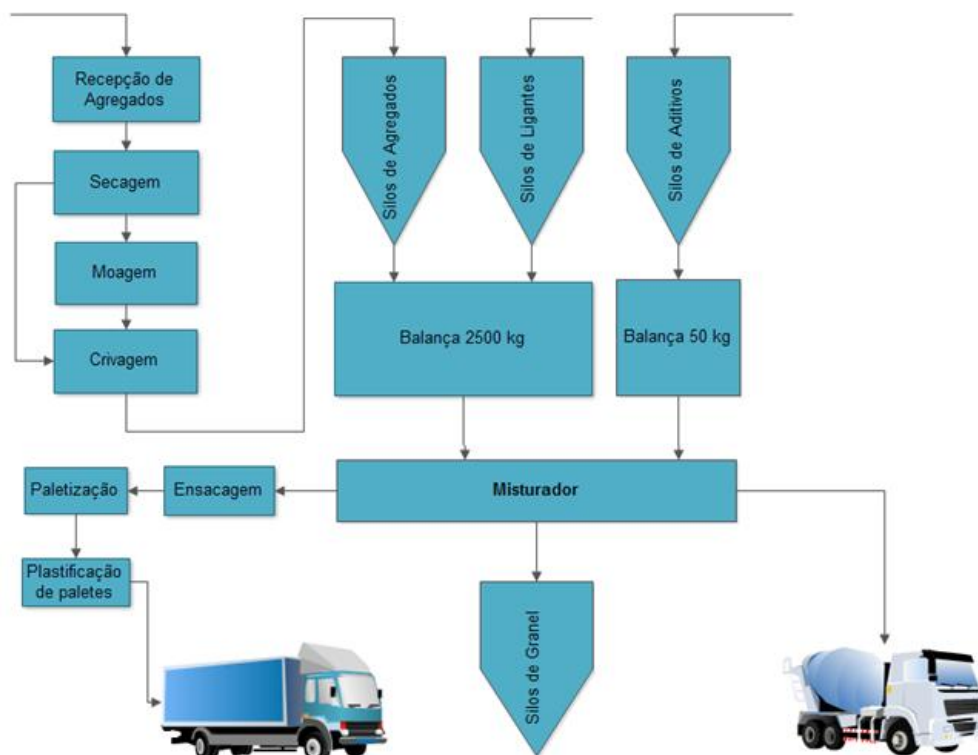


Figura 2.2 - Esquema indicativo do processo de produção industrial de argamassas [MONTEIRO, 2008]

A industrialização das argamassas veio possibilitar a produção de argamassas pré-doseadas em fábrica, reduzindo a probabilidade de erros de doseamento e mistura dos componentes através de equipamentos perfeitamente controlados e modernos. Esta industrialização possibilitou a redução do espaço de armazenamento de matérias-primas, de custos inerentes à mão-de-obra e a garantia da qualidade da argamassa [MONTEIRO, 2008].

A principal vantagem das argamassas de construção industriais e principal assunto de pesquisa e desenvolvimento de trabalho nesta temática, centra-se na cada vez maior necessidade de produzir materiais de construção

com finalidades específicas focalizadas num objetivo. Para tal torna-se necessário um doseamento em quantidades rigorosamente controladas, com o auxílio de aditivos e adjuvantes. Deste modo, numa análise mais específica importa o desenvolvimento de argamassas que conduzam a um melhor desempenho térmico do edificado. A otimização de argamassas para este fim obedece a uma abordagem profunda da função de cada um dos seus componentes e interações entre si.

2.4 Argamassas hidráulicas

Argamassa hidráulica é uma argamassa que contém um ligante mineral hidráulico e que possui a característica de endurecer na presença de água [EMODICO, 2001]. Também pode ser constituída por um ligante aéreo, tal como a cal aérea, que reaja com uma pozolana.

Dentro das argamassas podem considerar-se argamassas de um só ligante e argamassas com mais de um ligante inorgânico na sua constituição, sendo estas denominadas por argamassas bastardas [MENDONÇA, 2007].

O processo de fabrico industrializado dos ligantes hidráulicos, da cal hidráulica e do cimento, aumentou progressivamente a utilização destes materiais. Atualmente as cals são praticamente utilizadas em obras de reconstrução e reabilitação, destacando-se o cimento como o ligante mais utilizado nas construções novas, sobretudo devido à sua resistência mecânica [MARTINS, M., 2010].

2.4.1 Principais constituintes

Os constituintes fundamentais para a formulação de uma argamassa hidráulica são caracterizados em vários grupos, sendo eles os ligantes hidráulicos, os agregados pétreos e a água. Outros constituintes, tal como adjuvantes e adições, poderão fazer parte das argamassas com o objetivo de alterar as suas propriedades [GALVÃO, 2009].

Antes de iniciar a produção de uma argamassa como regra de boa prática devem analisar-se o(s) ligante(s) utilizado(s), o traço da argamassa, a granulometria e natureza dos agregados, assim como a trabalhabilidade pretendida [MARTINS, M., 2010].

2.4.1.1 Ligantes hidráulicos

Designam-se como ligantes as substâncias com capacidades de aglutinar partículas, potenciando uma ligação entre as partículas constituintes de uma argamassa e garantindo a sua aderência ao suporte. Os ligantes devem também garantir que os rebocos apresentam estabilidade, quando em contacto com o meio ambiente em que se inserem [GALVÃO, 2009].

Classificam-se como ligantes hidráulicos os ligantes à base de cal aérea e pozolana, cal com propriedades hidráulicas, cimento Portland, cimento Portland de pozolana e cimento para argamassa e reboco pronto, uma mistura de cal e cimento Portland [BJORN, 2007]

Os ligantes são apresentados sob a forma de pó fino, caracterizando-se os ligantes hidráulicos por ganharem presa e endurecerem através de reações de hidratação, ou seja, através de reações desencadeadas quando o ligante entra em contacto com a água [MARTINS, M., 2010].

2.4.1.1.1 Cimento Portland

O cimento caracteriza-se por ser um material inorgânico, finamente moído, que uma vez amassado com água forma uma pasta, através de reações de hidratação, faz presa, endurece e mantém a sua resistência e estabilidade, tanto ao ar como na água [BOTAS, 2009].

É o ligante hidráulico mais utilizado na produção de argamassas, uma vez que quando comparado com as cal apresenta melhores resistências mecânicas, menor sensibilidade às condições ambientais e menor tempo de presa, permitindo otimizar o rendimento da mão-de-obra [MARTINS, M., 2010].

O cimento pode ser classificado segundo disposições legais, das quais se podem salientar as presentes na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação do cimento [IPQ, 2001/2005/2008]

Tipos de cimento	<ul style="list-style-type: none"> • Portland • Portland Composto • Alto-Forno • Pozolânico
Classes de resistência	<ul style="list-style-type: none"> • 32,5 MPa • 42,5 MPa • 52,5 MPa
Características	Poderá ser classificado consoante características específicas.

O cimento Portland é essencialmente constituído por clínquer, sendo este composto por quatro minerais principais, apresentados na tabela 2.2 assim como as percentagens comuns e abreviaturas.

Tabela 2.2 – Compostos principais do cimento Portland [VIEIRA, 2010]

Nome de composto	Composição	Abreviatura	Percentagem
Silicato tricálcico ou Alite (*)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	20% a 80%
Silicato bicálcico ou Belite (*)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	10% a 55%
Aluminato tricálcico ou celite (*)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	0% a 15%
Aluminoferrato tetracálcico ou felite (*)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5% a 15%

(*) – Minerais na forma impura

O C_3S e o C_2S são compostos semelhantes, diferenciados pelo C_3S ter uma taxa de reação de hidratação mais alta que o C_2S . No cimento Portland o C_3S domina o processo de hidratação com uma fração a rondar os 50%. O C_3A e o C_4AF têm uma influência importante nos primeiros instantes de hidratação do cimento, sendo responsáveis pelo comportamento reológico. Os sulfatos de cálcio são introduzidos na composição do cimento com o objetivo de retardar uma presa instantânea nos instantes iniciais, provocados pelo C_3A e pelo C_4AF [VIEIRA, 2010].

Na norma portuguesa referente ao cimento são apresentadas as composições dos diferentes tipos de cimento, as suas especificações e critérios de conformidade para os 27 cimentos correntes. Apresentam-se também os requisitos necessários a satisfazer por esses constituintes, os requisitos mecânicos, físicos e químicos, as classes de resistência e requisitos de durabilidade [IPQ, 2001/2005/2008].

2.4.1.2 Agregados pétreos

Os agregados pétreos são materiais granulares, constituídos por misturas de partículas de diversos tamanhos, com uma participação química praticamente nula [BAUER, 2000].

É geralmente o constituinte maioritário de uma argamassa, sendo utilizado com o objetivo de diminuir a retração e a quantidade de ligante, aumentar a compacidade e a resistência à compressão, melhorando a permeabilidade ao vapor de água e a resistência a ciclos gelo-degelo [PENAS, 2008].

Em argamassas os agregados pétreos mais utilizados são as areias, sendo que segundo a NP EN 12620 (IPQ, 2004), estes devem ter a sua dimensão compreendida entre os 0,063 mm e os 4 mm. A areia é um material granular obtido através da desagregação natural ou da britagem de rochas. Outros agregados, menos utilizados, são o pó de pedra ou outros resíduos de granulometria adequada [MARTINS, M., 2010].

O comportamento de uma argamassa é influenciado pela escolha da origem da areia, da sua forma e da sua composição granulométrica, sendo possível adotar soluções economicamente mais vantajosas com o uso de menores quantidades de ligante.

Para uma redução da tendência para a fendilhação devem utilizar-se areias grossas, enquanto para a redução da porosidade e da absorção de água devem utilizar-se areias finas. Para argamassas com areias finas é necessária a utilização de uma maior quantidade de água, para a mesma trabalhabilidade; contudo como consequência estas apresentam uma maior quantidade de fissuras por retração na fase de endurecimento. Argamassas mais grossas são mais resistentes a ciclos gelo-degelo [MARTINS, M., 2010] [BOTAS, 2009].

A contribuição dos agregados torna-se mais eficaz caso estes estejam isentos de sais ou matéria orgânica. A presença de argila também se torna prejudicial, pois o seu excesso contribui para uma maior retração [AGOSTINHO, 2008] [MARTINS, M., 2010].

Os agregados podem ser classificados como indicado na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Classificação dos agregados [MENDONÇA, 2007]

Origem	Dimensão das partículas	Massa volúmica
<p>Naturais – Utilizados com a forma que são encontrados na natureza (areia; cascalho);</p> <p>Industrializados – Composição específica obtida por processos industriais;</p> <p>Reciclado – Resultam do processamento de material inorgânico já usado na construção.</p>	<p>Fino – as areias, sejam naturais ou britadas, com partículas de menores dimensões, usualmente com máxima granulometria inferior a 4 mm;</p> <p>Grosso – seja rolado ou britado (sendo que as argamassas não incluem agregados grossos).</p>	<p>Conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, normais e pesados.</p>

2.4.1.3 Água

A água é o elemento fundamental para promover as reações de hidratação, desencadeando as propriedades aglutinantes do ligante. A água utilizada é sempre superior à necessária para a hidratação do ligante, sendo que é necessária uma quantidade superior para garantir a fluidez da argamassa para a sua aplicação e contar ainda com eventual sucção do suporte e evaporação. A introdução de água em excesso reduz a resistência das argamassas e por outro lado a carência da mesma provoca o aparecimento de fendas e uma fraca aderência ao suporte [MENDONÇA, 2007].

A água de amassadura deve encontrar-se limpa e isenta de impurezas, especialmente sais, para não comprometer o desempenho da argamassa devido a uma degradação acelerada [MARTINS, M., 2010].

A quantidade de água a utilizar numa amassadura é calculada através da relação Água/Ligante (A/L). Esta relação deve ser criteriosamente calculada, visto que não tem apenas influência no seu estado fresco, trabalhabilidade, aderência ao suporte e facilidade com que é aplicada a argamassa, o que conseqüentemente irá condicionar o rendimento da mão-de-obra. Também tem influência nas características da argamassa no estado endurecido, como a porosidade, absorção de água, retração de secagem, resistência mecânica, entre outras [HENZ, 2009].

2.4.2 Composição tradicional de argamassas de revestimento

Como já foi referido, basicamente as argamassas são constituídas por três componentes, sendo eles um ligante, um agregado fino e água. A qualidade de uma argamassa não está apenas dependente do traço da argamassa, mas também das características dos seus constituintes e da sua quantidade, tornando-se necessário um bom conhecimento acerca destes para que seja possível proporcionar premeditadamente características específicas à argamassa a produzir.

O traço de uma argamassa não é mais do que a proporção dos componentes relativamente ao ligante. Usualmente o traço calcula-se em massa, dando origem ao traço em volume, sendo este o mais usado em obras de construção civil. O traço de argamassa, “1 : x”, significa que para uma dada medida em massa do ligante (cimento), adiciona-se “x” medidas de agregado miúdo (areia) [LOURENCI, 2003].

Com o aumento do traço da argamassa tem-se o aumento da resistência mecânica, seja qual for o ligante utilizado. Com o cimento como ligante quanto maior o traço menor a porosidade da argamassa, verificando-se o efeito contrário em argamassas de cal aérea e hidráulica [BOTAS, 2009].

Quando se adiciona água a um ligante dá-se o nome de pasta a esta mistura, contudo quando a água adicionada é em excesso o nome da mistura

passará a ser nata. Ao adicionar agregado fino à pasta obtém-se uma argamassa.

O agregado fino (areia) tem o intuito de diminuir a retração, aumentar a resistência e tornar o produto mais económico.

Um fator que influencia o desempenho de uma argamassa é a relação quantitativa entre materiais; logo têm que se ter em conta as relações entre a A/L e entre a pasta/agregado uma vez que a argamassa resulta de uma mistura de ligante, água e agregados.

Na relação pasta/agregado, a maior ou menor diluição ou concentração da pasta e da distribuição granulométrica do agregado alteram as propriedades físicas, mecânicas e químicas das argamassas [LOURENCI, 2003].

Tabela 2.4 - Evolução da trabalhabilidade e da resistência mecânica em função dos fatores de composição do betão [LOURENCI, 2003]

Fatores de Composição do Concreto	Para Uma Boa Trabalhabilidade	Para Uma Boa Resistência
Finura da areia	De preferência fina	De preferência grossa
Relação grão/areia	A diminuir	A aumentar
Dosagem de água	A aumentar até um certo ponto	A diminuir
Granulometria	Preferível contínua	Preferível levemente descontínua
Dimensão máxima dos grãos	De preferência pequena	De preferência grande

A argamassa não é simplesmente um material com a função de se moldar a algo, não tem a simples função de fixar dois elementos, dar o acabamento, a forma ou a textura a um corpo estrutural. A argamassa de revestimento protege a estrutura das ações atmosféricas e de tudo o que possa danificar a estrutura quer química, física ou mecanicamente [LOURENCI, 2003].

A qualidade de uma argamassa é importante para a durabilidade das construções, pois a argamassa de revestimento é o primeiro material da construção a ser atacado pelos agentes de deterioração externos a uma construção.

As argamassas podem ser classificadas de diversos modos - relativamente ao seu emprego, tipo de ligante, número de elementos ativos, dosagem e consistência -, tal como se demonstra na tabela 2.5 [LOURENCI, 2003].

Tabela 2.5 - Classificação das argamassas relativamente a vários fatores [LOURENCI, 2003]

Classificação da argamassa quanto:				
Ao emprego	Ao tipo de ligante	Ao número de elementos ativos	À dosagem	À Consistência
Comuns (para rejuntamentos, revestimentos, pisos, injeções)	Aéreas (cal aérea, gesso)	Simples (um ligante)	Pobres ou magras (volume de pasta insuficiente para preencher vazios)	Secas
Refratárias (para fornos, revestimentos térmicos)	Hidráulicas (cal hidráulica, cimento)	Composta (mais de um ligante)	Ricas ou gordas (excesso de pasta)	Plásticas
	Mistas (cimento e cal aérea)		Cheias (quantidade suficiente de pasta)	Fluidas

Tabela 2.6 - Aplicações de argamassas, traços e relações A/L [LOURENCI, 2003]

Finalidade	Traço (massa)	Materiais	Relação A/L	Consistência
Assentamento de Tijolos	1:0,5:2,5	Cimento, Saibro e Areia Fina	0,60	Muito Plástica
Revestimento	1:1:0,5	Cimento, Saibro e Areia Fina	0,90	Plástica
Chapisco	1:5,0	Cimento e Areia Grossa	1,00	Fluida
Contrapiso	1:4,0	Cimento e Areia Média	0,50	Seca
Produção de Blocos de Betão	Entre 1:6 e 1:11	Cimento e Areia Muito Grossa	0,60	Muito Seca

Para melhorar as propriedades da argamassa para além da quantidade e qualidade dos componentes também é frequente o uso de adições, por forma a tornar a argamassa mais eficiente.

2.4.3 Cura

A cura pode definir-se como o conjunto de reações que ocorrem ao longo do endurecimento e envelhecimento de uma argamassa, podendo condicionar o modo como a água se liberta da argamassa e esta, por sua vez, condicionar as reações. Em argamassas de ligantes hidráulicas este é um processo importante, uma vez que a água é importante para as reações de hidratação e estas sendo aplicadas como revestimento apresentam uma elevada área exposta aos fenómenos de evaporação [BAUER, 2000] [MARTINS, M., 2010].

Argamassas que contenham ligantes constituídos por cal hidráulica ou cimento são favorecidos por ambientes mais saturados em humidade, uma vez que desta forma a água presente na amassadura evapora mais lentamente. Sendo que na prática não se têm muitos cuidados com a cura em rebocos e estes são aplicados em elevadas superfícies livres estando mais expostos aos fenómenos de evaporação, compensa-se esse facto com o aumento da relação A/L, em relação a outra argamassa [MARTINS, M., 2010].

Como já foi referido no subcapítulo 2.4.1.3, relativamente à água tanto o seu excesso como a sua falta implicam consequências negativas na qualidade da argamassa, devendo esta ser introduzida o mínimo possível na composição, contudo dentro de limites razoáveis.

2.5 Adjuvantes

Adjuvante é a substância utilizada no fabrico de argamassas numa percentagem inferior a 5% da massa do ligante. É adicionado durante a amassadura, com o intuito de alterar propriedades no estado fresco, no estado endurecido, ou na passagem de um estado para o outro.

Os adjuvantes podem controlar e induzir propriedades específicas a argamassas e pastas de cimento; contudo não devem ser utilizados com o intuito de corrigir uma argamassa de baixa qualidade. As principais utilizações de adjuvantes prendem-se com [BOTAS, 2009] [VIEIRA, 2010]:

- Aumento da trabalhabilidade, sem aumento da quantidade de água da mistura;

- Aceleração ou redução do tempo de presa;
- Aceleração ou redução da progressão do endurecimento;
- Aumento da impermeabilidade;
- Aumento ou diminuição da resistência a ciclos gelo-degelo;
- Aumento da tensão de rotura, sem alteração da quantidade de cimento.

Os custos inerentes à utilização de adjuvantes não devem ser vistos como um custo adicional. Tal custo poderá ser compensado na redução dos custos de mão-de-obra para a realização da compactação, no teor de cimento que seria necessário ou na melhoria da durabilidade [VIEIRA, 2010].

Os adjuvantes podem caracterizar-se em materiais orgânicos ou inorgânicos, existindo uma vasta gama, tal como se salientam alguns deles na tabela 2.7 [GALVÃO, 2009] [EMOdico, 2001].

Tabela 2.7 – Alguns tipos de adjuvantes

Adjuvantes	
Promotores de aderência	Melhoram a aderência sem aumentar o teor de ligante, diminuindo a retração e a suscetibilidade à fendilhação.
Hidrófugos de massa	Melhoram a capacidade de impermeabilização obstruindo os capilares, impedindo a penetração e circulação de água no revestimento.
Introdutores de ar	Melhoram a capacidade de impermeabilização, a resistência ao gelo degelo e aos sais pois as bolhas de ar introduzidas promovem um corte de capilaridade.
Plastificantes (1ª geração)	Aumentam a trabalhabilidade da argamassa, permitindo a diminuição da quantidade de água de amassadura e, eventualmente, de ligante. Redução A/L entre 6 e 12%.
Superplastificantes (2ª e 3ª geração)	São maiores redutores de água que os plastificantes. 2ª geração reduz A/L entre 12 e 20%, 3ª geração reduz A/L acima dos 20%.
Retentores de água	Limitam o risco de uma evaporação prematura da água da argamassa, contribuindo para uma hidratação mais completa.
Fungicidas	Impedem a fixação de micro-organismos nas argamassas.
Pigmentos	Permitem a coloração da massa. São utilizados em quantidades inferiores a 5% da massa do ligante.

O adjuvante utilizado nesta investigação é um superplastificante de 3ª geração, ou seja, tal como se pode visualizar da tabela 2.7 tem uma

capacidade superior aos plastificantes, pois usando a mesma quantidade de adjuvante é possível alcançar a mesma trabalhabilidade com uma menor quantidade de água. Também é de salientar o facto de se poder utilizar uma maior dosagem de superplastificante do que de plastificante antes de atingir a dosagem ótima. Caracteriza-se esta dosagem como a quantidade a partir da qual não se verificam ganhos evidentes na fluidez das pastas, podendo mesmo ocorrer perdas de fluidez. Para superplastificantes esta dosagem ótima encontra-se entre 1 a 2% da massa de cimento [COLLEPARDI, 1998].

Os objetivos a alcançar pelos superplastificantes são [VIEIRA, 2010]:

- Aumentar a trabalhabilidade, sem alterar o consumo de água e a relação A/L;
- Reduzir a relação A/L, aumentando deste modo as resistências mecânicas e a durabilidade;
- Diminuir a quantidade de cimento, através da redução da quantidade de água de amassadura e mantendo a relação A/L inicial, sem que se verifique a diminuição da resistência para uma dada trabalhabilidade.

2.6 Adições

A adição é um material finamente dividido utilizado no betão ou em argamassas com a finalidade de melhorar certas propriedades do mesmo ou alcançar propriedades especiais [IPQ, 2007/2010].

Várias propriedades podem ser modificadas com as adições, podendo elas ser físicas, químicas e mecânicas. Ao aplicar uma adição com determinada finalidade, têm que se ter em atenção todas as propriedades da argamassa, pois a adição poderá estar a melhorar certa propriedade da argamassa, em detrimento de outra propriedade não menos importante.

É fundamental um rigoroso controlo de todas as propriedades das argamassas, pois são estas que refletem a qualidade final da argamassa.

Sendo o principal objetivo o desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado efetuou-se este estudo sobre algumas adições que poderiam satisfazer as necessidades pretendidas,

devido às suas propriedades, sendo elas o granulado de cortiça e o EPS (Poliestireno Expandido).

2.6.1 Cortiça

A cortiça é proveniente do sobreiro, uma árvore de crescimento lento e de grande longevidade, capaz de atingir os 250-350 anos, embora o seu período mais produtivo seja até aos 150-200 anos de idade [MARTINS, M., 2010].

A cortiça constitui o revestimento exterior do tronco e ramos do sobreiro, sendo extraída habitualmente no Verão, com uma periodicidade legal mínima de nove anos, em Portugal. É extraída sob a forma de pranchas semi-tubulares com espessura adequada ao seu processamento industrial, sendo que a sua exploração apenas poderá ter início quando a árvore atingir aproximadamente 0,7 m de perímetro a 1,3 m do solo, de acordo com o Decreto-Lei 11/97, de 14 de Janeiro [MARTINS, M., 2010] [ALVES, 2010].

A União Europeia é o maior produtor de cortiça, produzindo mais de 80% da cortiça produzida a nível mundial, também importando alguma cortiça do Norte de África. A produção na União Europeia é efetuada nos países do Sul do Mediterrâneo, destacando-se Portugal com uma produção superior a 50%. Em Portugal os sobreiros ocupam mais de 720 mil hectares, cerca de 22% da área florestal do país, tendo a sua estrutura cerca de 40% das árvores na fase “jovem” ou “jovem passando a adulto”. A densidade média dos sobreiros é de 67 árvores/ha, sendo o ideal 185 árvores/ha [MARTINS, M., 2010] [ALVES, 2010].

Numa análise do ponto de vista ambiental é de salientar que a produção de cortiça é sustentável e devido a ser um recurso com bastante exploração em Portugal torna-se um produto razoavelmente económico.

2.6.1.1 Características da cortiça

As características da cortiça relativamente à sua composição química estão relacionadas com os seus componentes, que por norma dividem-se nos seguintes cinco grupos [GRUPO AMORIM]:

- Suberina (45% - principal componente das paredes das células, responsável pela compressibilidade e elasticidade);
- Lenhina (27% - composto isolante);
- Polissacáridos (12% - componente que ajuda a definir a textura da cortiça);
- Ceróides (6% - composto hidrofóbico, repele a água e contribui para a impermeabilização);
- Taninos (5% - composto polifenólico, responsável pela cor e proteção/conservação do material).

A cortiça é um material anisotrópico, devendo assim ser analisada segundo as três direções principais, apesar das suas propriedades serem semelhantes nas duas direções não-radiais. Possui um conjunto de características únicas, comparativamente a outros produtos extraídos da natureza, sendo estas as seguintes [MARTINS, M., 2010] [ALVES, 2010]:

- Leveza;
- Flutuabilidade;
- Compressibilidade;
- Elasticidade;
- Vedante;
- Isoladora;
- Imputrescível;
- Inodora;
- Durabilidade;
- Resistente ao fogo;
- Reciclável e biodegradável;
- Baixa condutividade térmica;
- Grande capacidade de absorção de energia (em impacto);
- Antivibrático, grande capacidade de dissipação de energia (em vibrações);
- Elevado coeficiente de atrito;
- Resistente ao desgaste;

- Capacidade de recuperar a forma inicial após submetida à compressão.

Na tabela 2.8 estão presentes as características físicas e mecânicas da cortiça.

Tabela 2.8 – Características físicas e mecânicas da cortiça [ALVES, 2010]

Características	Valor Médio
Massa Volúmica	180 Kg.m ⁻³
Módulo de Young (compressão)	13 MPa
Módulo de Young (tração)	18 MPa
Coefficiente de Poisson	0,18
Coefficiente de precipitação de energia	0,2
Coefficiente de atrito	0,3
Calor específico (P cte)	35 J.Kg ⁻¹ .K ⁻¹
Coefficiente de difusão de água (20 C)	4x10 ⁻¹⁰ m ² .s ⁻³
Difusividade térmica	10 ⁻⁶ m ² .s ⁻¹
Condutividade térmica	0,045 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Tensão de ruptura (tração)	19 MPa

No que respeita à estrutura da cortiça, esta é constituída por materiais celulares, constituídos por células ocas, abertas ou fechadas, sendo o volume de sólido das células inferior a 30%. As células da cortiça apresentam-se em forma de prismas hexagonais, empilhados em colunas ou fiadas, segundo a direção radial. [MARTINS, M., 2010] [SILVA, 2005]

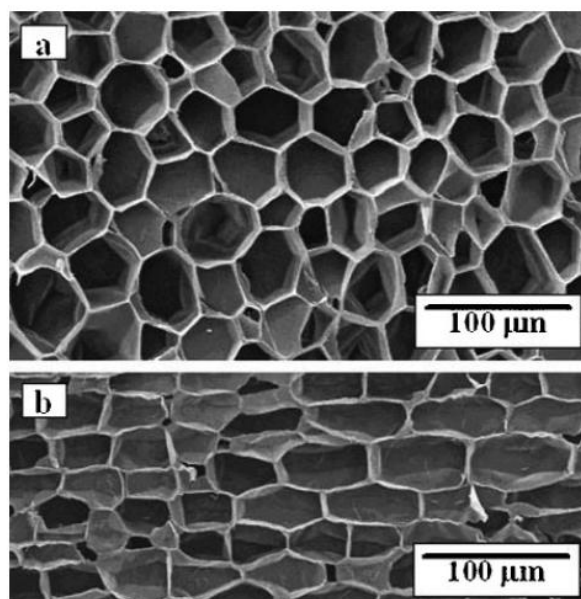


Figura 2.3 - Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da cortiça; a-secção radial; b-secção tangencial [SILVA, 2005]

2.6.1.2 Influência da introdução do granulado de cortiça nas argamassas

A introdução do granulado de cortiça em substituição da areia nas argamassas irá alterar as suas características no estado fresco e no estado endurecido. Estas alterações serão devidas à diferente forma, granulometria e às próprias características físicas, químicas e mecânicas da própria cortiça. Assim proporcionar-se-ão diferenças na organização dos agregados no interior da argamassa com influência na compacidade e na porosidade da mesma.

Tendo a areia função estrutural na argamassa ao ser substituída por granulado de cortiça é de esperar uma redução significativa da resistência mecânica.

No que diz respeito à quantidade de água necessária para a mesma trabalhabilidade, espera-se que esta seja superior, devido à estrutura alveolar do granulado de cortiça [FRADE, *et al.*, 2012].

Relativamente às características térmicas da cortiça, estas são bastante benéficas à argamassa, devido à sua baixa condutibilidade térmica face às características da areia [FRADE, *et al.*, 2012] [MARTINS, M., 2010] [PANESAR, *et al.*, 2012].

Sendo a cortiça um material claramente com uma massa volúmica inferior à areia, são de esperar argamassas mais leves.

Tendo em conta a capacidade de deformação da cortiça, esperam-se argamassas com um módulo de elasticidade dinâmico inferior quando comparados com argamassas sem esta substituição, ou seja, prevêem-se argamassas com uma capacidade de deformação superior às que apenas contêm areia como agregado, antes de atingirem a rotura.

2.6.2 EPS

O EPS é um polímero termoplástico com uma estrutura celular obtida através da expansão do poliestireno (PS), originando esferas celulares com paredes celulares muito finas [POLETTI, 2009].

As principais aplicações do EPS são como isolamento térmico para edifícios e como embalagens industriais e alimentares, entre outras aplicações,

tendo um consumo mundial superior a 2.000.000 toneladas/ano [ACEPE, 2005].

Nas instalações dos produtores de EPS, durante o seu processo de fabrico, a matéria-prima é sujeita a um processo de transformação física, já não sendo em qualquer altura alteradas as suas propriedades químicas. Este processo de fabrico divide-se em três fases [FUTURENG]:

- **Pré-expansão** – Num pré-expansor através de aquecimento por contacto com vapor de água, processa-se a expansão do PS expansível. O agente expansor incha o PS, cerca de 50 vezes acima do seu volume original, originando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas, que são armazenadas para estabilização.
- **Armazenamento intermédio** – Efetua-se o armazenamento do EPS para a sua posterior transformação. Nesta fase de estabilização o granulado de EPS arrefece, criando uma depressão no interior das células. No decorrer deste processo o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante.
- **Moldagem** – Nesta fase introduz-se o granulado produzido em moldes, sendo os grânulos novamente expostos ao vapor de água, provocando a soldadura do mesmo. Deste modo obtém-se um material expandido que é rijo, contendo em simultâneo uma grande quantidade de ar.

2.6.2.1 Características do EPS

Este material detém o seguinte conjunto de características [FUTURENG]:

- Leve (densidade entre 10-30 kg/m³, permitindo uma redução relevante do peso das construções);
- Elevada resistência mecânica;
- Baixa absorção de água;
- Insensível à humidade;
- Não é higroscópico (não retém humidade);
- Apenas absorve pequenas quantidades de água quando submerso;
- Garante as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da humidade;

- Fácil de manusear e colocar, devido ao seu reduzido peso;
- Quimicamente compatível com a maioria dos materiais utilizados na construção;
- Versátil, capacidade de se apresentar numa vasta gama de tamanhos e formas, ajustáveis às necessidades das construções;
- Resistência ao envelhecimento (conserva as suas propriedades ao longo da vida útil do edifício);
- Não apodrece;
- Não adquire bolor;
- Não é solúvel em água;
- Não liberta substâncias para o ambiente;
- Baixa condutibilidade térmica (resiste à passagem do calor).

A baixa condutibilidade térmica é a capacidade mais importante do EPS, devendo-se esta característica à sua estrutura celular constituída por milhões de células fechadas com diâmetros de décimos de milímetro e com paredes de 1 mm. O fator que mais contribui para o isolamento térmico presente neste material é ser constituído por 98% de ar e apenas por 2% de espuma, mantendo o ar, quase imóvel, dentro das suas células [FUTURENG].

Para melhor entender o comportamento do EPS há que ter em conta os seguintes fatores [FUTURENG]:

- A Condutibilidade Térmica (λ) habitualmente utilizado em cálculos é de 0,04 W/m°C;
- Quanto menor o valor do λ , maior a sua capacidade de isolamento térmico;
- Outro fator determinante neste coeficiente é a espessura da camada isolante empregue;
- Quanto maior a massa volúmica do EPS menor o λ , ou seja, uma maior densidade (peso por metro cúbico) equivale a uma maior proteção ao nível térmico;

- Na medição do λ este diminui, quando a temperatura também diminui, ou seja, num ambiente mais frio o material resiste melhor à passagem do calor.

O EPS é apresentado sob a forma uma forma esférica, sendo a sua estrutura celular obtida através da expansão do PS. A sua estrutura celular é constituída por paredes celulares esféricas muito finas, como se pode observar na figura 2.4 [POLETTTO, 2009].

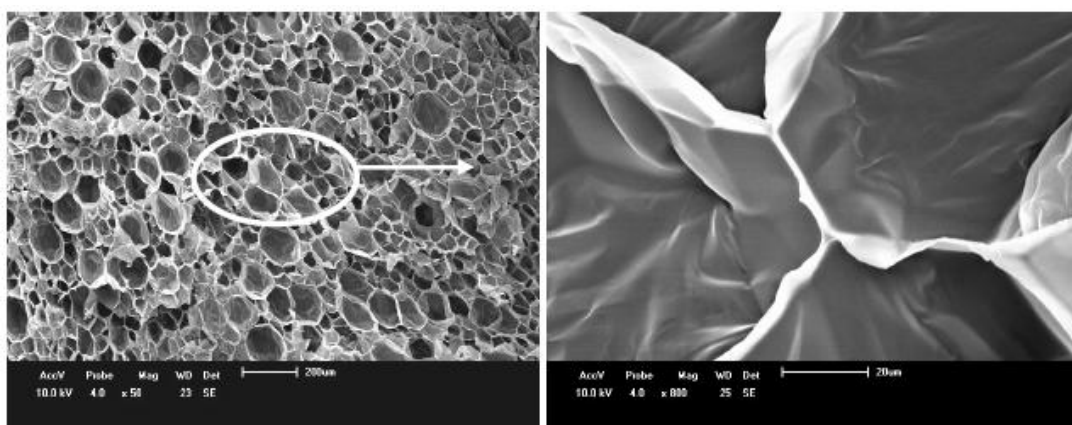


Figura 2.4 – Microscopia eletrónica de varredura (MEV) da estrutura celular e da fina espessura das paredes do EPS [POLETTTO, 2009]

2.6.2.2 *Influência da introdução de EPS nas argamassas*

O EPS incorporado nas argamassas em substituição da areia trará consequências similares ao granulado de cortiça referido em 2.6.1.2. Desta forma influenciará as características no estado fresco e no estado endurecido das argamassas devido à diferente forma, granulometria e às próprias características físicas, químicas e mecânicas do EPS. Deste modo serão evidentes diferenças na organização dos agregados no interior da argamassa com influência na compactidade e na porosidade da mesma.

Devido à substituição de areia por EPS, tal como com a cortiça, espera-se a diminuição da resistência mecânica, o aumento da quantidade de água necessária para a mesma trabalhabilidade, uma melhoria das características térmicas da argamassa e a obtenção de argamassas mais leves.

Capítulo 3 – Programa experimental

3.1 Introdução ao capítulo

O presente capítulo define-se como um dos mais importantes desta investigação, uma vez que é neste capítulo que se descrevem todas as etapas associadas ao estudo das argamassas, desde a sua produção, a todos os ensaios de que as mesmas foram alvo.

Numa primeira fase, tem lugar a seleção dos materiais adotados, bem como a sua descrição com vista à produção das argamassas de revestimento e metodologias utilizadas para a sua caracterização.

Numa segunda fase, descreve-se o modo de preparação das argamassas, assim como os ensaios preliminares, por forma a determinar a dosagem e a forma de produção adequada.

Na terceira e última fase, são descritos os ensaios realizados em laboratório, efetuados com a finalidade de investigar o comportamento físico e mecânico das argamassas produzidas, assim como a sua aplicabilidade como argamassa de revestimento. Esta fase de ensaios divide-se em micro e macro-level, realizados em provetes de argamassa e nos revestimentos aplicados em muretes.

3.2 Materiais da argamassa

Os materiais constituintes de uma argamassa têm influência nas suas propriedades finais, tanto devido à sua forma e granulometria como às suas características físicas, químicas e mecânicas.

À que ter um conhecimento profundo acerca dos materiais a utilizar para uma boa manipulação dos resultados que se esperam de uma argamassa.

3.2.1 Seleção dos materiais

Para a realização desta investigação efetuou-se a escolha dos materiais a utilizar consoante as características pretendidas para as argamassas a

realizar. Os materiais utilizados na produção das argamassas de revestimento presentes neste estudo foram as seguintes:

- Ligantes: CEM II B-L 32,5 N, segundo a EN 197-1, fornecido pela SECIL;
- Agregado fino: areia siliciosa fina 0/1, fornecida pela empresa Neto Marques e Marques, Transportes de Mercadorias, Lda;
- Granulado de cortiça: granulado branco de cortiça 0.5/2, fornecido pela Fabricor - Indústria, Preparação e Transformação de Cortiça, SA;
- EPS: “GRAN-LEV”, granulometria: 4, fornecido pela Plastimar;
- SP: Policarboxilato modificado (PCE) (Sika Viscocrete 3008);
- Água potável.

Como já referido para a escolha destes materiais tiveram-se em conta alguns pressupostos, sendo que de seguida se explicam os principais motivos destas escolhas.

Para o ligante teve-se em conta parâmetros como a sua trabalhabilidade, capacidade de redução da água de amassadura, boa resistência, maior tempo de utilização antes de se dar o início de presa face a outra classe de resistência e baixo preço face aos restantes cimentos comercializados. O agregado escolhido foi a areia fina pois possibilita uma redução da porosidade, sendo importante devido à estrutura porosa das adições a introduzir nas argamassas, e pela capacidade de redução da absorção de água face a uma areia grossa devido à durabilidade necessária para uma argamassa de revestimento. As adições foram escolhidas devido às suas capacidades ao nível térmico e a serem produzidas totalmente em Portugal. Foi escolhido um SP com o intuito de melhorar a trabalhabilidade devido às dimensões das adições serem superiores às da areia, pois com granulometrias superiores seriam de esperar menores valores de consistência.

3.2.2 Caracterização dos materiais

Neste subcapítulo são descritos os métodos de ensaio para determinação das características dos materiais utilizados. Algumas características dos materiais pretendidos para este estudo não foram ensaiadas, por estarem presentes nas fichas técnicas entregues com os

mesmos. As fichas técnicas dos materiais caracterizados neste subcapítulo encontram-se nos Anexos A, B e C.

3.2.2.1 *Análise granulométrica dos agregados*

Para analisar a granulometria dos materiais utilizadas na produção das argamassas seguiram-se as normas NP EN 933-1 e NP EN 933-2.

Com a utilização de uma granulometria adequada em argamassas é necessária uma menor quantidade de ligante para estas se demonstrarem compactas e resistentes [RODRIGUES, 2010]. Uma granulometria adequada reduz o risco do efeito de segregação, que se caracteriza pela separação dos constituintes da argamassa fresca tornando a sua distribuição menos uniforme. A utilização de areia com granulometrias mais finas requer a utilização de uma maior quantidade de água na fase de amassadura, potenciando o aparecimento de fissuras durante a retração na fase de endurecimento, enquanto, granulometrias maiores mostram um melhor comportamento a ciclos gelo-degelo [BOTAS, 2009] [RATO, 2006].

O procedimento de ensaio passa pela colocação dos peneiros, estipulados na norma, uns por cima dos outros ficando no topo o peneiro de maior abertura e na base o peneiro de menor abertura.

Após a secagem em estufa do agregado a ensaiar, a uma temperatura de $60\pm 5^{\circ}\text{C}$, coloca-se a amostra no peneiro do topo, procedendo-se de seguida à peneiração mecânica durante 15 a 20 minutos.

Seguidamente à peneiração determina-se a massa da amostra retida em cada peneiro.

Após se realizarem os cálculos necessários traça-se a curva granulométrica do agregado, indicando também a mínima e máxima dimensão do agregado. Entende-se por mínima dimensão do agregado a abertura do peneiro do qual não passa mais que 5% do agregado e máxima dimensão do agregado a abertura onde passa pelo menos 90% do agregado.

3.2.2.2 *Baridade*

A determinação da baridade foi obtida através da aplicação da norma NP EN 1097-3.

A baridade pode ser definida como a massa por unidade de volume aparente, englobando-se no volume aparente o volume de vazios entre as partículas e entre as partículas e o recipiente onde está contido. Desta forma o ensaio apenas é válido para materiais granulares. Fatores como a forma, grau de compactação e granulometria das partículas, influenciam o valor da baridade.

O cálculo da baridade é um ensaio importante, pois é através deste que é possível aferir as quantidades, em massa, necessárias de cada material constituinte a fazer parte da argamassa tendo em conta o traço volumétrico pretendido.

Para o cálculo da baridade utiliza-se um recipiente em que o seu volume é conhecido. A colocação do constituinte no recipiente é efetuada sem compactação, rasando-se a boca do mesmo com uma régua metálica, por forma a retirar o material em excesso. O ensaio descrito foi realizado para a areia, ligante e adições. O cálculo da baridade é realizado segundo a equação que se segue:

$$Ba = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{Equação 3.1}$$

em que:

Ba – baridade (g/cm³)

m₁ – massa do recipiente (g)

m₂ – massa do recipiente preenchido com matéria-prima (g)

V – volume do recipiente (cm³)



Figura 3.1 – Recipiente para determinação da baridade

3.3 Preparação das argamassas e provetes

O procedimento experimental engloba toda uma sequência de atividades em laboratório, desde o cálculo das quantidades de materiais a englobar em cada composição até ao fabrico de provetes normalizados.

Para a preparação de argamassas, sempre que possível, seguiram-se as normas NP EN 196-1 e EN 1015-2/A1.

3.3.1 Dosagem

Na preparação das argamassas para o cálculo da dosagem dos constituintes, a proporção destes foi verificada em massa, utilizando-se uma balança eletrônica de precisão 0,001 g.

A argamassa efetuada com a combinação base (CB) foi produzida tendo em conta a proporção (em massa) da mistura de referência, de uma parte de cimento para três partes de areia. Desta proporção resultou uma argamassa com 2000 g areia seca e 660 g de ligante. As quantidades utilizadas foram as necessárias para uma correta homogeneização da argamassa em fase de mistura. Com base na baridade, este traço em massa de 1:3 corresponde a um traço volumétrico de 1:2,20.

Quando tem lugar a introdução de uma adição - composição com cortiça (CC) ou composição com EPS (CE) – em percentagem do volume da argamassa, parte da massa da areia é substituída pela adição, tendo-se a preocupação de manter a proporção ligante:agregado (em massa). Uma vez

que a composição iria originar uma amassadura capaz de preencher 5 provetes normalizados, em que o seu volume é conhecido, calculou-se a baridade da adição (massa por unidade de volume), multiplicou-se a mesma pelo volume dos 5 provetes e pela percentagem que se quer substituir por agregado de cortiça ou EPS. A percentagem de adição a introduzir na mistura é calculada com base nesse valor, subtraindo de seguida essa quantidade à massa de areia.

Tendo o EPS uma massa volúmica inferior ao granulado de cortiça, a massa de EPS a subtrair à massa de areia será menor do que a da cortiça; por sua vez a cortiça é mais leve que a areia, pelo que o respetivo volume será maior.

A dosagem de água, inicial, a introduzir na mistura foi calculada tendo como base uma relação A/L de 0,6, sendo este valor aumentado em algumas composições para uma melhor otimização. A água utilizada na mistura foi colocada em duas porções, sendo a maior de 90% do total de água a introduzir (utilizada na primeira fase de mistura) e a menor de 10% face ao total de água a introduzir na mistura (utilizada na segunda fase de mistura).

Inicialmente o superplastificante (SP) foi utilizado numa proporção de 0,3% face à massa de cimento, sendo esta percentagem aumentada, quando necessário, para uma melhor eficiência da mistura. O SP utilizado, Sika Viscocrete 3008, é de 3ª geração e tem o intuito de aumentar a trabalhabilidade da argamassa produzida.

Tabela 3.1 – Designação das composições realizadas

	Designação		Designação
CB SP0,3% A/L=0,6	CB	CB SP0,3% A/L=0,6	CB
CC 10% SP0,3% A/L=0,6	CC10	CE 10% SP0,3% A/L=0,6	CE10
CC 20% SP0,3% A/L=0,6	CC20	CE 20% SP0,3% A/L=0,6	CE20
CC 40% SP0,3% A/L=0,6	CC40	CE 40% SP0,3% A/L=0,6	CE40
CC 40% SP1% A/L=0,6	CC40*	CE 50% SP0,3% A/L=0,6	CE50
CC 50% SP1% A/L=0,6	CC50	CE 70% SP0,3% A/L=0,6	CE70
CC 50% SP2% A/L=0,6	CC50*	CE 70% SP1% A/L=0,6	CE70*
CC 70% SP2% A/L=0,6	CC70	CE 80% SP1% A/L=0,6	CE80
CC 70% SP2% A/L=0,7	CC70*		
CC 70% SP3% A/L=0,7	CC70**		
CC 80% SP2% A/L=0,7	CC80		
CC 80% SP2% A/L=0,75	CC80*		

3.3.1.1 Mistura

No trabalho experimental identificou-se a ordem pela qual se iria efetuar a mistura dos constituintes, o tempo de mistura, o tempo de introdução de constituintes, o modo de mistura, os equipamentos a utilizar e a técnica empregue. Os fatores mencionados têm influência nas propriedades das argamassas, tanto no seu estado fresco, como no seu estado endurecido [BRÁS; HENRIQUES, 2009].

Sempre que possível, os fatores mencionados foram efetuados do mesmo modo para todas as composições realizadas, sempre em igualdade de circunstâncias, para que a única influência nas propriedades da argamassa final fosse devido aos seus componentes, sem qualquer influência por parte do método utilizado na mistura dos componentes.

Na produção da argamassa seguinte, face à anterior, apenas se alterava um constituinte, para uma melhor perceção dos constituintes e da sua influência.

a) Utensílios utilizados:

- Misturadora mecânica;
- Cuba da misturadora;
- Recipientes para pesagem dos constituintes;
- Proveta para as porções de água e SP;

- Pá de pedreiro;
- Tabuleiro para mistura do ligante, areia e adição;
- Cronómetro.

b) Procedimento de amassadura:

- Misturar o ligante, areia e adição (caso fizesse parte da composição) num tabuleiro com o auxílio de uma colher de pedreiro (homogeneização manual da mistura);
- Colocar a maior porção de água no balde da misturadora;
- Colocar a mistura dos constituintes no balde da misturadora;
- Ligar a misturadora;
- Colocar o SP, 1 minuto após o início da amassadura;
- Colocar a restante porção de água, menor porção, 3 minutos após o início da amassadura;
- Desligar a misturadora, 5 minutos após o início da amassadura.

As composições inicialmente foram realizadas através de uma torna ao invés de uma misturadora, sendo que devido a uma avaria na torna existente, as misturas seguintes foram realizadas através da misturadora. Na tabela 3.2 indica-se o equipamento de mistura de cada composição.



Figura 3.2 – Misturadora e torna utilizada, respetivamente

Tabela 3.2 – Equipamento utilizado nas misturas

Equipamento de mistura:											
Torna (T)											
Misturadora (M)											
CB	CC10	CC20	CC40	CC40*	CC50	CC50*	CC70	CC70*	CC70**	CC80	CC80*
M	T	T	M	M	T	M	T	T	M	M	T
CB	CE10	CE20	CE40	CE50	CE70	CE70*	CE80				
M	T	T	T	T	T	M	T				

3.3.1.2 Moldagem, Desmoldagem e Cura dos provetes

Este procedimento foi realizado de acordo com a NP EN 196-1. Com as argamassas realizadas foram preparados provetes, ou seja, as argamassas foram colocadas em moldes metálicos para proceder ao estudo das suas características no estado endurecido. Cada molde metálico permite a preparação em simultâneo de 3 provetes prismáticos de 40x40x160 [mm], com um volume de 256 m³. O número de moldes realizados está diretamente relacionado com a quantidade de ensaios a realizar.

a) Utensílios utilizados:

- Moldes metálicos;
- Compactador;
- Colher de pedreiro.

b) Procedimento de moldagem:

- Aplicação de óleo descofrante em todas as superfícies do molde com que a argamassa estará em contacto;
- Colocação da mistura no molde;
- Colocação e fixação do molde no compactador;
- Aplicação de 20 pancadas no compactador;
- Retirar o molde da mesa de compactação;
- Rasar o excesso de argamassa dos moldes com uma colher de pedreiro, através de movimentos de “serrote”.



Figura 3.3 – Elaboração e compactação de provetes

Realizou-se a descofragem dos provetes, por norma, 24 horas após a sua moldagem. Foram garantidas as mesmas condições de cura para todas as argamassas, através da sua permanência numa caixa estanque com uma humidade relativa próxima dos 100%, criada à custa de uma lâmina de água na base da caixa. Os provetes foram colocados no interior da caixa mas de forma em não estarem em contacto direto com a água.

3.4 Análise das argamassas – Micro-level

Neste subcapítulo pretendem-se analisar as composições formuladas numa pequena escala. Esta análise incidirá sobre as argamassas no estado fresco e no estado endurecido, sendo observadas neste último em forma de provetes de argamassa e em camada de reboco sobre alvenaria cerâmica.

3.4.1 Avaliação das argamassas no estado fresco

A avaliação das argamassas no estado fresco é feita com base em algumas propriedades importantes desse estado, pois interferem na qualidade final da argamassa, nomeadamente, a consistência, trabalhabilidade, coesão, tixotropia, plasticidade, retenção de água, massa específica e adesão inicial. As referidas propriedades estão definidas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Definição das propriedades das argamassas no estado fresco [LOURENCI, 2003]

PROPRIEDADES	DEFINIÇÕES
Trabalhabilidade	Facilidade de manuseamento de uma argamassa por parte do operário que a aplica.
Teor em ar	Porção de ar contido numa argamassa.
Consistência	Capacidade da argamassa manter a sua fluidez ao longo do tempo de aplicação, sendo influenciada pela quantidade de água que se introduz na mistura.
Tixotropia	Capacidade de ganhar consistência de um modo aparentemente rápido em repouso, voltando à configuração anterior de fluido quando em movimento.
Autorregularização	Aptidão que uma argamassa fluída, no estado fresco, possui para se adaptar naturalmente a uma superfície lisa.
Auto nivelamento	Competência de uma argamassa fresca se distribuir por si própria até formar uma superfície plana.
Poder Molhante	Capacidade de uma argamassa fresca molhar o suporte associado, facilitando assim a aderência.
Tempo de Armazenamento (Validade)	Período de tempo durante o qual uma argamassa mantém as suas propriedades de aplicação, armazenada em condições definidas pelo seu fabricante.
Tempo de Repouso (Maturação)	Período de tempo entre a preparação da argamassa e o instante em que esta deve ser aplicada.
Tempo de Vida	Intervalo de tempo após a amassadura, durante o qual a argamassa pode ser utilizável.
Tempo Aberto	Intervalo de tempo máximo para a conclusão, a partir do momento da aplicação de uma argamassa.
Tempo de Ajustabilidade	Intervalo de tempo máximo em que se pode corrigir a aplicação de uma argamassa, sem percas significativas das suas propriedades mecânicas (por exemplo correção da posição de azulejos e peças cerâmicas depois de aplicados).
Tempo de Presa	Período de tempo a partir do qual a argamassa começa a endurecer. A partir deste período a argamassa torna-se pouco sensível à água.
Tempo de Endurecimento	Intervalo de tempo necessário para que uma argamassa aumente a sua resistência. Na prática corresponde ao tempo fundamental à sua utilização em serviço.
Aplicação por passos (fresco sobre fresco)	Método de aplicação que se baseia na aplicação de uma camada de argamassa sobre a anterior, antes da primeira terminar a presa.
Compactação	Método manual ou mecânico para ampliar a densidade de uma argamassa fresca.

Retenção de Água	Aptidão de uma argamassa hidráulica fresca reter a água de amassadura, quando exposta à sucção do suporte, possibilitando o seu endurecimento normal.
Coesão	Refere-se às forças físicas de tração que existem entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta ligante.
Plasticidade	Propriedade pela qual a argamassa tende a manter a deformação, após redução do esforço de deformação, sendo influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de ligantes e pela intensidade de mistura das argamassas.
Massa específica	A massa específica absoluta da mistura ligante/agregado refere-se ao volume de material sólido não sendo considerados os vazios.
Adesão inicial / Aderência	Propriedade que caracteriza o comportamento futuro do conjunto suporte-argamassa e depende das características de trabalhabilidade da argamassa e também quanto à porosidade e rugosidade do suporte onde a argamassa será aplicada.

3.4.1.1 Consistência por espalhamento

O ensaio da mesa de espalhamento, realizado com base na EN 1015-3, tem o objetivo de determinar a consistência da argamassa produzida no estado fresco, ao longo do tempo em repouso, e de certa forma mede a fluidez da argamassa fresca.

Com este ensaio é possível prever o tempo que uma argamassa se mantém trabalhável o suficiente para ser aplicada em obra após o momento da sua amassadura.

Este ensaio permite saber a necessidade de aumentar a fluidez das composições formuladas, seja através do aumento da relação A/L ou pela adição de superplastificantes.

Existe um conjunto de fatores que influenciam os resultados retirados deste ensaio, tais como o modo de mistura dos materiais, o modo de colocação e compactação da argamassa no molde e o ritmo das pancadas. Pelos motivos referenciados todo o processo deverá seguir sempre exatamente o mesmo modo de execução e deverá ser realizado pelo mesmo operador devido à influência associada ao erro humano. Neste ensaio a consistência é expressa em mm tal.

a) Utensílios utilizados:

- Mesa de espalhamento;
- Molde para a argamassa;
- Pilão de compactação;
- Paquímetro digital;
- Espátula;
- Pano molhado.

b) Procedimento de ensaio:

- Limpeza do molde e da mesa de espalhamento;
- Colocação do molde centrado na mesa de espalhamento ligeiramente humedecida;
- Introdução da argamassa até $\frac{1}{2}$ do molde;
- Compactação através de 15 pancadas com a barra de compactação (atingindo a parte superior da argamassa);
- Introdução da argamassa até exceder ligeiramente a totalidade do molde;
- Compactação através de 15 pancadas com a barra de compactação (atingindo a argamassa em toda a sua profundidade);
- Extração do excesso de argamassa com a espátula;
- Limpeza do exterior do molde e da mesa de espalhamento, com um pano molhado, devido a desperdícios de argamassa que poderão comprometer o ensaio;
- Retirar o molde lentamente, na vertical;
- Rodando a manivela da mesa de espalhamento, aplicou-se 20 pancadas durante 20 segundos;
- Medição do diâmetro de espalhamento em três direções, com o paquímetro digital utilizando as marcações assinaladas na mesa de espalhamento.

Para obter o resultado da consistência por espalhamento, para cada amassadura, efetuou-se a média dos resultados de três direções registadas, apresentando-se esse valor em mm



Figura 3.4 – Resultado do ensaio na mesa de espalhamento após as 20 pancadas

3.4.1.2 *Massa volúmica aparente*

A determinação da massa volúmica aparente das composições realizadas nesta dissertação, segue a norma EN 1015-6, sendo realizada com recurso a um recipiente com volume e massa conhecidos.

a) Utensílios utilizados:

- Balança;
- Recipiente;
- Pá de pedreiro;
- Varão de aço.

b) Procedimento de ensaio:

- Pesagem do recipiente (m_1);
- Colocação da argamassa no recipiente com auxílio de uma pá de pedreiro;
- Compactação com o varão de aço.
- Pesagem do recipiente com a argamassa (m_2).

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{v}$$

Equação 3.2

em que:

ρ – massa volúmica aparente (Kg/m^3)

m_2 – massa do recipiente com argamassa (Kg)

m_1 – massa do recipiente vazio (Kg)

V – volume do recipiente (m^3)

3.4.2 Avaliação das argamassas no estado endurecido

A avaliação das argamassas no estado endurecido está relacionada com o comportamento entre a argamassa e os componentes da base onde será aplicada.

As propriedades importantes desse estado são a resistência mecânica, deformabilidade, resistência ao fogo, resistência ao ataque por agentes químicos agressivos, retração, aderência, permeabilidade e condutividade térmica. As referidas propriedades estão definidas na 3.4.

Tabela 3.4 – Definição das características e prestações das argamassas no estado endurecido [LOURENCI, 2003]

PROPRIEDADES	DEFINIÇÕES
Durabilidade	Resistência da argamassa a condições químicas, mecânicas e climáticas, que se mantêm ao longo da vida útil.
Porosidade	Relação entre o volume de poros existentes na argamassa e o seu volume total.
Capilaridade	Capacidade que uma argamassa tem de absorver água, de forma natural, sem se fazer pressão.
Impermeabilidade	Competência de uma argamassa para impedir a penetração de água, sob uma determinada pressão.
Permeabilidade ao vapor de água	Corrente de vapor de água que penetra a argamassa, em condições de equilíbrio, por unidade de superfície e pressão de vapor.
Deformabilidade	Habilidade de uma argamassa no estado endurecido se deformar por meio de tensões, sem que ocorra a rotura da estrutura. Esta característica pode ser estimada pelo módulo de elasticidade, que pode ser avaliado em condições dinâmicas ou estáticas.
Deformação transversal	Flexão no centro de um provete de argamassa, submetido a uma carga em três pontos.
Adesão inicial / Aderência	Propriedade que caracteriza o comportamento futuro do conjunto suporte-argamassa e depende das características de trabalhabilidade da argamassa e também quanto à porosidade e rugosidade do suporte onde a argamassa será aplicada.

Resistência mecânica	Capacidade da argamassa resistir a tensões de tração, compressão ou corte, sendo influenciada pelo endurecimento da argamassa. Também é influenciada pela proporção dos constituintes, suas características e sua pureza.
Resistência à tração	Aptidão da argamassa para aguentar a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície.
Resistência ao corte	Resistência criada pela aplicação de uma força exercida paralelamente ao plano de aderência.
Rotura adesiva	Rotura que ocorre na interface entre a argamassa e o suporte, ou material, associado. O valor recebido equivale à aderência.
Rotura coesiva	Rotura que ocorre no interior da argamassa (a resistência desta é inferior à do suporte), ou rotura que acontece no suporte (onde a resistência da argamassa é superior a do suporte).
Resistência à flexão	Tensão de rotura de uma argamassa, determinada pela utilização de uma força de flexão em três pontos.
Resistência à compressão	Valor de rotura de uma argamassa. Obtido através da aplicação de uma força de compressão em dois pontos opostos.
Resistência à abrasão	Resistência ao desgaste da superfície de uma argamassa endurecida, por execução mecânica.
Resistência ao fogo	Resistência dos elementos que constituem uma argamassa quando sujeita a elevadas temperaturas decorrentes da ação do fogo.
Resistência ao ataque de agentes químicos agressivos	É relativo à composição química da argamassa, natureza dos materiais, resistência ao desgaste superficial e à permeabilidade das argamassas, e dos materiais a ela adjacentes.
Retração	Diminuição do volume de uma argamassa, sem suporte, durante o seu endurecimento.
Rugosidade	Textura da superfície de uma argamassa.
Dureza superficial	Reação da superfície de uma argamassa endurecida, à penetração de uma bola de aço submetida a uma carga.
Condutibilidade térmica	A condutibilidade térmica quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica.

Antes de dar início aos ensaios no estado endurecido definiu-se qual o destino de cada um dos provetes. Na figura abaixo pode observar-se o esquema de utilização dos provetes para a sua caracterização no estado endurecido, assim como a sua ordem de utilização.

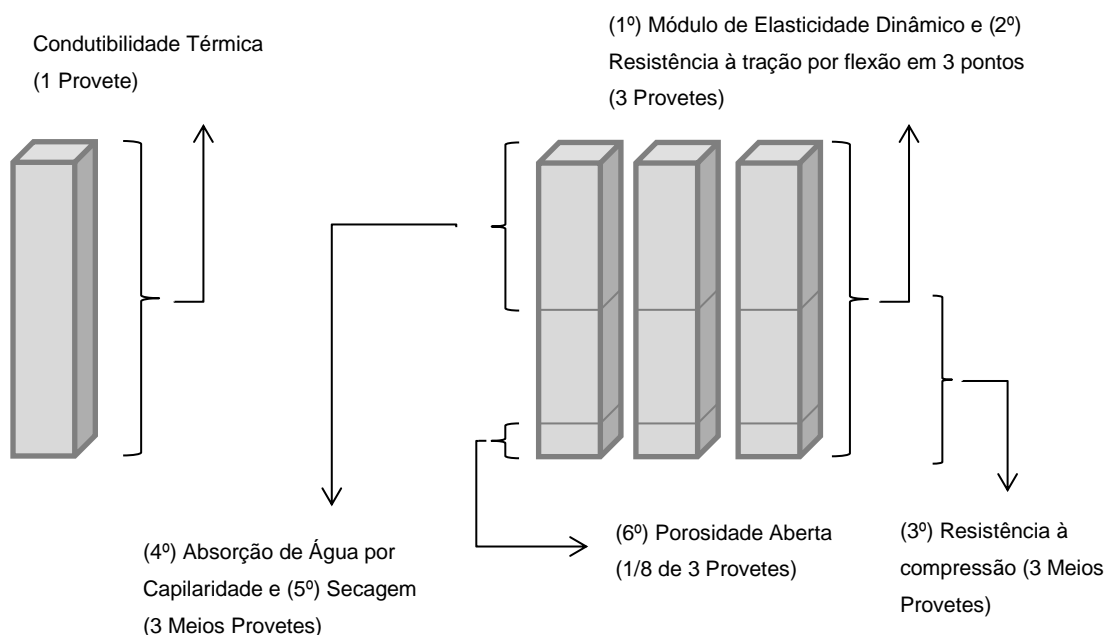


Figura 3.5 – Esquema e ordem de utilização dos provetes para os ensaios

3.4.2.1 Condutibilidade térmica de provetes de argamassa

Pelo ensaio de provetes pretende-se determinar a capacidade que um material tem de dificultar a transferência de temperatura entre locais distintos, sendo este um ensaio não destrutivo.

O ensaio foi realizado para um provete de cada composição sendo que se realizou nas três maiores áreas que se encontraram em contacto com o molde metálico de fabrico de provetes, devido à sua área e planeza. Quanto menor o valor da condutibilidade térmica, melhor isolante térmico é o material estudado.

Os valores da condutibilidade térmica dos provetes foram obtidos com recurso a um aparelho próprio, ISOMET, modelo 2104 da Applied Precision Ltd. Este aparelho analisa a temperatura de resposta do provete através da emissão e receção de impulsos térmicos, originados por resistências elétricas, gerados através de uma sonda em contacto com a superfície do provete.



Figura 3.6 – Equipamento utilizado no ensaio de condutibilidade térmica

3.4.2.2 *Módulo de elasticidade dinâmico*

O módulo de elasticidade relaciona-se com a deformabilidade, sendo que quanto maior for o referido módulo, menos deformável será a argamassa. Caso o módulo de elasticidade da argamassa de reboco seja superior ao do suporte, será de esperar a ocorrência de fissuras e a perda de aderência dos revestimentos devido ao desenvolvimento de tensões entre os materiais [MARTINS, A., 2010].

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico realiza-se à custa da propagação de ultrassons nos provetes. Foi realizado aos 28 dias de idade dos provetes. É um ensaio não destrutivo, em que se determina o módulo de elasticidade a partir da propagação de impulsos ultrassónicos pela estrutura interna do provete. Este ensaio consiste num equipamento que gera e capta os impulsos ultrassónicos através de dois transdutores. Os transdutores são aplicados em faces paralelas do provete, sendo que um emite os impulsos ultrassónicos e o outro recebe os mesmos. O resultado é efetuado tendo em conta o tempo e a velocidade com que a onda longitudinal se propaga num corpo sólido.

Antes de se dar início ao ensaio efetuou-se a pesagem e medição dos provetes a ensaiar, sendo estes valores necessários para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Para dar início ao ensaio colocou-se um gel nas extremidades mais afastadas do provete, para que os transdutores não estejam diretamente apoiados sob os poros existentes na área de contacto com os provetes. De seguida colocam-se os transdutores sobre o gel aplicado no provete e dá-se início ao ensaio, sendo que o aparelho nos indica a velocidade percorrida pelos impulsos ultrassónicos (V em m/s).



Figura 3.7 – Realização do ensaio do módulo de elasticidade dinâmico

A medição da propagação das ondas ultrassônicas pode ser realizada segundo três métodos distintos, EN 12504-4, segundo exemplificado na figura 3.8.

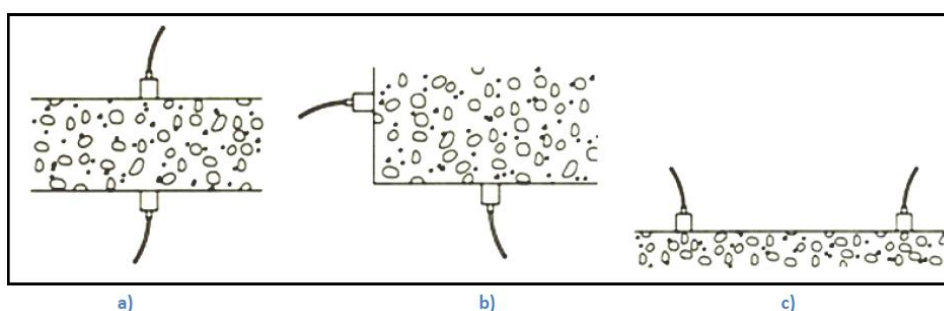


Figura 3.8 – Métodos de medição do tempo de propagação das ondas ultrassônicas; a) método directo b) método semidirecto e c) método indirecto [GONÇALVES, 2010]

Pelo método directo obtêm-se valores mais reais, uma vez que a energia do impulso é transmitida segundo a direcção normal ao emissor, sendo assim a medição mais precisa [GONÇALVES, 2010], considera-se este o melhor dos três métodos. O referido método é passível de ser aplicado em provetes normalizados ou em amostras recolhidas para ensaios, sendo que para ensaios em revestimentos de paredes é necessário recorrer a um dos outros métodos.

Os métodos semidirecto e indirecto tornam-se menos precisos devido à posição dos transdutores, medindo assim uma velocidade aparente. São recomendadas várias medições sobre o mesmo percurso por forma a reduzir o erro associado à medição [IPQ, 2007].

3.4.2.3 Resistência à tração por flexão

O ensaio de resistência à tração por flexão é um ensaio destrutivo. Este ensaio realizou-se aos 28 dias, de acordo com a norma EN 1015-11. Os

provetes utilizados neste ensaio foram os provetes utilizados no ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico.

O equipamento utilizado no ensaio de resistência à tração por flexão foi uma prensa de flexão/compressão. Este equipamento necessita de alguma informação no seu software, nomeadamente, sobre as medidas aproximadas do provete a ensaiar (40x40x160 mm), a distância entre os apoios sobre o qual o provete é colocado (100 mm) e a velocidade de aplicação da força a meio vão do provete.

Este ensaio foi realizado, por norma, para um conjunto de três provetes de cada composição de argamassa produzida, consistindo o ensaio na colocação de cada provete sobre dois apoios cilíndricos, aplicando-lhe um aumento de força gradual a meio vão até ocorrer a rotura.



Figura 3.9 – Rotura do provete no ensaio de resistência à tração por flexão

O equipamento utilizado calcula automaticamente a resistência à flexão de cada provete de argamassa, em MPa.

3.4.2.4 Resistência à tração por compressão

O ensaio da determinação à tração por compressão de provetes de argamassa é um ensaio destrutivo e ocorreu de acordo com a norma EN 1015-11, aos 28 dias, em equipamento próprio, sendo utilizado para este ensaio metade do provete resultante do ensaio de resistência à tração por flexão.

O equipamento utilizado neste ensaio foi o mesmo que se utilizou no ensaio de resistência à tração por flexão, a prensa de flexão/compressão. Tal como para o ensaio de flexão é necessária a introdução de alguns dados no software, nomeadamente, as dimensões da área de contacto entre a metade

dos provetes e a base do dispositivo (40x40 mm) e a uma velocidade de aplicação de carga.

Este ensaio foi realizado, por norma, para um conjunto de três metades de provetes de cada composição de argamassa produzida, sendo que este ensaio consiste na aplicação de uma carga de compressão numa dada área do provete até que seja atingida a rotura do material. O equipamento indica a tensão a que o provete entra em rotura calcula automaticamente a resistência à compressão de cada provete de argamassa, em MPa.



Figura 3.10 – Rotura do provete no ensaio de resistência à tração por compressão

3.4.2.5 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade é um ensaio não destrutivo e foi realizado com base na EN 1015-18.

A absorção excessiva de água pelas argamassas potencia o aparecimento de diversas patologias nas argamassas (aparecimento de bactérias e fungos), tal como pode provocar a perda de aderência da argamassa ao suporte.

Para o ensaio, utilizaram-se as três metades dos provetes de argamassa de cada composição resultantes do ensaio de resistência à flexão que não foram utilizados no ensaio de resistência à compressão.

Antes da utilização destes provetes, que já tinham sido submetidos a um processo de cura húmida de 28 dias, foram colocados numa estufa durante 48 horas a 60°C, até atingirem massa constante (variação de massa inferior a 1% entre pesagens efetuadas de 24 em 24 horas).

Por forma a simular um ambiente saturado elaborou-se o seguinte cenário:

- Colocação de dois tijolos no fundo de uma caixa plástica;
- Preenchimento de água até preencher metade da altura da caixa;
- Vedou-se a tampa da caixa e manteve-se a mesma fechada registando-se uma humidade relativa (HR) perto dos $95 \pm 5\%$;
- Colocação de um tabuleiro sobre os tijolos;
- Colocação de uma manta geotêxtil, a forrar o tabuleiro, para criar uma película absorvente;
- Colocação de cantoneiras de plástico sobre a forra geotêxtil;
- Preenchimento do fundo do tabuleiro com água até uma altura de 2 mm acima das cantoneiras de plástico, sendo essa a medida a que os provetes se encontrarão submersos.

O ensaio obedeceu aos utensílios e procedimento que se enuncia abaixo.

a) Utensílios utilizados:

- Balança, com precisão de 0,001 g;
- Régua;
- Tabuleiro;
- Caixa de plástico;
- Dois tijolos;
- Baquetes de plástico.

b) Procedimento de ensaio:

- Verificação do nível da água acima das cantoneiras, 2 mm acima da cantoneira (caso esteja abaixo desse nível, introduzir água até atingi-lo);
- Pesagem e registo do peso do provete na balança;
- Colocação do provete sob as cantoneiras, com a menor face em contacto com as mesmas;
- Repetição dos dois passos anteriores para todos os provetes;
- Colocação da tampa na caixa;
- Repetição do procedimento de ensaio para os momentos de registo de absorção da água por capilaridade.

O registo do peso dos provetes são efetuados no momento de colocação dos provetes no tabuleiro pela primeira vez, minuto 0, e após 5, 15, 30, 60 minutos e seguidamente de 24 em 24 horas até atingir o valor assintótico, até que a absorção de água seja inferior a 1% da massa total do provete em questão.



Figura 3.11 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

A quantidade de água absorvida por unidade de superfície foi calculada para cada provete, em cada pesagem, através da equação 3.3.

$$m = \frac{m_i - m_0}{S} \quad \text{Equação 3.3}$$

em que:

m – quantidade de água absorvida, por unidade de superfície, ao fim do tempo i (kg/m^2)

m_i – massa do meio provete ao fim de um determinado tempo t_i (kg)

m_0 – massa do meio provete seco, no início do ensaio (kg)

S – secção do provete em contacto com a água, secção de 40×40 mm (m^2)

Com os resultados obtidos, tendo em conta a média de água absorvida de cada composição, efetuou-se um gráfico da curva de absorção de água por capilaridade, com a massa por unidade de área em ordenada e a raiz do tempo em abcissa.

3.4.2.6 Secagem

O processo de secagem das argamassas torna-se importante na sua avaliação face à durabilidade, devido à permanência de água no seu seio, que se torna um agente de degradação face a ciclos gelo-degelo..

Este ensaio inicia-se imediatamente a seguir à saturação do provetes no ensaio de absorção de água por capilaridade. Os provetes são colocados numa câmara a 20°C e a uma humidade relativa de 50%, garantindo deste modo que não existem variações nas condições de secagem.

Os períodos de pesagem para a medição da massa são efetuados a partir do momento em que se retiram os provetes do ensaio de capilaridade, de uma em uma hora até completar sete horas após a primeira pesagem e, posteriormente, de 24 em 24 horas. O processo dá-se por terminado quando a massa dos provetes começar a aumentar ou se verificar que atingiram o peso que tinham no início do ensaio de capilaridade.

Identificam-se três fases durante a secagem de uma argamassa, ou seja, três momentos distintos da variação da taxa de perda de humidade. A primeira fase verifica-se uma perda constante, através do transporte, por capilaridade, da água que se encontra nos capilares até à superfície. A água ao chegar à superfície evapora pelas condições térmicas existentes [BRITO *et al.*, 2011].

Numa segunda fase deste processo a água no estado líquido ao não alcançar a superfície dos provetes, retorna ao centro dos provetes, dando-se a diminuição da taxa de humidade pela difusão da água através do meio poroso, verificando-se uma diminuição progressiva [BRITO *et al.*, 2011].

Quando não existe mais água no estado líquido nos provetes inicia-se a terceira fase de secagem, em que a secagem do material dá-se pela difusão do vapor [BRITO *et al.*, 2011].

As informações importantes a retirar deste ensaio passam pela curva de evaporação ou secagem, que traduz a variação do teor de água ao longo do tempo, a partir da qual se determina o índice de secagem, através do qual se retiram informações sobre a evolução da secagem das argamassas. Quanto

menor for o índice de secagem, mais facilitada é a rapidez de absorção da argamassa.

O teor de água é expresso pela equação 3.4:

$$Wt = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{Equação 3.4}$$

em que:

Wt – teor em água (%)

m_i – massa do meio provete no instante t (g)

m_0 – massa do meio provete seco em estufa (g)

O índice de secagem (IS) foi simplificarmente determinado através da equação 3.5 [MARTINS, A., 2010]:

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^n [(t_i - t_{i-1}) \times \frac{Q_{i-1} + Q_i}{2}]}{Q_{m\acute{a}x} \times t_f} \quad \text{Equação 3.5}$$

em que:

IS – índice de secagem

t_i – tempo de ensaio i (horas)

t_f – tempo final do ensaio (horas)

Q_t – quantidade de água no interior do provete no instante i, (% relativamente à massa seca)

$Q_{m\acute{a}x}$ – quantidade de água inicial (% relativamente à massa seca)

3.4.2.7 Porosidade Aberta

O ensaio para determinação da porosidade é um ensaio não destrutivo, cujo objetivo é determinar a massa de água que um provete de argamassa no estado endurecido consegue absorver durante 48 horas, quando imerso em água. A elaboração deste ensaio tem como base a NP EN 1936 e a especificação do LNEC, E 394.

A porosidade de uma argamassa é consequência do processo de amassadura, cura, materiais e quantidades escolhidas para a sua elaboração,

tendo impacto final no seu comportamento hídrico, resistências, processo de carbonatação e na sua durabilidade [MARTINS, A., 2010].

Este ensaio permite determinar o volume entre poros e de poros com ligação ao exterior. Admite-se que a porosidade aberta é maioritária na porosidade total da argamassa, desprezando-se desta forma a porosidade fechada [BOTAS, 2009].

a) Utensílios utilizados:

- Estufa;
- Balança;
- Exsicador;
- Bomba de vácuo;
- Recipiente com água.

b) Procedimento de ensaio:

- Colocação dos provetes na estufa, com uma temperatura de 60°C durante 48 horas;
- Pesagem dos provetes na balança (m_1);
- Colocação dos provetes no exsicador durante 24 horas, com a bomba ligada, por forma a retirar o ar incluso nos poros dos provetes;
- Mantêm-se os provetes no exsicador, com a bomba ligada, permitindo a entrada de água, até os provetes se encontrarem totalmente imersos (introdução de água durante um mínimo de 15 minutos);
- Permanência dos provetes imersos no exsicador com a bomba ligada durante 24 horas;
- Desligar a bomba e permitir a entrada de ar à pressão atmosférica no exsicador durante 24 horas;
- Retirar os provetes do exsicador;
- Medir a sua massa na balança quando imerso em água (m_2);
- Medir a sua massa na balança quando saturado (m_3).

$$P_{ab} = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} * 100$$

Equação 3.6

em que:

P_{ab} – porosidade aberta (%)

m_1 – massa do provete seco (g)

m_2 – massa com provete imerso (g)

m_3 – massa do provete saturado (g)

Calculou-se a média da porosidade aberta para cada composição estudada.



Figura 3.12 – Equipamento de ensaio da porosidade aberta

3.4.2.8 *Massa volúmica real e aparente*

A obtenção dos dados necessários ao cálculo da massa volúmica real e aparente foi conseguida através do ensaio, já descrito em 3.4.2.7, para a determinação da porosidade aberta.

$$M_{\text{vol.real}} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} * 10^3 \quad \text{Equação 3.7}$$

em que:

$M_{\text{vol.real}}$ – massa volúmica real (kg/m^3)

m_1 – massa do provete seco (g)

m_2 – massa com provete imerso (g)

$$M_{\text{vol.aparente}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * 10^3 \quad \text{Equação 3.8}$$

em que:

$M_{\text{vol.aparente}}$ – massa volúmica aparente (kg/m^3)

m_1 – massa do provete seco (g)

m_2 – massa com provete imerso (g)

m_3 – massa do provete saturado (g)

3.4.2.9 Ensaio de arrancamento

O ensaio de arrancamento permite medir a resistência das argamassas ao arrancamento de um dado suporte sobre o qual foram aplicadas, verificando qual a interface de menor resistência e qual o seu valor.

O ensaio de arrancamento (Pull-off Test) é um ensaio apenas localmente destrutivo e foi realizado tendo em conta a EN 1015-12.

A aderência de argamassas ao suporte depende de fatores como, a granulometria e teor de finos das argamassas no estado fresco, quantidade de ligante, quantidade de água presente na amassadura, modo de aplicação da argamassa e limpeza do suporte onde é aplicada a argamassa [MARTINS, A., 2010].

O referido ensaio teve como objetivo verificar a resistência de uma camada de reboco de 1,5 cm de argamassa aplicada num tijolo de alvenaria quando exposta a forças de arrancamento. Os entalhes na argamassa foram realizados quando as argamassas estavam ainda no estado fresco, após a aplicação da argamassa no tijolo de alvenaria, atravessando toda a espessura da argamassa. Foram efetuados 5 entalhes circulares por tijolo, sendo 2 utilizados para o ensaio aos 15 dias e os restantes aos 28 dias.

Aplicaram-se as pastilhas de arrancamento 48 horas antes dos 15 e dos 28 dias, através da aplicação de cola, epóxi (Araldit Rápido), na superfície do entalhe de argamassa e na pastilha metálica.

Alguns fatores, tais como a velocidade de aplicação de força do equipamento durante o ensaio de arrancamento, uma deficiente aplicação de cola nas pastilhas metálicas e no suporte, ou uma deficiente realização dos entalhes, podem comprometer os resultados deste ensaio.

O ensaio é realizado através de um aparelho próprio que aplica uma força perpendicular à pastilha até que se verifique a rotura. Este aparelho tem um “braço” que agarra uma peça metálica que é previamente enroscada à pastilha metálica. A escala do aparelho é colocada no zero e faz-se rodar a manivela, aplicando uma força de tração na pastilha metálica. O aumento da força aplicada é visualizado no ecrã do equipamento, em kN, sendo que o equipamento regista o valor máximo - o valor verificado no momento da rotura.

Após ocorrer a rotura há que verificar visualmente qual o tipo de rotura que ocorreu, podendo ser:

- Na zona de colagem (indica que a cola foi mal escolhida ou mal aplicada e o ensaio não pode ser considerado);
- Na argamassa (rotura coesiva);
- Na zona de transição entre argamassa e o substrato (arrancamento por aderência);
- No substrato (rotura adesiva);
- Rotura mista.

Por forma a obter o valor da tensão aplicada converteu-se o valor da força em tensão, através da equação 3.9:

$$T = \frac{F \times 1000}{A_{\text{pastilha}}} \quad \text{Equação 3.9}$$

em que,

T – tensão (MPa)

F – força (kN)

A_{pastilha} – área da pastilha metálica ($\varnothing 50$), em mm^2

O ensaio de arrancamento foi realizado aos 15 e aos 28 dias de idade das argamassas que nos ensaios anteriores tinham demonstrado um melhor desempenho, sendo elas a CC50* e a CC70**.



Figura 3.13 – Equipamento utilizado no ensaio de arrancamento



Figura 3.14 – Rotura observada no ensaio de arrancamento

3.4.2.10 Porosimetria de mercúrio

Pelo ensaio de porosimetria de mercúrio é possível analisar a estrutura porosa de um material, por exemplo no que diz respeito à dimensão e quantidade de poros existentes no mesmo. Este é um aspeto de grande importância para entender o comportamento dos materiais a diversas solicitações. O equipamento utilizado para este ensaio foi da marca Micromeritics, modelo Autopore IV 9500.

Para a realização deste ensaio foram preparadas amostras por forma a serem adaptáveis ao recipiente do penetrómetro, com uma dimensão entre 3 a 5 cm³.

Este ensaio consiste na intrusão de mercúrio em contacto com o material a ensaiar, inculindo a sua penetração no mesmo através do aumento de tensões controladas. Ao colocar um líquido em contacto com um sólido, este espalha-se sobre o material sólido até uma geometria de equilíbrio, sendo que a partir desse momento apenas penetrará a estrutura porosa do sólido através de uma força externa superior à tensão superficial do mercúrio. O líquido utilizado para este tipo de ensaio é o mercúrio devido a algumas características que o evidenciam em relação a outros, sendo elas a sua capacidade de não molhar os materiais, ter um ângulo de contato com materiais elevado (entre 112 e 142°), a sua elevada tensão superficial ($\gamma = 485$ dyne/cm) e a sua baixa reatividade química com a maioria dos materiais em temperatura ambiente. Consoante a pressão exercida, o mercúrio penetra os poros que satisfazem essa pressão, sendo que com o aumento da pressão é possível penetrar poros de menor dimensão. Assim é possível determinar a quantidade de poros para cada pressão exercida, tendo em conta o volume de mercúrio que penetra a amostra.



Figura 3.15 – Equipamento de ensaio do porosímetro de mercúrio

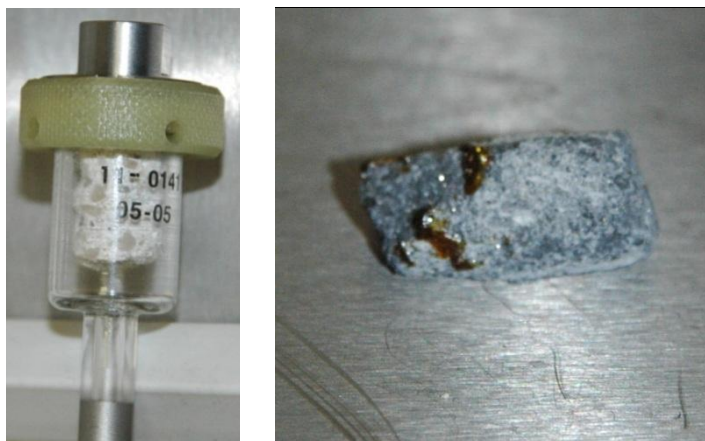


Figura 3.16 – Amostra antes e depois do ensaio do porosímetro de mercúrio

3.5 Análise das argamassas - Macro-level

Para analisar as argamassas em macro-level realizaram-se dois muretes de 1 metro de altura por 1,5 metros de comprimento, em alvenaria cerâmica de tijolo furado, com dimensões de 290x189x106 mm³. Aplicaram-se as argamassas no murete - a composição com granulado de cortiça e EPS que mostraram melhor desempenho - para o estudo do seu comportamento através da simulação de um ambiente de obra.



Figura 3.17 – Muretes construídos

3.5.1 Aplicação dos rebocos otimizados em muretes

Previamente à aplicação das argamassas no murete, a alvenaria cerâmica de tijolo foi humedecida e foi aplicado um chapisco com traço 1:3 de cimento e areia. Sobre o chapisco aplicou-se a argamassa em estudo em duas camadas de 2 cm, para que a argamassa aderisse de forma eficiente à parede

de alvenaria cerâmica e por forma a ser possível ter um reboco com 4 cm de espessura final. O intervalo de aplicação entre as duas camadas foi de 48 horas. A cura dos rebocos ocorreu à temperatura e humidade relativa ambiente.

3.5.2 Ensaio tipo

Por forma a analisar as características das argamassas quando aplicadas num murete, como simulação de um ambiente real, foram efetuados alguns ensaios, para completar ou verificar as informações retiradas das argamassas no micro-level. As argamassas ensaiadas nos muretes são de fácil aplicação, tendo-se verificado que a composição com EPS é mais simples de aplicar. Também se procedeu a uma observação visual do comportamento do reboco aplicado, não se verificando qualquer retração no mesmo.

3.5.2.1 Ultrassons em muretes

O ensaio de ultrassons foi realizado nos muretes com o equipamento já descrito em 3.4.2.2 e como já referido é um ensaio não destrutivo. Este ensaio permite a avaliar as características mecânicas internas das argamassas, tendo como base a velocidade aparente da propagação de ultrassons. No caso de haver fissuras no percurso das ondas ultrassónicas, o tempo de percurso é maior, a velocidade é menor, assim como o módulo de elasticidade pois as ondas procuram caminhos mais longos para chegar ao recetor. Assim é possível medir a durabilidade do murete ao longo do tempo, através do aparecimento de fissuras.

O aparelho foi utilizado a uma temperatura ambiente no interior do laboratório de $25,7 \pm 5$ °C e uma humidade relativa de $48 \pm 7\%$.

Realizou-se o ensaio nas áreas que se mostravam mais planas e ausentes de fissuras, adotando-se o método indireto, com o recetor e o emissor na mesma face do murete. Foram realizados dois procedimentos de ensaio.

Procedimento de ensaio (1):

- Escolha e marcação dos percursos a ensaiar, desenhando-se duas linhas paralelas e horizontais afastadas de 200 mm, sobre

as quais se marcaram cinco pontos também afastados de 200 mm;

- Calibração do equipamento;
- Colocação do transdutor transmissor no primeiro ponto da linha inferior, registando o valor com o transdutor recetor em cada ponto da linha superior;
- Repetição do ensaio para todos os pontos com o transdutor transmissor nos restantes pontos da linha inferior e com o transdutor recetor em todos os pontos da linha superior.



Figura 3.18 – Pontos para colocação dos transdutores e colocação dos mesmos para leitura da propagação de ultrassons, respetivamente

Realizou-se um total de 25 (5x5 leituras) leituras no murete em estudo, para este procedimento, em cada momento de registo.

Procedimento de ensaio (2):

- Calibração do equipamento;
- Colocação do transdutor transmissor no primeiro ponto da linha inferior, registando o valor com o transdutor recetor em cada ponto da mesma linha, não alterando a posição do transdutor transmissor;
- Repetição do ensaio para os pontos na linha superior.

Neste procedimento realizou-se um total de 8 leituras no murete em estudo, em cada momento de registo.

3.5.2.2 *Ensaio de arrancamento em muretes*

O ensaio de arrancamento nos muretes foi realizado apenas aos 28 dias, de forma semelhante ao enunciado no ensaio de arrancamento descrito em 3.4.2.9, excetuando o modo de realização de entalhes. Os entalhes foram realizados com recurso a uma rebarbadora e foram utilizadas pastilhas de arrancamento quadradas ao invés das circulares, devido à realização de entalhes com a referida rebarbadora.

Nos muretes o seccionamento foi realizado até cerca de 2,5 cm de profundidade, quando o reboco é de 4 cm, existindo deste modo tensões laterais provocadas pela argamassa. O seccionamento não foi realizado até ao suporte devido o diâmetro das lâminas de corte disponíveis.



Figura 3.19 – Ensaio de arrancamento, Pull-off

Capítulo 4 - Análise de resultados

4.1 Introdução ao capítulo

Neste capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos nos ensaios realizados, assim como também se explicam as decisões efetuadas ao longo dos mesmos.

Para uma melhor perceção da análise de resultados a efetuar neste capítulo, sempre que possível os resultados serão apresentados graficamente e comparados com as argamassas produzidas.

4.2 Caracterização dos constituintes da argamassa

Sendo as características finais da argamassa influenciadas pelas propriedades dos seus constituintes, neste subcapítulo avaliam-se os constituintes quanto à sua granulometria e baridade.

A caracterização dos constituintes serve também para uma possível continuação do presente tema desta dissertação noutras investigações; tendo pleno conhecimento das características dos constituintes utilizados, torna-se possível o continuar de estudos relacionados.

4.2.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada como descrito em 3.2.2.1, para o agregado pétreo e para a adição de granulado de cortiça. Para o granulado de EPS não se realizou este ensaio devido às propriedades do mesmo, por ser um material extremamente leve e de difícil manuseio, utilizando-se como referência a granulometria média de 2 mm, medida média verificada em laboratório, ao invés dos 4 mm expressos na ficha de produto, entregue com o mesmo, presente no ANEXO B.

Tabela 4.1 – Análise granulométrica da areia e da cortiça e suas dimensões mínima (d) e máxima (D)

PENEIRO	MALHA (mm)	Areia		Cortiça	
		ACUMULADO		ACUMULADO	
		PASSADO (%)	RETIDO (%)	PASSADO (%)	RETIDO (%)
nº16	2			100,0	0,0
nº30	1	100,0	0,0	97,3	2,7
nº50	0,5	87,0	13,0	84,4	15,6
nº100	0,25	22,0	78,0	20,7	79,3
nº200	0,125	1,0	99,0	0,1	99,9
Refugo	0,063	0,0	100,0	0,0	100,0
mf:		0,9		mf:	
D (mm):		1		D (mm):	
d (mm):		0,0125		d (mm):	
				2	
				0,5	

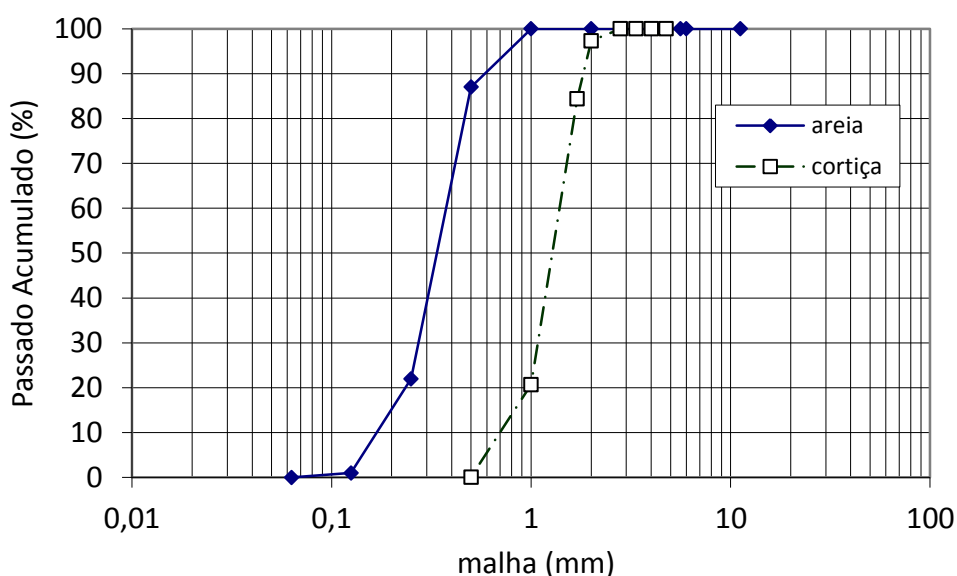


Figura 4.1 – Análise granulométrica da areia e da cortiça

Pela análise granulométrica realizada, verifica-se que a dimensão máxima e mínima é de 1 e 0,0125 mm para a areia e de 2 e 0,5 mm para a cortiça, respetivamente. Entende-se como máxima dimensão a abertura da malha onde passa pelo menos 90% do agregado e a mínima dimensão a abertura da malha onde passa uma quantidade igual ou inferior a 5%.

4.2.2 Baridade

A baridade foi realizada como descrito em 3.2.2.2, para os agregados e para o ligante.

4.2.2.1 Agregados

Na tabela 4.2 apresentam-se os valores da baridade dos agregados.

Tabela 4.2 – Baridade dos agregados

	Areia	Granulado de cortiça	EPS
ρ_b (Kg/m ³)	1590,0	112,4	16,7

Como se pode observar pelos resultados obtidos, tanto o granulado de cortiça como o de EPS apresentam um menor valor de baridade do que a areia. Deste modo é de esperar que uma maior percentagem de substituição de areia por granulado de cortiça ou de EPS conduza a uma menor massa volúmica das argamassas produzidas.

4.2.2.2 Ligante

Na tabela 4.3 consta a baridade do ligante utilizado.

Tabela 4.3 – Baridade do ligante

	Ligante
ρ_b (Kg/m ³)	1187,7

4.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

Para a caracterização das argamassas no estado fresco realizou-se uma amassadura para cada composição. Após concluída a amassadura procedeu-se de imediato à realização do ensaio de consistência por espalhamento, referenciado neste subcapítulo, por forma a avaliar a sua fluidez.

4.3.1 Consistência por espalhamento

Com o ensaio da mesa de espalhamento verifica-se a consistência por espalhamento, ou seja, a fluidez, de cada composição realizada.

Um resultado normal de espalhamento para este ensaio, para uma argamassa com boa fluidez para aplicação, estará próximo de 65% [BAUER, 2000]. O objetivo deste ensaio é verificar que os resultados se mantêm o mais próximo possível deste valor de referência, durante o maior espaço de tempo possível, sem se observarem decréscimos acentuados, para que as argamassas tenham uma boa aplicabilidade durante mais tempo. Para tal,

efetuam-se alterações da relação A/L e de SP face à adequabilidade da aplicação num ambiente real.

Um fator com influência na fluidez das argamassas é a granulometria dos seus constituintes. Quanto menor for a granulometria da areia, maior será a quantidade de água de amassadura necessária a incorporar na argamassa, devido à superfície específica acrescida do agregado em contacto com a água [BOTAS, 2009]. Contudo para as adições incorporadas não se espera o mesmo comportamento. Devido à granulometria das adições ser superior à da areia, seria de esperar a necessidade de uma menor quantidade de água de amassadura para a mesma trabalhabilidade. Sendo que as adições são mais porosas que a areia e têm a capacidade de absorver mais água, por seu lado espera-se a necessidade de uma maior quantidade de água para a mesma trabalhabilidade.

Devido à avaria na torna, já mencionada no modo de mistura, subcapítulo 3.3.1.1, não se tornou possível realizar as misturas com o mesmo equipamento. Existindo a necessidade de refazer algumas composições, registou-se o resultado dos ensaios de espalhamento das composições realizadas na misturadora, verificando-se uma melhoria da trabalhabilidade.

Os resultados deste ensaio são apresentados sob a forma de gráfico na figura 4.2 para a composição base e para as composições com incorporação de granulado de cortiça.

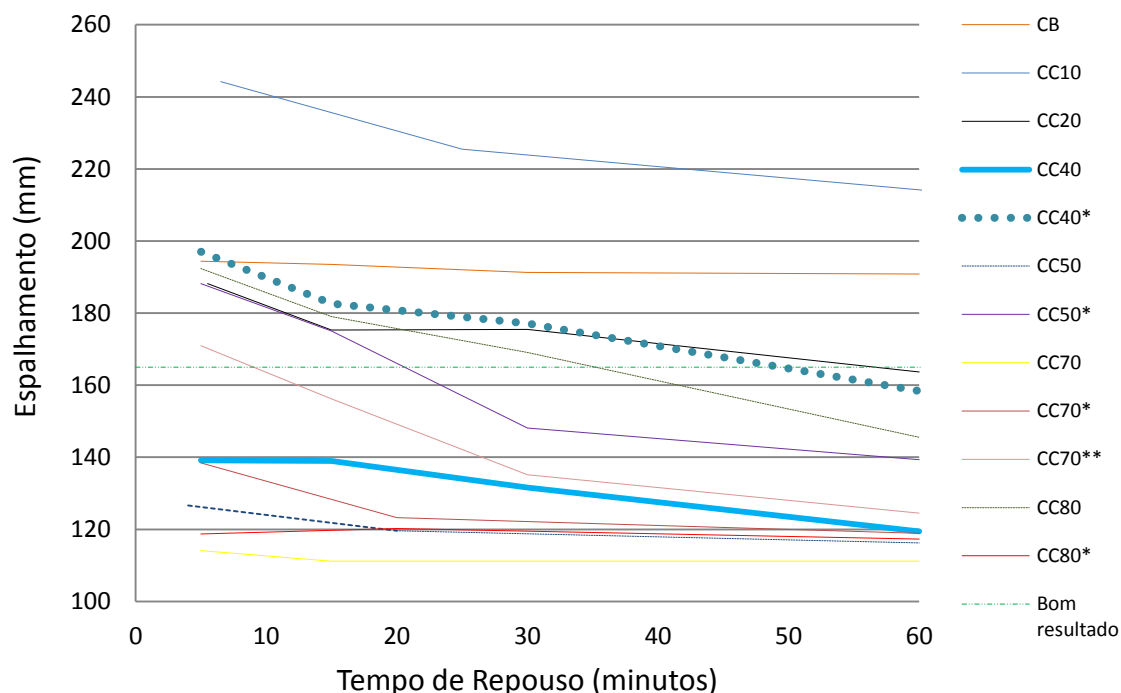


Figura 4.2 – Percentagem de espalhamento das composições com cortiça

Para analisar o resultado deste ensaio tem de se ter em conta o aumento da substituição de areia por cortiça, a relação A/L e a dosagem de SP.

As composições foram modificadas, no que diz respeito à relação A/L e dosagem de SP, consoante o seu desempenho neste ensaio, ou seja, quando a consistência tendia para valores inferiores a 65%, 165 mm, na mesa de espalhamento. A constituição de cada argamassa pode observar-se na tabela 3.1, subcapítulo 3.3.1.1, podendo verificar-se em que consistiram as alterações entre composições na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Alteração entre composições com granulado de cortiça

Composições com aumento de:		
Granulado de cortiça	SP	Relação A/L
CB - CC10	CC40 - CC40*	CC70 - CC70*
CC10 - CC20	CC50 - CC50*	CC80 - CC80*
CC20 - CC40	CC70* - CC70**	
CC40* - CC50		
CC50* - CC70		
CC70* - CC80		

Estando a dosagem ótima de SP superada, a partir da composição com 70% de substituição de areia por cortiça para uma melhoria da trabalhabilidade tornou-se necessário o aumento da relação A/L. Ao aumentar demasiado a quantidade de SP, torna-se mais provável o efeito de exsudação, que se caracteriza pela separação de parte da água dos restantes constituintes da argamassa, para além de se encarecer o valor de produção da composição de argamassa.

Pela observação da figura 4.2 verifica-se um melhor comportamento no que diz respeito à trabalhabilidade para menores percentagens de incorporação de cortiça. Contudo uma vez que o principal objetivo é a otimização das características térmicas, prosseguiu-se este ensaio para maiores substituições de percentagem de areia por cortiça [BRÁS, *et al.*, 2012]. Regista-se a dificuldade de aproximar e manter a percentagem de espalhamento da percentagem pretendida a partir das composições com substituição de 70% de areia por cortiça, mesmo com o aumento do SP e da relação A/L.

Nas argamassas analisadas, o aumento da substituição de areia por cortiça diminui a trabalhabilidade das argamassas, à exceção de CB-CC10 e CC70*-CC80. No caso da CB-CC10 ao reduzir a quantidade de areia que iria absorver a água de amassadura e como a cortiça absorve a água de forma mais lenta que a areia, então durante o estado fresco existe mais água livre disponível na argamassa, aumentando deste modo a sua trabalhabilidade. Nas restantes composições o mesmo não se verifica, pois a elevada quantidade de hemicelulose presente na cortiça atrasa o processo de hidratação do cimento [PANESAR, *et al.*, 2012], uma vez que, potenciando a retenção da água de amassadura no seio da cortiça, diminui a água livre que iria melhorar a trabalhabilidade da argamassa. Assim tem-se que o aumento da quantidade de cortiça, apesar de absorver a água de forma mais lenta, retém-na no seu interior, diminuindo a trabalhabilidade da argamassa, devido a uma menor quantidade de água livre. Entre CB-CC10 a substituição de areia por cortiça é reduzida e apesar de se verificar a retenção de água no interior da cortiça, sendo esta mais lenta, a quantidade de água livre é significativa e superior à de CB, aumentando deste modo a trabalhabilidade. No caso da CC70*-CC80

verifica-se que a trabalhabilidade aumenta ao invés de diminuir. Este fenómeno está relacionado com o processo de mistura, sendo que a CC70* foi realizada com a torna e a CC80 com a misturadora, conferindo esta última uma mistura mais eficaz e, conseqüentemente, uma argamassa mais trabalhável.

Realizou-se uma experiência em laboratório que consistiu na colocação de uma amostra de cortiça num provete de 250 ml, com a posterior colocação de água no mesmo. Esta experiência foi realizada para três amostras sendo estas ensaiadas, respetivamente, aos 30 minutos, 60 minutos e após 24 horas do início do ensaio. Com este experimento verificou-se que a cortiça retém uma maior quantidade de água no seu seio nos instantes iniciais mas que após algum tempo liberta parte da água retida. Desta forma fundamenta-se o atraso no processo de hidratação do cimento devido à retenção de água nos primeiros instantes, tal como se pode observar na tabela 4.5.

Nos primeiros 30 minutos a cortiça aumenta o seu peso em cerca de 400% face ao seu peso inicial, peso à temperatura ambiente, sendo que após algum tempo reduz 100% do seu peso saturado por libertação de alguma água absorvida.

Tabela 4.5 – Aumento do peso do granulado da cortiça durante o tempo, quando imerso

	Aumento do peso face à amostra seca (%)
Amostra 1 (30')	378%
Amostra 2 (60')	294%
Amostra 3 (24h)	298%

Com o aumento da percentagem de cortiça presume-se que a capacidade de molhagem da argamassa se reduza, devido a uma maior superfície específica dos agregados. Numa análise microestrutural, provavelmente isto ocorre porque as pontes que se geram entre as partículas de cimento e as de cortiça são provavelmente mais fracas do que as que se geram com a areia [BRÁS, et al., 2012]. Contudo pela experiência acima descrita pode-se constatar que a quantidade de água que o granulado de cortiça absorve é significativa, sendo este aspeto mais condicionante na

redução da capacidade de molhagem das argamassas com o aumento da quantidade de cortiça.

Como previsto melhora-se a trabalhabilidade das argamassas com o aumento de SP, tal como com o aumento da relação A/L. Na CC80-CC80* não se verifica a melhoria da trabalhabilidade com o aumento da relação A/L provavelmente devido à alteração do modo de mistura.

Verifica-se que a linha das composições ao longo do tempo tem uma tendência linear, sempre decrescente, tal como seria de esperar.

De seguida apresentam-se os resultados deste ensaio sob a forma de gráfico na figura 4.3 para a composição base e para as substituições de areia por EPS.

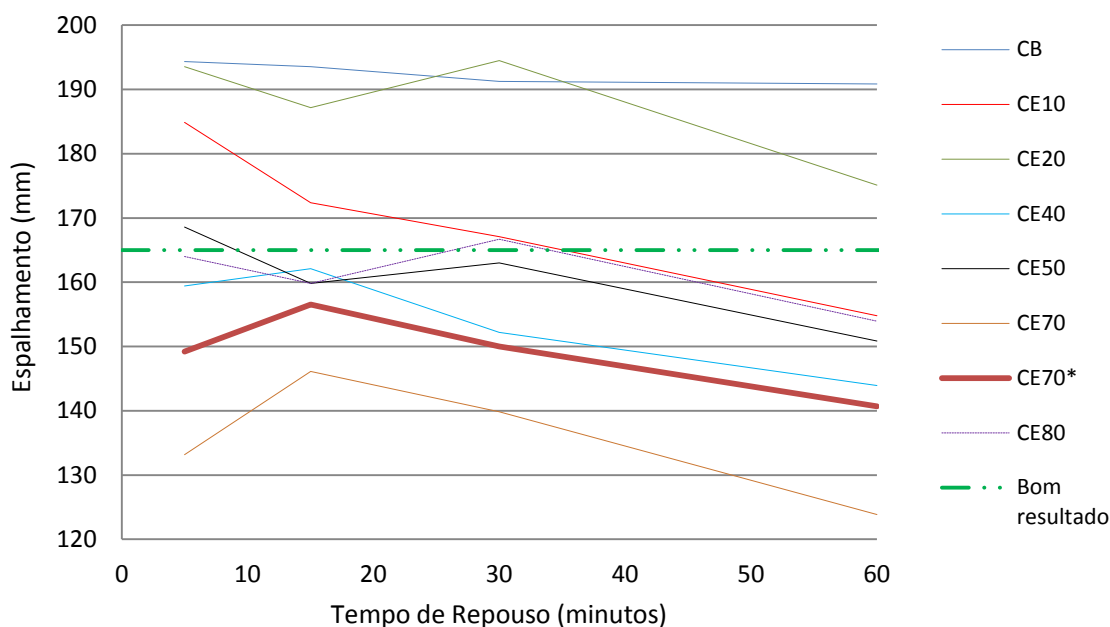


Figura 4.3 – Percentagem de espalhamento das composições com EPS

As alterações efetuadas neste ensaio foram em tudo semelhantes ao das composições com cortiça, relativamente aos motivos e quantidades de aumento de SP. A constituição de cada argamassa pode observar-se na tabela 3.1, subcapítulo 3.3.1.1. e pode verificar-se em que consistiram as alterações entre composições na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Alteração entre composições com EPS

Composições com aumento de:	
EPS	SP
CB - CE10	CE70 - CE70*
CE10 - CE20	
CE20 - CE40	
CE40 - CE50	
CE50 - CE70	
CE70* - CE80	

Na figura 4.3 verifica-se que a linha das composições nem sempre é decrescente ao longo do tempo, observando-se por momentos o aumento da trabalhabilidade. Pode afirmar-se que de algum modo o EPS afeta positivamente a trabalhabilidade das composições nos instantes iniciais.

Não se verifica sempre a diminuição da trabalhabilidade das argamassas com EPS ao longo do tempo de repouso porque este é um material não absorvente de água. O EPS não absorve a água, mas durante o ensaio de absorção de água por capilaridade, verifica-se que, com o aumento do volume de EPS introduzido, existe a diminuição da quantidade de água livre [BABU, *et al.*, 2006]. Possivelmente devido a ser constituído por 90% de ar, a água ocupa o vazio do EPS, retendo a água por instantes mas não a absorve, não evapora no seu interior, sendo absorvida pela argamassa instantes depois. Por este motivo observa-se o aumento da trabalhabilidade alguns minutos após a amassadura.

Com o aumento da quantidade de EPS incorporado na argamassa verifica-se a diminuição da trabalhabilidade entre CB-CE10, CE20-CE40 e CE50-CE70 e o seu aumento entre CE10-CE20, CE40-CE50 e CE70*-CE80.

Tal como nas CC verifica-se também nas CE que o aumento do SP melhora a trabalhabilidade das argamassas.

Observa-se em todas as composições com EPS o aumento da trabalhabilidade durante um certo espaço de tempo, exceto na CE10, possivelmente pela quantidade de EPS não ser suficiente para se observar a influência do mesmo. Nas CE40, CE70 e CE70*, existe um aumento da trabalhabilidade entre os 0 e 15 minutos após amassadura, seguido da perda

da mesma. Nas CE20, CE50 e CE80, existe uma perda da trabalhabilidade nos primeiros 15 minutos seguindo-se o seu aumento entre os 15 e 30 minutos após amassadura, verificando-se de seguida novamente uma perda da trabalhabilidade. Este fenómeno acontece, como já explicado, pois quando a argamassa já não se encontra saturada, a mesma absorve a água presente no EPS, recuperando alguma trabalhabilidade. É nas CE20, CE50 e CE80 que o aumento da trabalhabilidade se verifica mais tarde e também é nestas composições que comparativamente à argamassa anterior se observa o aumento da trabalhabilidade em vez da sua diminuição. Uma vez que o aumento da trabalhabilidade se iniciou mais tarde do que nas restantes argamassas, a retenção da água no seio do EPS também começou mais tarde. Por este motivo nos instantes iniciais havia mais água livre disponível, tornando deste modo a argamassa mais trabalhável do que com a composição anterior.

Ao analisar as composições com ambos os tipos de adições verifica-se uma maior facilidade no controlo das argamassas com EPS, do que com granulado de cortiça, face à percentagem de espalhamento, assim como uma maior proximidade das argamassas com EPS com o resultado pretendido. As argamassas com cortiça, para a mesma quantidade de substituição que as argamassas com EPS, necessitam de uma maior quantidade de água para atingir o mesmo nível de trabalhabilidade.

4.3.2 Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente das argamassas no estado fresco foi determinada como já descrito em 3.4.1.2, sendo apresentada sob a forma de gráfico nas figuras 4.4 e 4.5 para as composições com cortiça e com EPS, respetivamente.

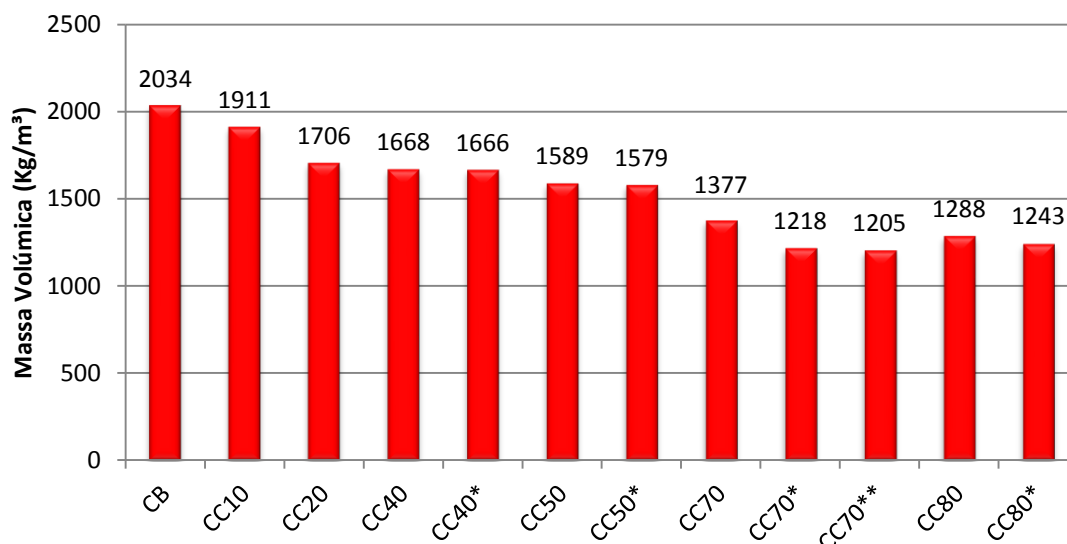


Figura 4.4 – Massa volúmica das composições com granulado de cortiça

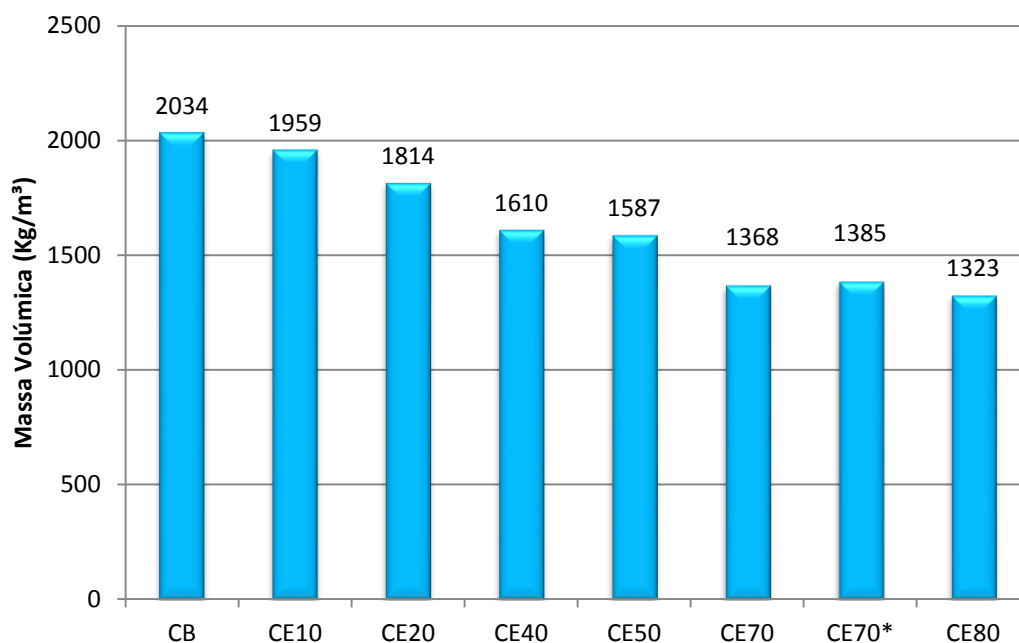


Figura 4.5 – Massa volúmica das composições com EPS

Como seria expectável, pelas figuras 4.4 e 4.5 verifica-se que a adição de agregados como o granulado de cortiça e o EPS minimizam claramente a massa volúmica das argamassas.

4.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Para a caracterização das argamassas no estado endurecido utilizaram-se os provetes realizados no estado fresco, por forma a determinar as características das argamassas em estudo.

4.4.1 Condutibilidade térmica

Como descrito em 3.4.2.1 através de impulsos térmicos é possível determinar a condutibilidade térmica das argamassas, o que normalmente está relacionado com a massa volúmica aparente das composições. Quanto menor a massa volúmica aparente, menor o valor da condutibilidade térmica, ou seja, melhor o comportamento térmico da argamassa.

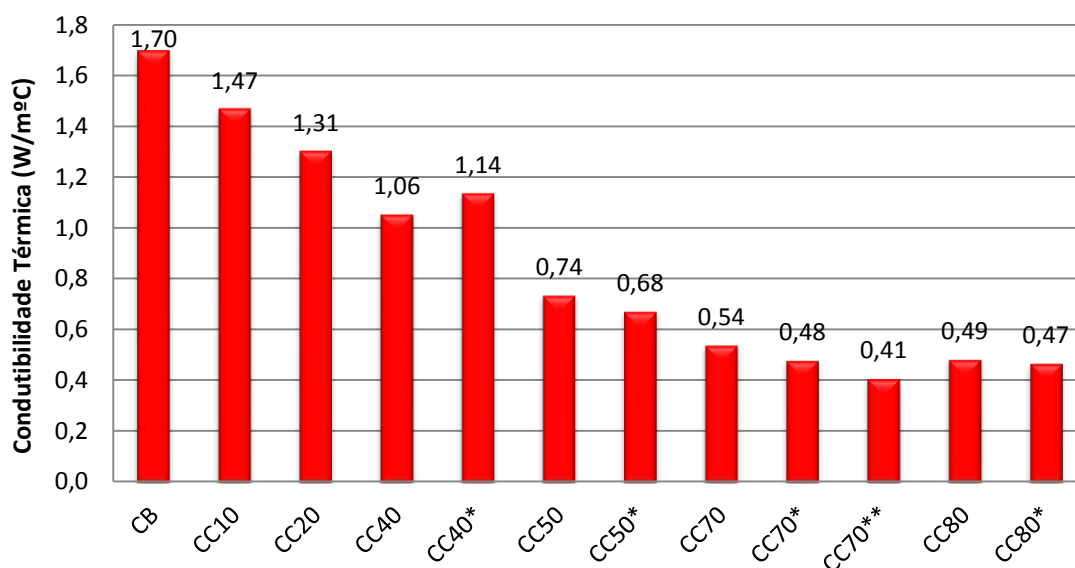


Figura 4.6 – Condutibilidade Térmica aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça

Por observação da figura 4.6, tem-se que a substituição de cortiça melhora significativamente a condutibilidade térmica das argamassas. Efetivamente, através da introdução de cortiça numa argamassa de base cimentícia, consegue-se reduzir a condutibilidade térmica em 72%.

Quanto maior a quantidade de cortiça incorporada numa argamassa de revestimento melhores são suas propriedades térmicas, reduzindo consequentemente a possibilidade de existência de condensações superficiais [MARTINS, M., 2010].

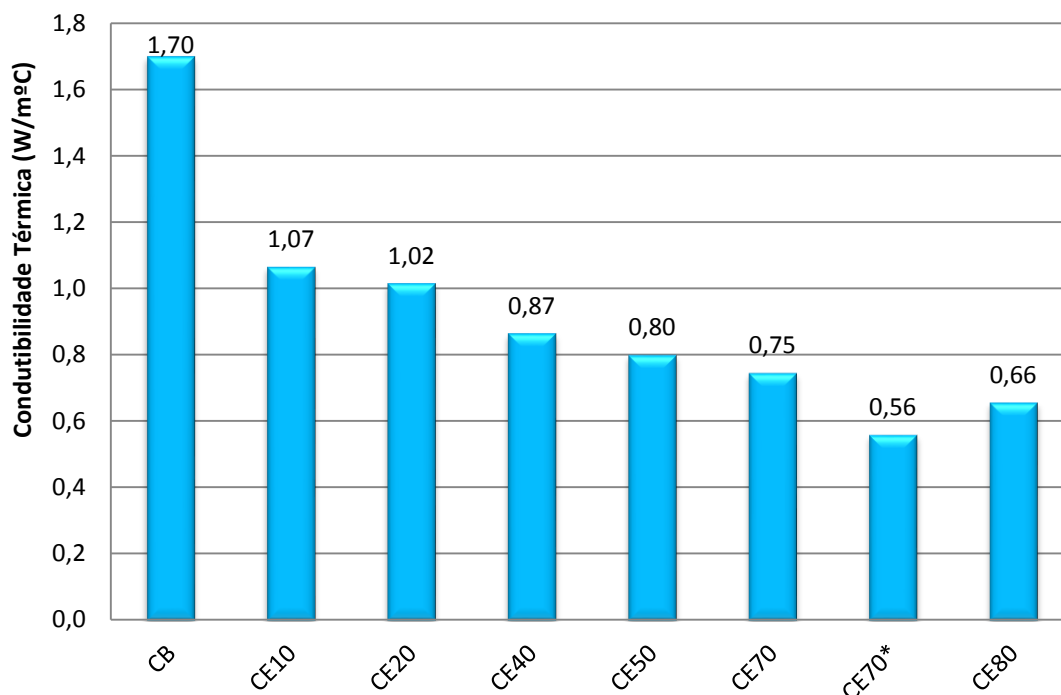


Figura 4.7 – Condutibilidade Térmica aos 28 dias de idade das argamassas com EPS

Tal como com a adição de cortiça constata-se, pela figura 4.7, que a adição de EPS em argamassas também representa uma influência positiva na condutibilidade térmica das argamassas estudadas, reduzindo este valor até 61% do valor de referência (CB).

Até existirem alterações nas relações A/L e na quantidade de SP, até às composições de substituição de 40%, CC40 e CE40, as composições de EPS mostram um melhor desempenho face à condutibilidade térmica.

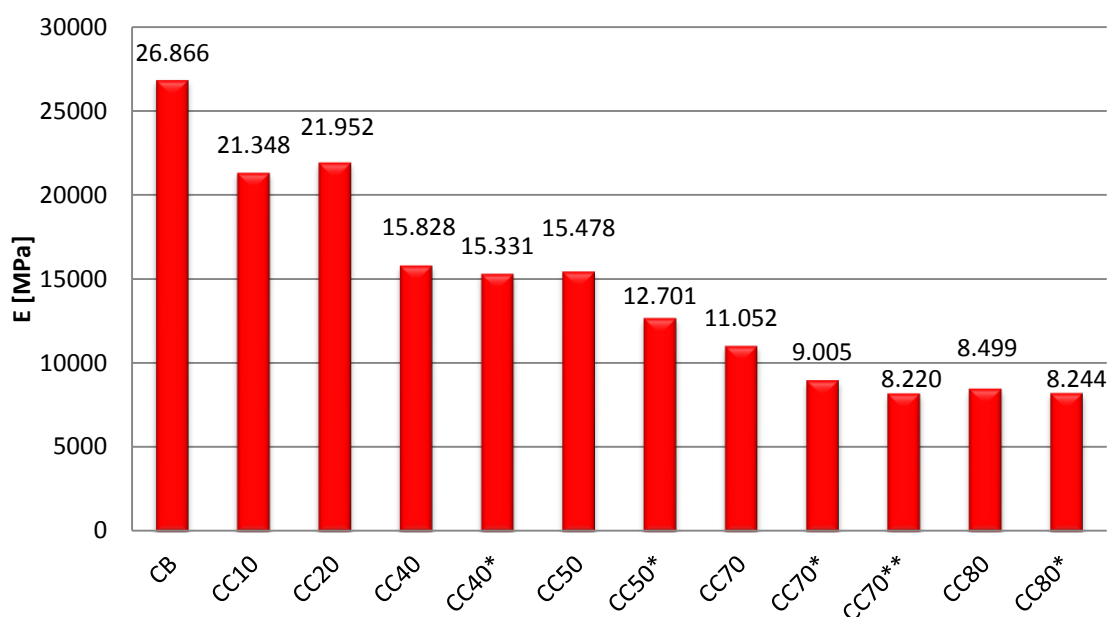
4.4.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Tal como descrito em 3.4.2.2 o ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado aos 28 dias de idade de cada argamassa, realizando-se através do método direto em provetes normalizados.

Na tabela 4.7 indicam-se os valores médios do módulo de elasticidade dinâmico (E) de cada argamassa estudada. Valores mais elevados indicam argamassas mais rígidas, menos deformáveis, com uma maior facilidade em apresentar fissuras.

Tabela 4.7 – Valores médios do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com cortiça e com EPS

	E (28 dias) [MPa]		E (28 dias) [MPa]
CB	26.866	CB	26.866
CC10	21.348	CE10	24.969
CC20	21.952	CE20	22.800
CC40	15.828	CE40	16.935
CC40*	15.331	CE50	16.247
CC50	15.478	CE70	14.112
CC50*	12.701	CE70*	13.220
CC70	11.052	CE80	12.857
CC70*	9.005		
CC70**	8.220		
CC80	8.499		
CC80*	8.244		

**Figura 4.8 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com cortiça**

De um modo geral, com o aumento da quantidade de cortiça, de SP ou da relação A/L verifica-se uma diminuição do módulo de elasticidade dinâmico, ou seja, maior é a deformabilidade da argamassa produzida, tornando-se menos provável o aparecimento de fissuras. Com a introdução do granulado de cortiça até 80% foi possível reduzir o módulo de elasticidade dinâmico em cerca de 70%, face à composição base.

Verifica-se claramente a existência de 4 níveis de deformabilidade nas argamassas realizadas, situando-se o 1º nível de CB a CC20 com módulos de

elasticidade dinâmico compreendidos entre os 27 e os 21 GPa, o 2º nível de CC40 a CC50 entre os 16 e os 15 GPa, o 3º nível de CC50* a CC70 entre os 13 e os 11 GPa e o 4º nível de CC70* a CC80* entre os 9 e os 8 GPa.

Um reboco com maiores quantidades de cortiça torna-se menos rígido, mais deformável, comparativamente a argamassas correntes, adaptando-se melhor a pequenas deformações impostas ao paramento [MARTINS, M., 2010] [CARVALHO, *et al.*, 2012].

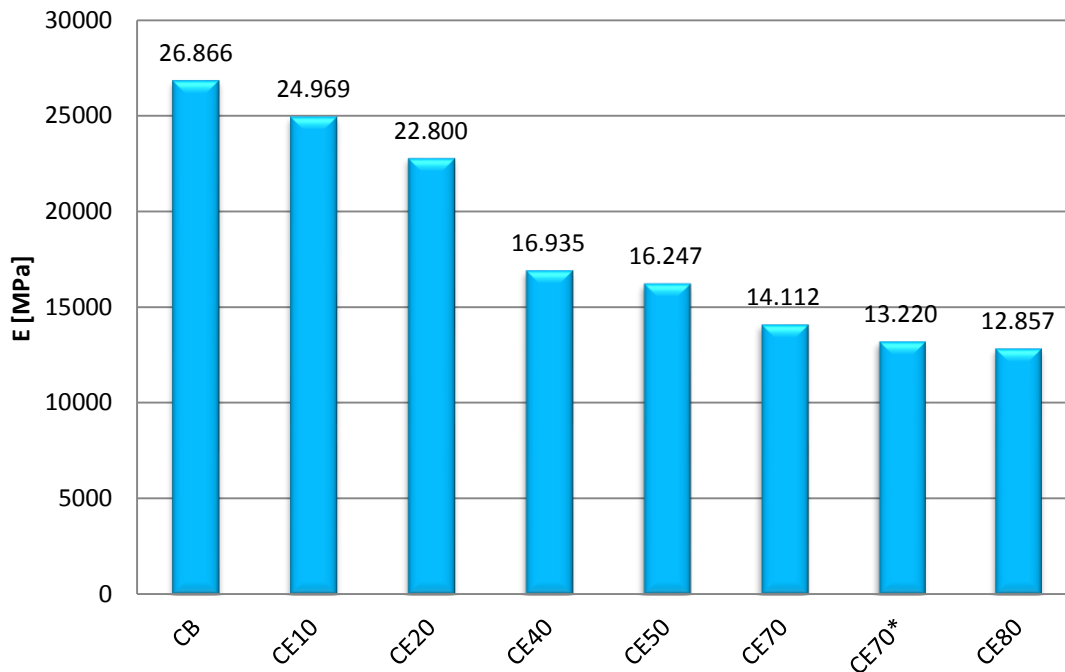


Figura 4.9 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com EPS

Tal como nas CC, verifica-se que nas CE o aumento da quantidade de adição e de SP diminui o módulo de elasticidade dinâmico, aumentando a capacidade de deformação da argamassa antes de esta atingir a rotura.

Verifica-se a existência de 3 níveis de deformabilidade nas argamassas realizadas, situando-se o 1º nível de CB a CE20 com módulos de elasticidade dinâmico compreendidos entre os 27 e os 22 GPa, o 2º nível de CE40 a CE50 entre os 17 e os 16 GPa e o 3º nível de CE70 a CE80 entre os 14 e os 12 GPa.

Com a introdução de 80% de EPS nas argamassas foi possível reduzir o módulo de elasticidade dinâmico em cerca de 52%, face à composição sem adições.

Verificam-se valores dos módulos de elasticidade dinâmico próximos nas CC e nas CE até substituições de 50% de areia pela adição respectiva, sendo que até estes são mínimas as alterações na quantidade de SP e nulas na relação A/L. A partir destas quantidades de substituição verifica-se uma notável diferença entre as composições realizadas com os diferentes tipos de adições, sendo que em toda a análise o módulo de elasticidade das CC é inferior aos das CE. Esta diferença de valores está relacionada com o aumento da relação A/L e do SP, que foi realizada nas CC.

4.4.3 Resistência à tração por flexão

As resistências mecânicas das argamassas são das propriedades mais importantes das argamassas, pois são as principais responsáveis pela sua durabilidade.

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados aos 28 dias de idade, tal como descrito em 3.4.2.3, de acordo com a EN 1015-11.

As figuras que se seguem apresentam os valores médios das resistências à tração por flexão das CC e das CE, figura 4.10 e 4.11 respetivamente.

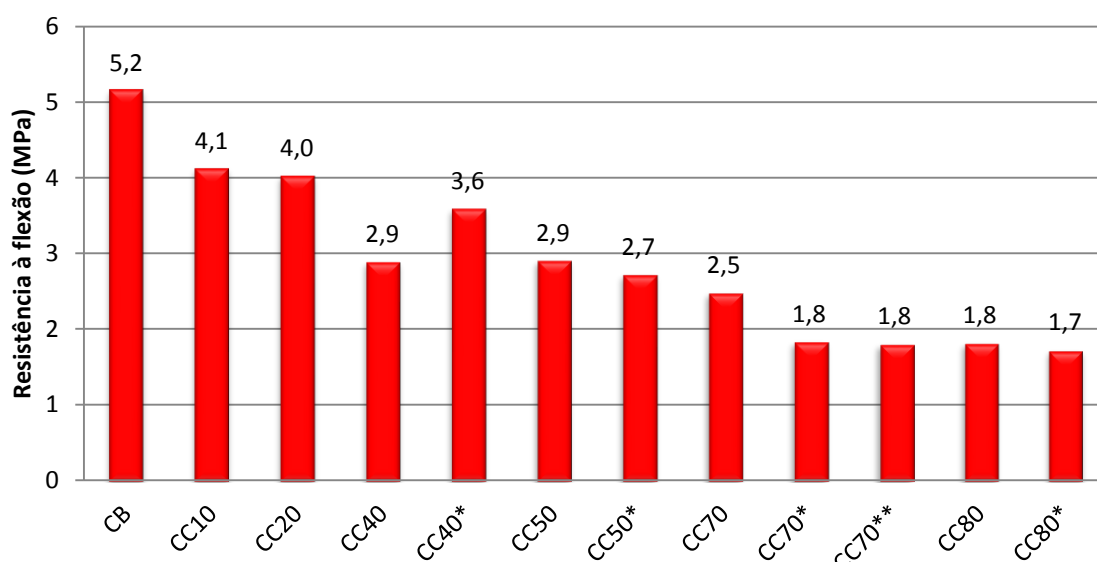


Figura 4.10 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com cortiça

Pela análise da figura 4.10 verifica-se que aumentando a quantidade de cortiça nas composições em estudo, diminui-se a sua resistência à flexão.

Constata-se também que o aumento da dosagem de SP aumenta a resistência à flexão, com valores reduzidos de SP ($SP=0,3\%$ e $SP=1\%$), sendo que para valores superiores aos mencionados, entre 2% e 3%, se verifica que o SP tem tendência a não melhorar a resistência à flexão. Assim demonstra-se que quantidades elevadas de SP não trazem benefícios consideráveis às argamassas produzidas, relativamente à resistência à flexão.

Quanto maior a relação A/L, menor a resistência à flexão, verificando-se que para menores aumentos têm-se menores diminuições da resistência à flexão.

Com uma substituição de 80% de areia por granulado de cortiça reduz-se a resistência à flexão em 67%.

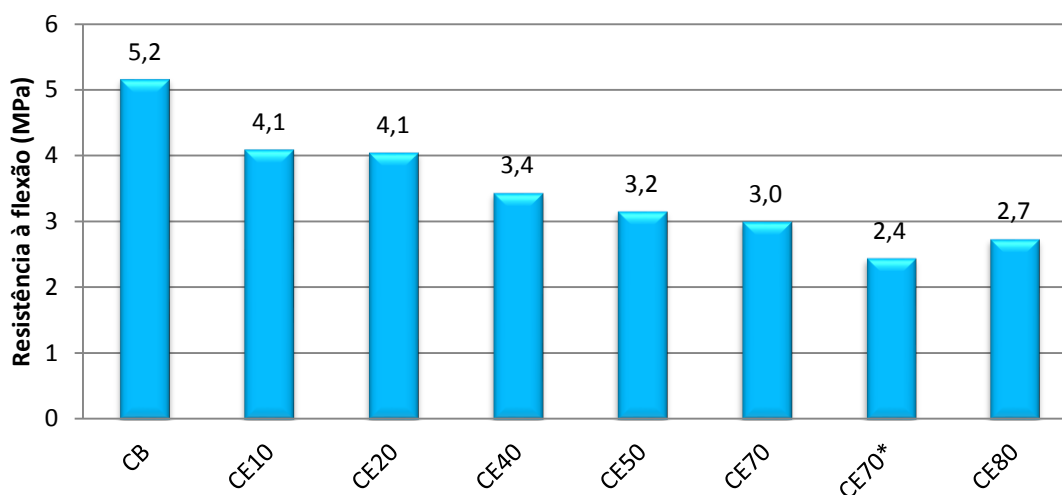


Figura 4.11 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com EPS

Por análise da figura 4.11, verifica-se que o aumento da percentagem de EPS nas composições diminui a resistência à tração por flexão.

O aumento do SP diminui a resistência à flexão nas composições com EPS, sendo a influência contrária às CC com aumento de SP similar.

Com uma substituição de 80% de areia por EPS reduz-se a resistência à flexão em 48%.

Para as melhores composições estudadas realizou-se o ensaio de flexão aos 150 ou 210 dias de idade, para além dos 28 dias já referidos, com o objetivo de verificar a evolução das resistências ao longo do tempo. Com estes ensaios verifica-se que aos 28 dias de idade as argamassas ainda não

atingiram a sua resistência máxima, tal como se pode observar na figura 4.12 e 4.13, respetivamente para as CC e para as CE.

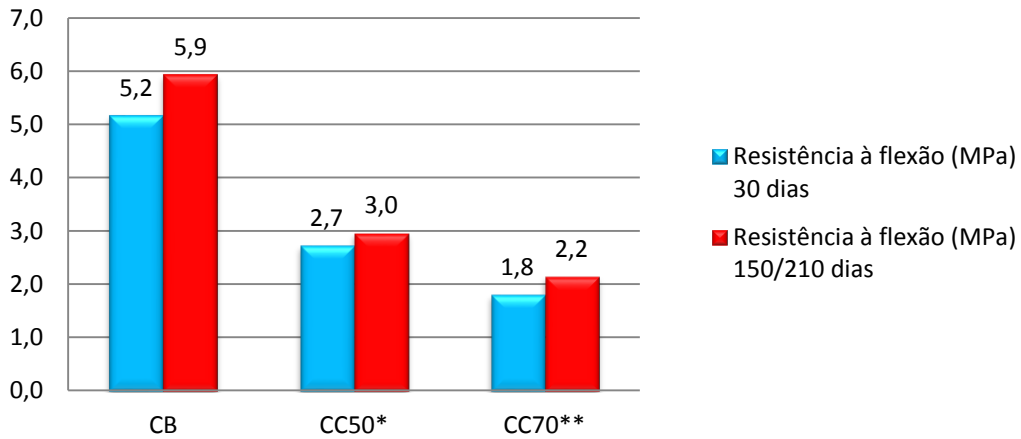


Figura 4.12 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com costriça, a diferentes idades

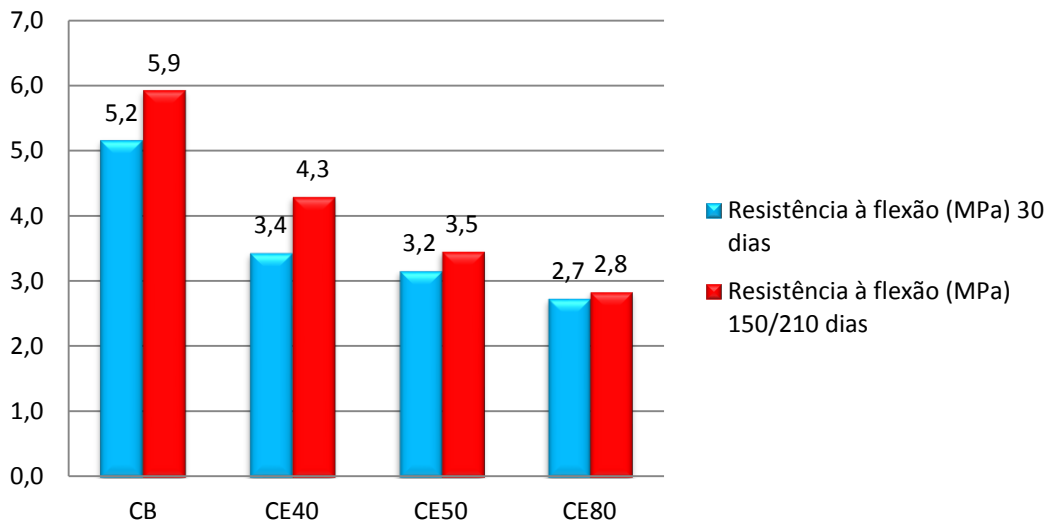


Figura 4.13 – Valores médios do ensaio à flexão das argamassas com EPS, a diferentes idades

4.4.4 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à tração por compressão foram realizados aos 28 dias de idade, como já descrito em 3.4.2.4.

O importante a garantir relativamente à resistência à tração por compressão das argamassas produzidas é que estas garantam os valores mínimos estabelecidos na norma EN 998-1, para que sejam classificadas como argamassas de reboco para isolamento térmico, devendo para isso resistir a um valor mínimo de 0,4 MPa.

Na figura 4.14 estão presentes os valores médios das argamassas, com adição de cortiça, produzidas para a resistência à compressão.

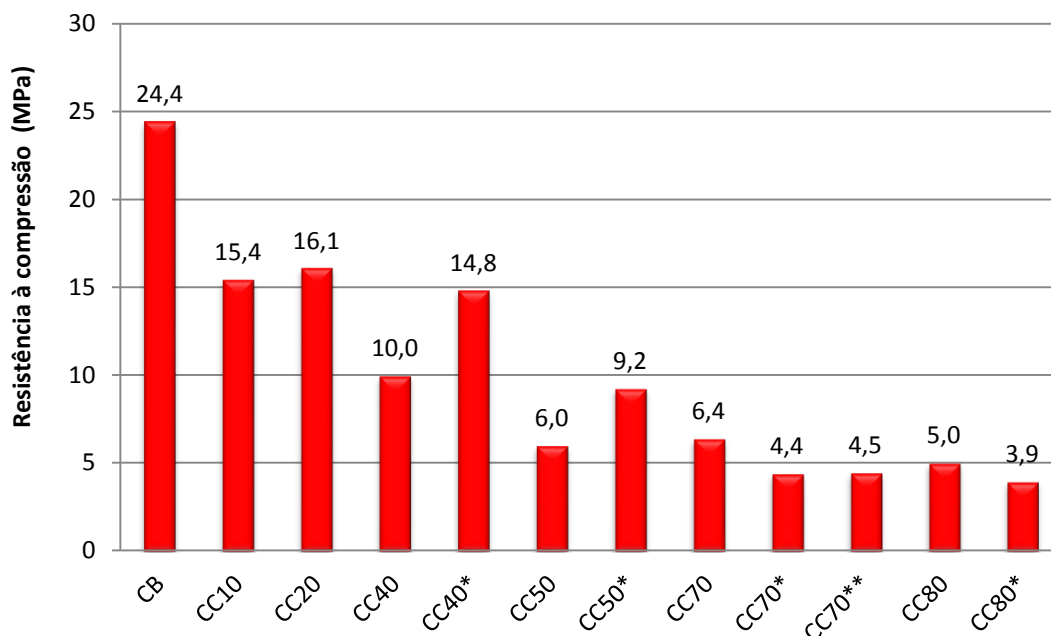


Figura 4.14 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com cortiça

Como se pode verificar o valor mínimo, de 0,4 MPa, é sempre garantido em todas as composições. Pela análise da norma referida as argamassas CC50 e de CC70 a CC80* podem enquadrar-se, no mínimo, no intervalo que corresponde à categoria CS III (3,5 a 7,5 MPa), enquadrando-se as restantes na categoria CS IV (≥ 6 MPa). Desta forma todas as composições referidas pertencem a argamassas de isolamento térmico para rebocos, no que diz respeito à resistência à compressão.

No geral a introdução de cortiça diminui consideravelmente a resistência à compressão de argamassas.

Observando a figura pode-se também verificar que o aumento de SP aumenta a resistência à compressão e que o aumento da relação A/L diminui a referida resistência.

Verificou-se que após a realização do ensaio à compressão - nas composições com substituição de 70% de areia por cortiça e acima deste valor de substituição - não se visualiza, a olho nú, a rotura do provete e quando o ensaio é repetido com o mesmo provete, verificam-se valores inferiores aos

registados. O que se verifica é que ocorre uma pequena queda na resistência após a capacidade máxima de carga ser superada, sendo seguida por um suave decréscimo na resistência [NOVOA, *et al.*, 2004].

Com o aumento da quantidade de cortiça na composição verifica-se que o material torna-se mais dúctil à compressão [NOVOA, *et al.*, 2004]. Por esta razão é possível visualizar nas composições com incorporação de cortiça de 50%, e acima deste valor a deformação do provete através do ensaio à compressão, antes de este atingir a rotura.

Com uma substituição de 80% de areia por granulado de cortiça reduz-se a resistência à compressão em 84%.

Na figura 4.15 estão presentes os valores médios das argamassas com adição de EPS, produzidas para a resistência à compressão.

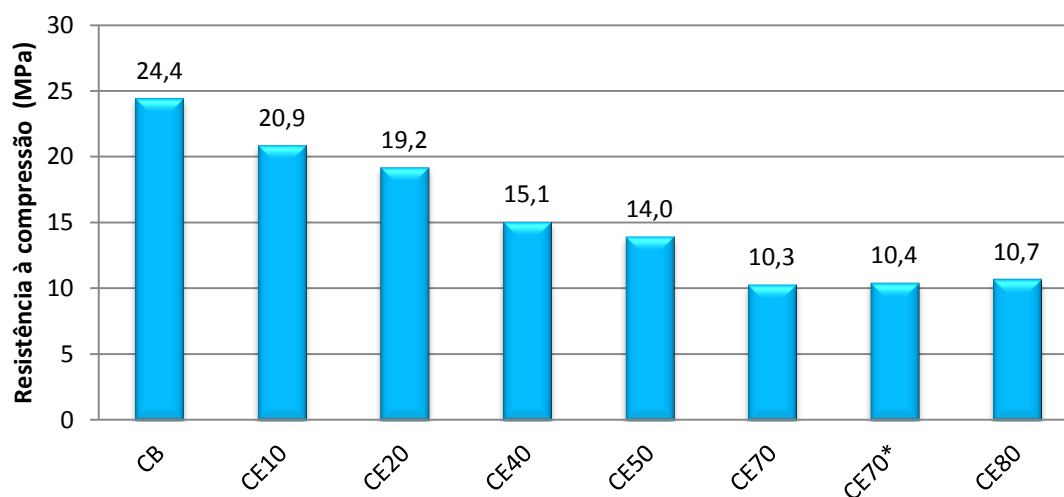


Figura 4.15 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com EPS

Atendendo à norma acima referida as argamassas de EPS produzidas pertencem à categoria máxima CS IV (≥ 6 MPa), pertencendo assim a argamassas de isolamento térmico para rebocos, no que diz respeito à resistência à compressão.

Pela observação da figura 4.15 pode constatar-se que o aumento da quantidade de substituição de areia por EPS conduz a argamassas menos resistentes à compressão.

Nas composições ensaiadas verifica-se que o aumento do SP não afeta significativamente a resistência à compressão, pelo que não se podem tirar

conclusões acerca da sua influência, tal como se pode verificar nas composições com EPS.

Segundo investigações realizadas seria de esperar a redução da resistência à compressão com o aumento da quantidade de EPS e o aumento da mesma com a introdução de adjuvantes [CHOI, *et al.*, 2004] [MADANDOUST, *et al.*, 2011].

Com uma substituição de 80% de areia por EPS reduz-se a resistência à compressão em 56%.

Com a introdução da adição de EPS na CB, CB-CE10, também se verifica uma perda de resistência à compressão, contudo não é tão significativa como a de CB-CC10.

Verifica-se que as CE comportam-se melhor à compressão comparativamente às CC, tal como se pode observar pela comparação da CC40*-CE80. Estas composições têm aproximadamente a mesma resistência, sendo o tipo de adição e a sua respetiva quantidade o único elemento que as difere na sua composição. Com percentagens de EPS com o dobro do valor percentual das argamassas de cortiça, conseguem-se obter valores próximos de resistência à compressão.

Para as melhores composições, realizou-se também o ensaio à compressão, aos 150 ou 210 dias de idade, para além dos 28 dias já referidos. Verificou-se também que aos 28 dias de idade, tal como na flexão, as argamassas ainda não atingiram a sua resistência máxima, tal como se pode observar nas figuras 4.16 e 4.17, respetivamente para as CC e para as CE.

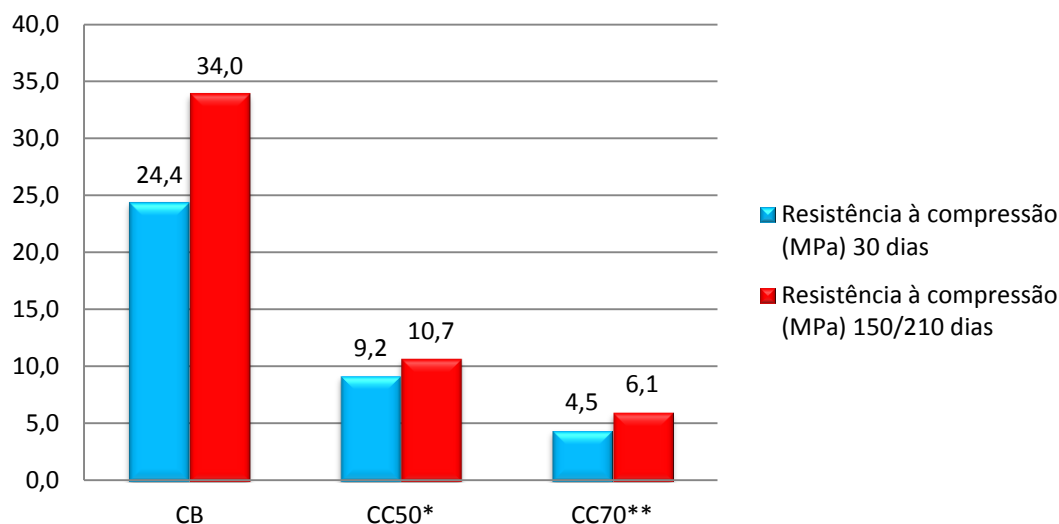


Figura 4.16 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com cortiça, a diferentes idades

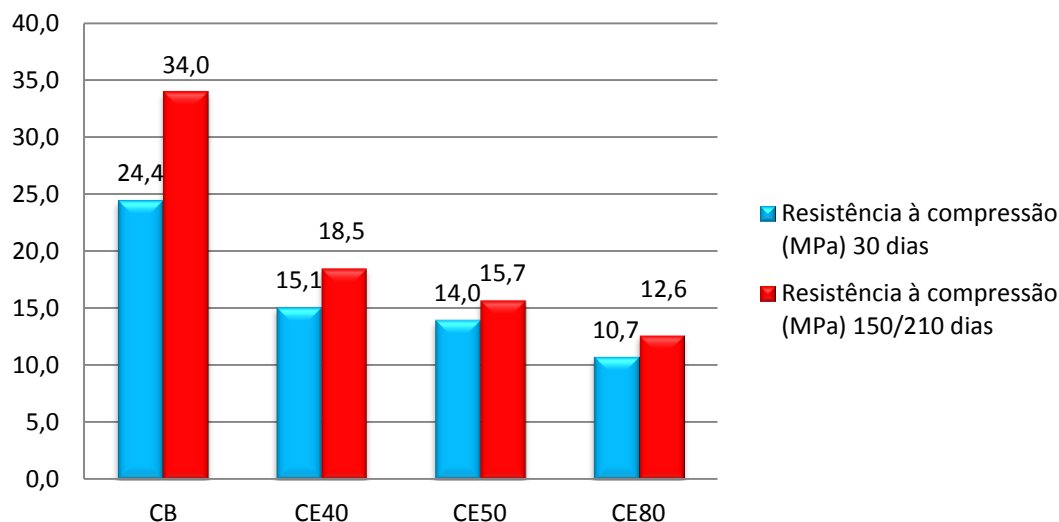


Figura 4.17 – Valores médios do ensaio à compressão das argamassas com EPS, a diferentes idades

Tal como seria de esperar, a resistência à compressão aumenta com a idade nas misturas com EPS [BABU, *et al.*, 2006].

4.4.5 Absorção de água por capilaridade

Com o ensaio de absorção de água por capilaridade é possível medir a quantidade de fluido que penetra o provete de argamassa através de forças capilares pelos seus poros, sendo que quanto maiores os poros capilares, maior a velocidade de absorção do fluido pela argamassa. Verificando-se um

aumento da velocidade de absorção inicial, é de esperar um aumento do diâmetro dos poros, e que argamassas com poros maiores apresentem um maior coeficiente de capilaridade [RATO, 2006].

Quanto maior for o tempo que a argamassa demora a atingir o valor assintótico, menos provável se torna esta de ser alvo de degradação.

Este ensaio foi realizado com água canalizada em vez de água pura (destilada), como é indicado na EN 1015-18, podendo assim os resultados ser influenciados por esse fator quando comparados com outras investigações.

Com este ensaio torna-se possível traçar as curvas de absorção de água por capilaridade, calcular o valor assintótico, que traduz a quantidade máxima de água absorvida por capilaridade, e o coeficiente de capilaridade das argamassas estudadas, que indica a velocidade com que a absorção de água se processa nos instantes iniciais [FARIA, *et al.*, 2007].

As tabelas e figuras que se enunciam seguidamente são referentes às CC.

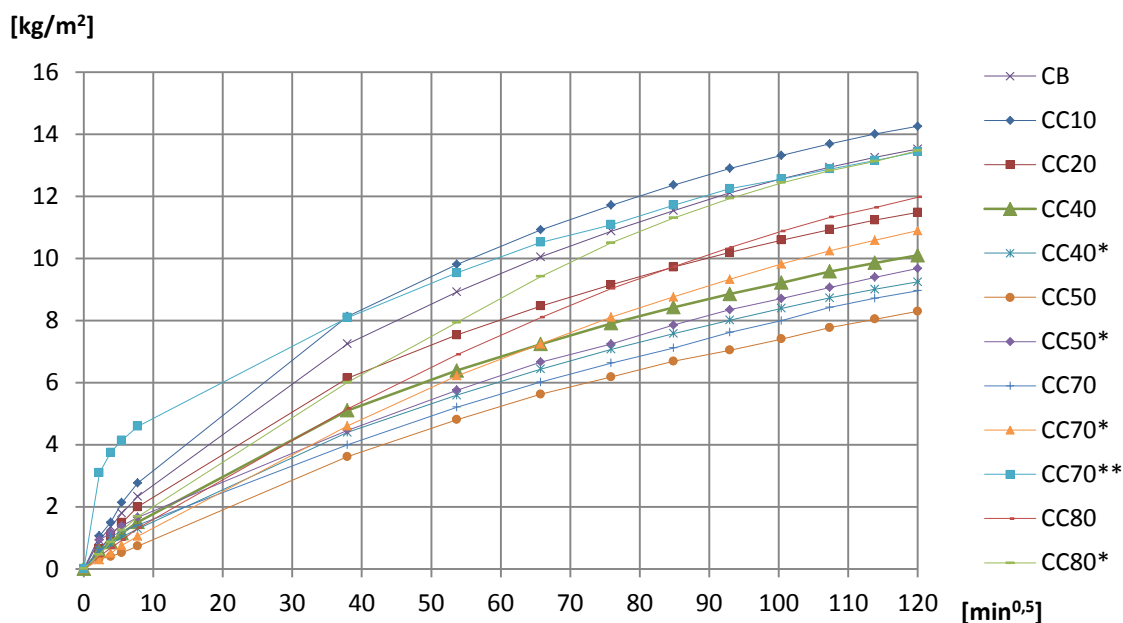


Figura 4.18 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias das argamassas com cortiça

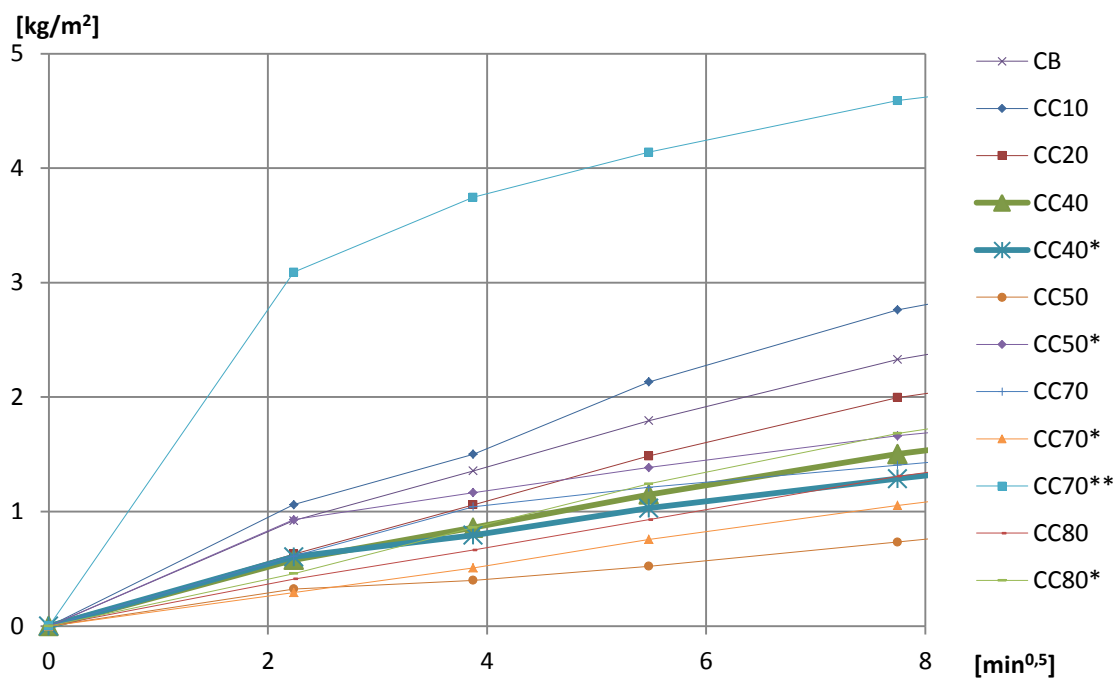


Figura 4.19 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias, pormenor da 1ª hora de ensaio das argamassas com cortiça

Tabela 4.8 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça

Argamassas	Valor Assintótico [kg/m ²]	Coefficiente de Capilaridade [kg/m ² .min. ^{0,5}]
CB	13,68	0,33
CC10	14,46	0,39
CC20	11,66	0,27
CC40	10,29	0,21
CC40*	9,44	0,19
CC50	9,82	0,10
CC50*	11,43	0,25
CC70	10,48	0,22
CC70*	8,22	0,14
CC70**	15,41	0,76
CC80	13,88	0,17
CC80*	15,12	0,23

Pela observação da figura 4.18 e 4.19, verifica-se uma rápida absorção capilar numa fase inicial, visualizando-se de seguida um abrandamento no ritmo de absorção até à fase de estabilização, aproximação do valor

assintótico. A absorção de água numa fase inicial, primeiras 24 horas, é mais significativa, devido ao facto de a água preencher inicialmente os poros de maior dimensão, só depois os de menor dimensão e por último os que só são possíveis de penetrar após os anteriores se encontrarem preenchidos [RATO, 2006].

Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição da absorção de água por capilaridade, com exceção entre as CB-CC10 e CC70*-CC80.

O aumento da relação A/L conduz ao aumento da absorção de água por capilaridade.

Com o aumento do SP tem-se o aumento da absorção, exceto para CC40-CC40* nas quais se verifica a sua diminuição. Possivelmente para as composições em que com o aumento do SP se verifica o aumento da absorção, CC50-CC50* e CC70*-CC70**, a dosagem de SP já é demasiada, influenciando negativamente a argamassa com o aumento do número de poros.

Destaca-se uma maior absorção de água nos instantes iniciais a CC70**, o que estará relacionado com a quantidade de SP presente nesta composição (SP=3%).

Relativamente às CE traçaram-se as curvas de absorção de água por capilaridade e obtiveram-se os valores assintóticos e os coeficientes de capilaridade que se apresentam nas tabelas e figuras 4.20 e 4.21.

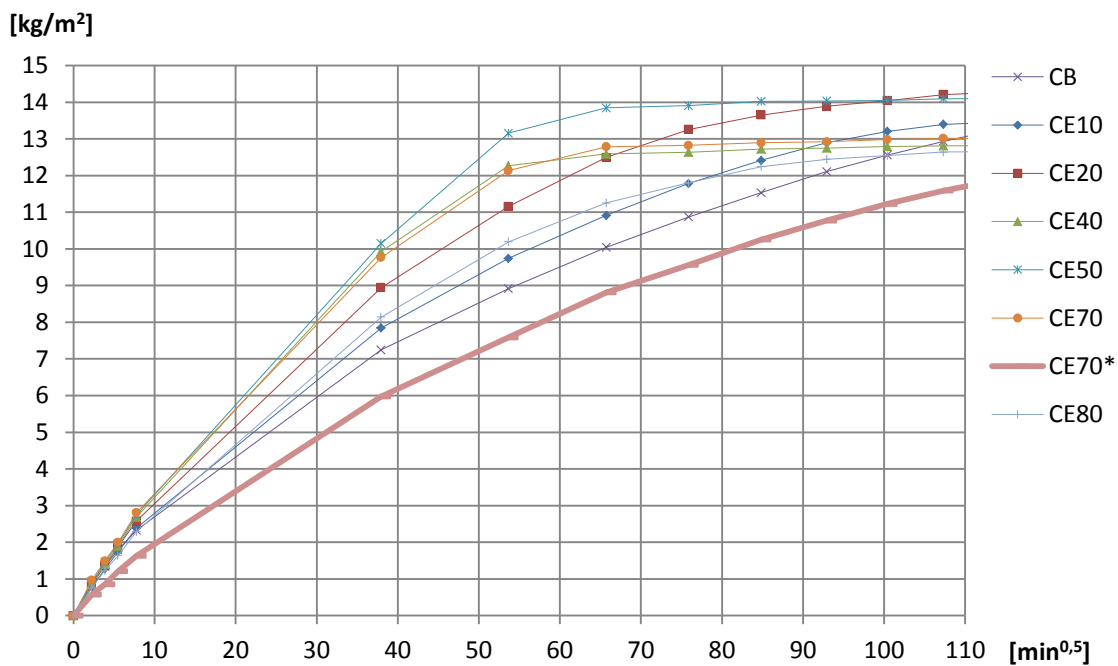


Figura 4.20 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias das argamassas com EPS

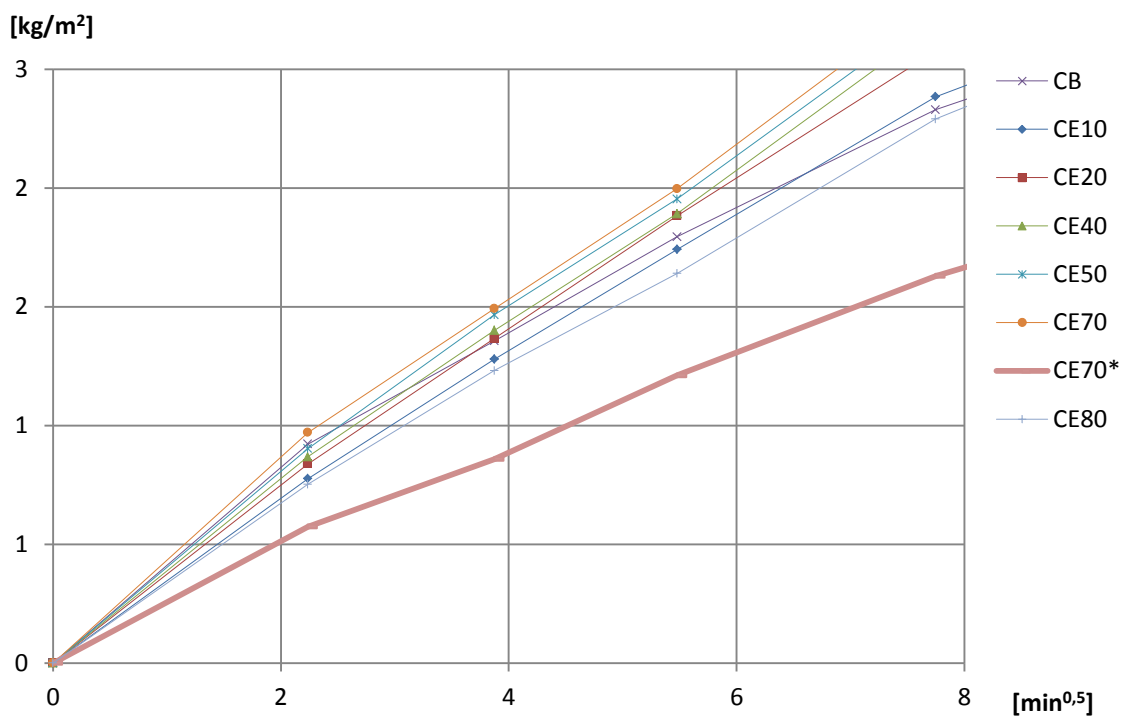


Figura 4.21 – Curva de absorção de água por capilaridade aos 28 dias, pormenor da 1ª hora de ensaio das argamassas com EPS

Tabela 4.9 – Valor assintótico e coeficiente de capilaridade aos 28 dias de idade das argamassas com EPS

Argamassas	Valor Assintótico [kg/m ²]	Coeficiente de Capilaridade [kg/m ² .min. ^{0,5}]
CB	13,68	0,33
CE10	13,67	0,32
CE20	14,46	0,34
CE40	12,82	0,35
CE50	14,10	0,36
CE70	13,01	0,36
CE70*	13,20	0,22
CE80	12,65	0,30

Tal como nas CC, nas CE, figura 4.20 e 4.21, também se verifica uma rápida absorção capilar numa fase inicial, seguindo-se um abrandamento no ritmo de absorção até à fase de estabilização. Esta fase inicial, mais rápida, neste caso observa-se nas primeiras 72 horas, só estabilizando o ritmo a partir deste momento.

Aumentando o volume de EPS é de esperar o aumento da absorção de água por capilaridade [BABU, *et al.*, 2006]. Verifica-se que com o aumento de substituição de areia por EPS existe a tendência de um aumento da absorção de água por capilaridade, verificando-se a diminuição desta absorção entre CE50-CE70. Esta diminuição ocorreu pois possivelmente já havia a necessidade de aumentar o SP para melhorar as características da argamassa. Possivelmente o SP utilizado, face à quantidade de EPS incorporado na argamassa, já não potenciava os benefícios necessários.

Com o aumento da quantidade de SP utilizado verifica-se a diminuição da absorção de água por capilaridade.

As CC entre si apresentam uma maior dispersão de resultados relativamente à água absorvida, face às CE, em que a variação de água absorvida entre composições não é muito variável. Tal acontecimento pode-se verificar nas fases finais em que nas CC a água absorvida varia entre 6 e 14 kg/m² e nas CE varia apenas entre 12 e 14 kg/m².

4.4.6 Secagem

As composições que mostraram melhores resultados no estado fresco e no estado endurecido, após serem alvo do ensaio de absorção de água por capilaridade, foram testadas segundo o ensaio de secagem, já referenciado em 3.4.2.6.

Os valores médios das curvas de secagem dos provetes das argamassas realizadas podem ser observados nas figuras 4.22 a 4.25, apresentando-se na tabela 4.10 os valores referentes ao índice de secagem.

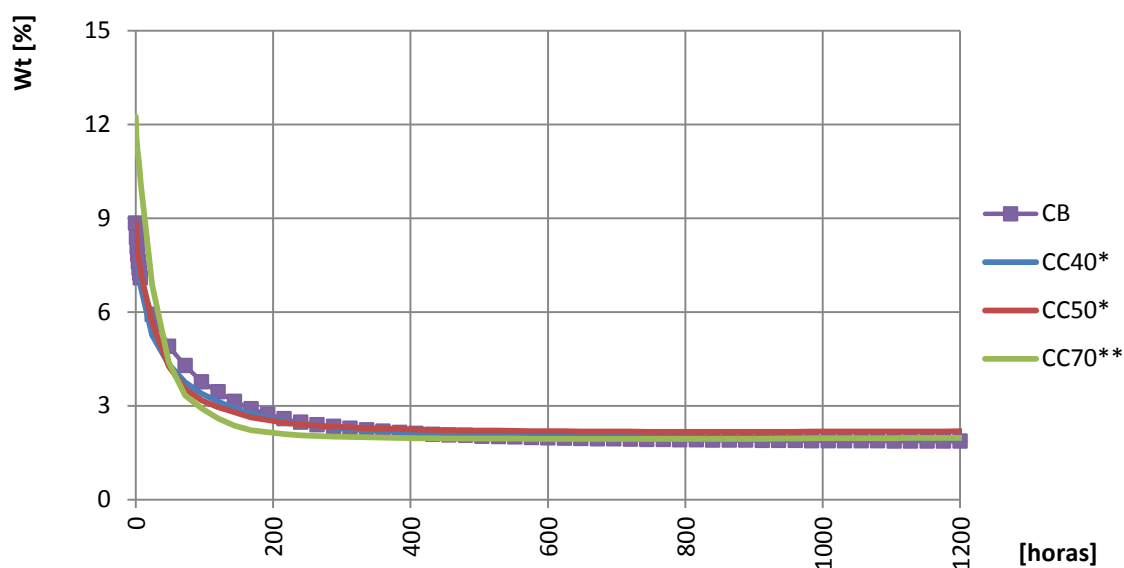


Figura 4.22 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com cortiça

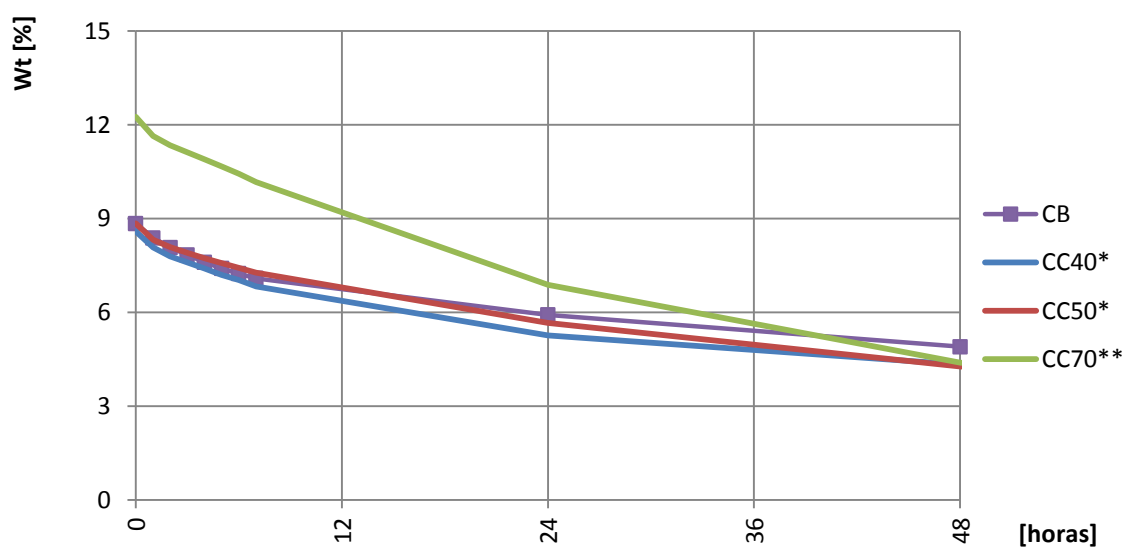


Figura 4.23 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com cortiça, primeiras 48 horas

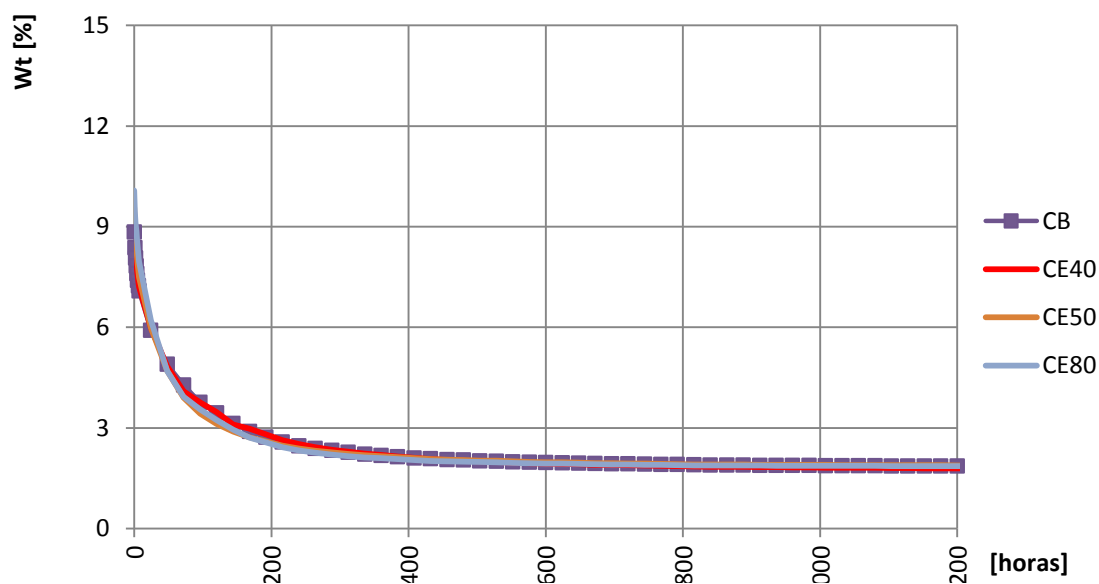


Figura 4.24 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com EPS

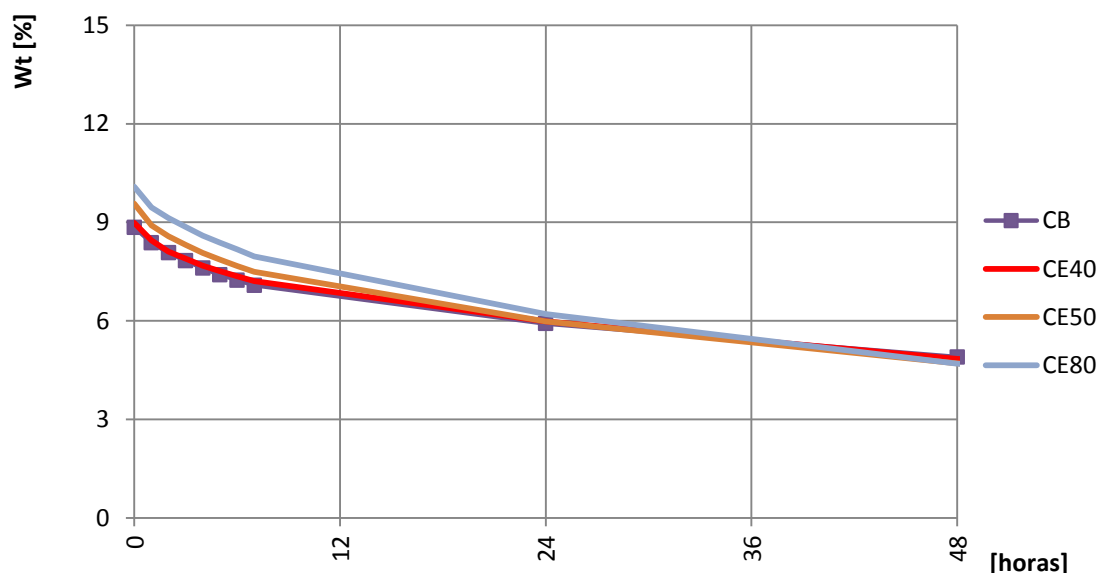


Figura 4.25 – Curvas de secagem da composição de referência e das argamassas com EPS, primeiras 48 horas

Como se pode observar pela figura 4.22 e 4.23, no geral as composições com cortiça, estudadas neste ensaio, face à CB têm um comportamento similar. A exceção é a CC70**, a composição com maior dosagem de SP, que nos instantes iniciais tem uma maior queda no teor de água face às restantes composições, sendo que ao longo do tempo tende a ter um comportamento próximo das restantes composições.

Pela figura 4.24 e 4.25 verifica-se que as composições com EPS têm sempre um comportamento bastante similar. Estas acompanham o movimento da curva de secagem da CB de forma mais similar do que as CC.

Pode também observar-se que, tanto nas CC como nas CE as que têm inicialmente um teor de água maior, ou seja, as que mostram ter uma secagem mais rápida, são as que têm uma maior quantidade de adição.

Tabela 4.10 – Valor do índice de secagem e respetivo desvio padrão das melhores composições

Argamassas	Índice de Secagem
CB	0,26 ± 0,01
CC40*	0,27 ± 0,02
CC50*	0,28 ± 0,03
CC70**	0,18 ± 0,01
CE40	0,25 ± 0,01
CE50	0,24 ± 0,01
CE80	0,23 ± 0,01

Pela tabela 4.10 pode concluir-se que quanto maior a quantidade de adição incorporada nas argamassas, quer seja de granulado de cortiça ou EPS, menor é o índice de secagem, ou seja, mais rapidamente secam. Isto acontece, pois as adições perdem água do seu interior mais rapidamente do que a restante composição da argamassa. Após as adições se encontrarem sem água no seu seio o andamento das curvas de secagem, figuras 4.22 a 4.25, tende a ser similar entre composições, uma vez que apenas resta a secagem da argamassa propriamente dita, sem contar com a adição.

Quanto maior a quantidade de adição nas argamassas, maior é a perda inicial de água. Uma argamassa que seca mais rapidamente em princípio tem uma durabilidade superior a uma argamassa com um tempo de secagem mais prolongado, pelo menos face à ação gelo-degelo.

4.4.7 Porosidade Aberta

A determinação da porosidade foi efetuada conforme já descrito em 3.4.2.7, permitindo assim a caracterização no que diz respeito ao volume de poros nas argamassas.

Apresentam-se na figura 4.26 as percentagens do volume de poros existentes nas argamassas com adição de cortiça em estudo.

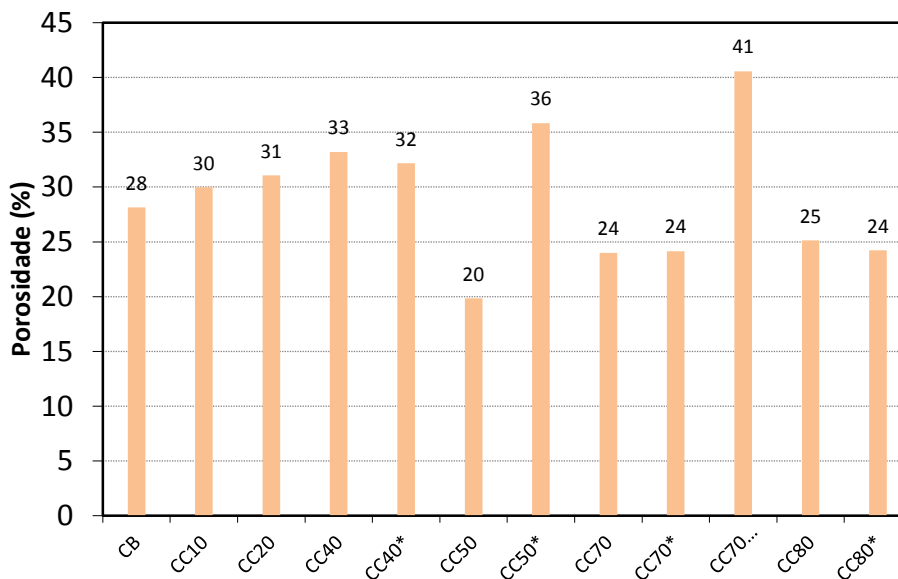


Figura 4.26 – Ensaio de porosidade aos 28 dias das argamassas com cortiça

Por observação da figura verifica-se que com o aumento da substituição da areia por cortiça, dá-se um ligeiro aumento da porosidade, entre composições. Contudo nas composições CC40*-CC50 e CC50*-CC70 verifica-se uma diminuição significativa da porosidade. As composições CC40* (SP=1%) e CC50* (SP=2%) tiveram um aumento do SP face às argamassas anteriores, podendo dever-se a este fator um melhor rearranjo das partículas e a consequente diminuição da porosidade das composições.

Verifica-se também que o aumento do SP, quando existe em quantidades reduzidas, até 1%, diminui ligeiramente a percentagem de poros presentes nas composições, onde o único componente que é aumentado é o SP. Nas composições CC50-CC50* e CC70*-CC70** onde também se aumenta unicamente o SP, verifica-se um aumento significativo da porosidade. Este aumento significativo da porosidade está relacionado com a quantidade de SP, sendo que para quantidades de 2% de SP e acima deste valor, não são evidentes aumentos da porosidade.

O aumento da relação A/L, por si só, não altera significativamente a porosidade das argamassas com cortiça.

Apresentam-se na figura 4.27 as percentagens do volume de poros existentes nas argamassas com adição de EPS em estudo.

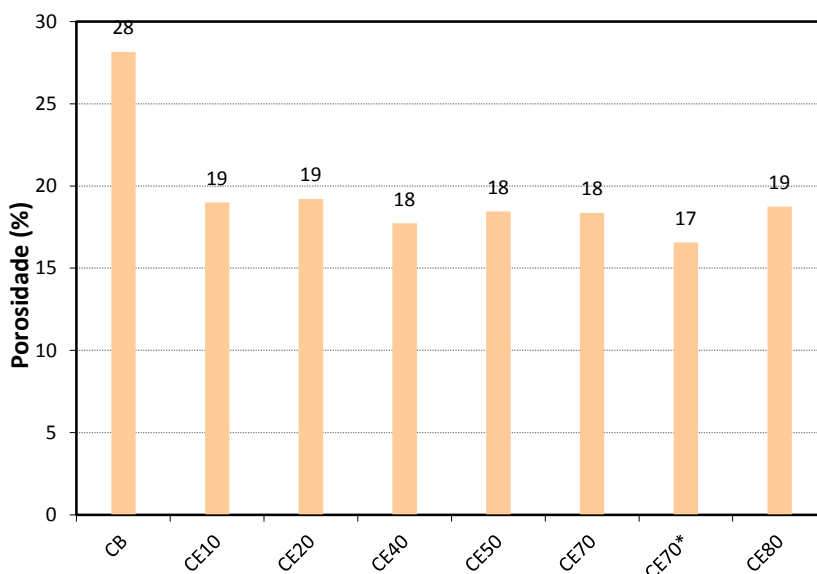


Figura 4.27 – Ensaio de porosidade aos 28 dias das argamassas com EPS

Observa-se uma diminuição significativa da porosidade da CB para a CE10, verificando-se uma variação pouco evidente nas composições que se seguiram com uma maior percentagem de incorporação de EPS.

O aumento do SP, dentro das quantidades em que se procedeu o aumento, de 0,3% para 1%, não conduz a alterações na percentagem de poros.

Sendo que a porosidade é similar com o aumento do SP conclui-se que o EPS se interliga de forma eficiente à estrutura da composição, necessitando do SP apenas para uma melhor trabalhabilidade, não alterando o rearranjo dos constituintes da argamassa.

Por comparação entre as CC e as CE verifica-se que, enquanto nas composições a única diferença é a quantidade de adição, até às CC40 e CE40, as CE apresentam sempre uma porosidade inferior às CC. Este facto está relacionado com a forma, granulometria e porosidade das adições, contribuindo para o rearranjo de todas as partículas da composição.

4.4.8 Massa volúmica real e aparente

Determinou-se a massa volúmica real e aparente de acordo com o descrito em 3.4.2.8, apresentando-se as mesmas nas figuras 4.28 e 4.29, respetivamente para as CC e para as CE.

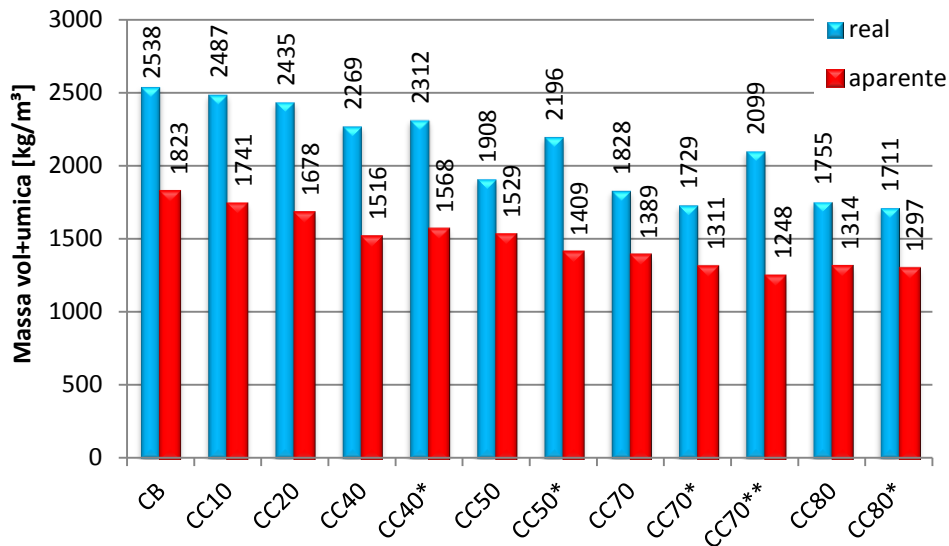


Figura 4.28 – Massa volúmica e aparente das argamassas com cortiça

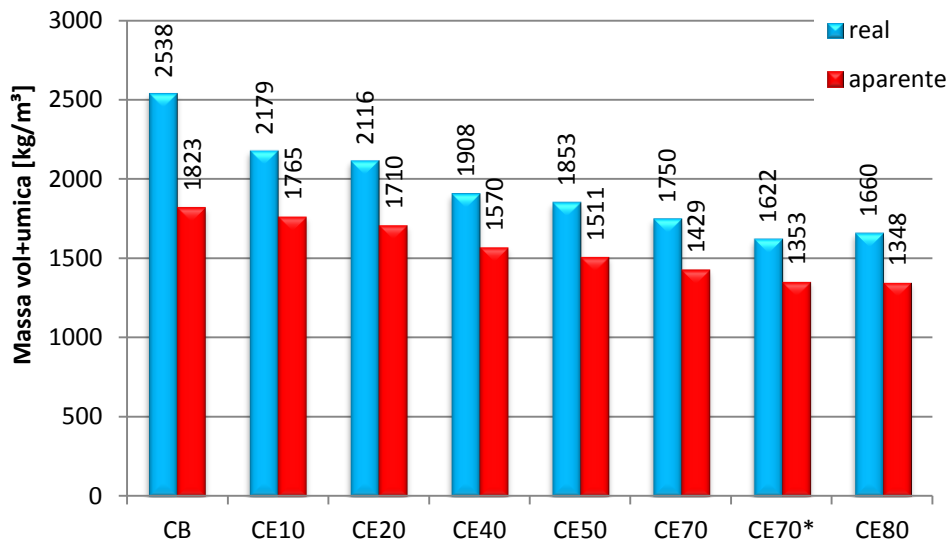


Figura 4.29 – Massa volúmica e aparente das argamassas com EPS

Através das figuras 4.28 e 4.29 é possível verificar que as argamassas com maior quantidade de adição tendem para uma menor massa volúmica. A adição de agregados como o granulado de cortiça e o EPS minimizam claramente a massa volúmica das argamassas, respetivamente em 29% e 26%.

4.4.9 Ensaio de arrancamento

O ensaio de arrancamento foi efetuado apenas para as melhores composições, avaliando a sua resistência ao arrancamento aos 15 e aos 28 dias, tal como demonstrado nas tabelas 4.11 e 4.12, para as CC e para as CE, respetivamente.

Tabela 4.11 – Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa) das argamassas com cortiça

Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa)				
Composição	CB	CC40*	CC50*	CC70**
15 dias	0,51 / B	0,25 / A	0,36 / B	0,13 / A e B
28 dias	0,20 / A	0,10 / B	0,36 / B	0,11 / B
A- Ligação argamassa-suporte; B- Argamassa; C- Suporte				

Tabela 4.12 – Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa) das argamassas com EPS

Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa)				
Composição	CB	CE40	CE50	CE80
15 dias	0,51 / B	0,20 / A	0,17 / A	0,34 / A e B
28 dias	0,20 / A	0,24 / A e B	0,18 / A e B	0,28 / A e B
A- Ligação argamassa-suporte; B- Argamassa; C- Suporte				

Nos ensaios de arrancamento realizados nunca se verificou a rotura pelo suporte, uma vez que o entalhe foi realizado com a argamassa fresca e por isso não ultrapassou o suporte, dando-se a rotura pela argamassa ou pela ligação argamassa-suporte.

Como se pode observar pelas tabelas 4.11 e 4.12 não se verificam alterações significativas entre os 15 e os 28 dias de idade das argamassas ensaiadas ao ensaio de arrancamento. Aos 15 dias de idade as composições ensaiadas apresentam aproximadamente as mesmas resistências que aos 28 dias.

Algumas composições, CB e CC40*, apresentam resultados aos 15 e aos 28 dias bastante diferentes, o que poderá ser devido a um erro de amostragem.

4.4.10 Resultados da porosimetria de mercúrio

O ensaio do porosímetro de mercúrio foi realizado, com já descrito em 3.4.2.10, com o intuito de averiguar quais os diâmetros dos poros mais

representativos em cada argamassa, assim como a sua percentagem. Nas figuras 4.30, 4.31 e 4.32, encontra-se o esquema gráfico dos resultados retirados a partir deste ensaio, aos 30 dias, respetivamente para CB, CC70** e CE80.

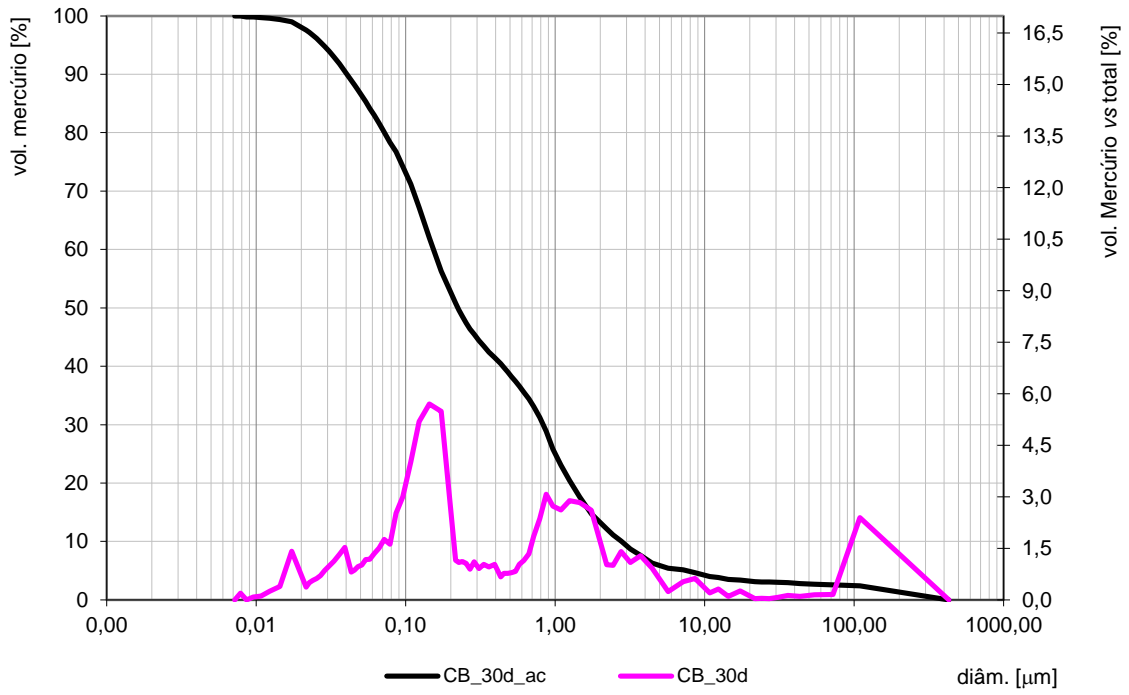


Figura 4.30 – Diâmetro e percentagem de poros, CB

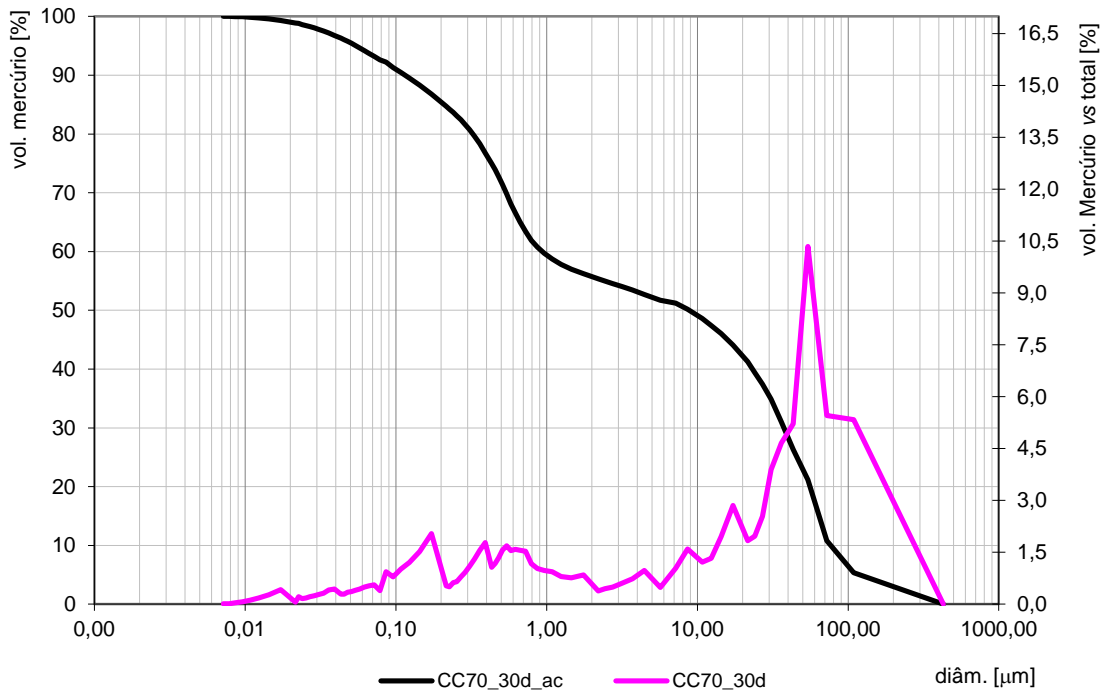


Figura 4.31 – Diâmetro e percentagem de poros, CC70**

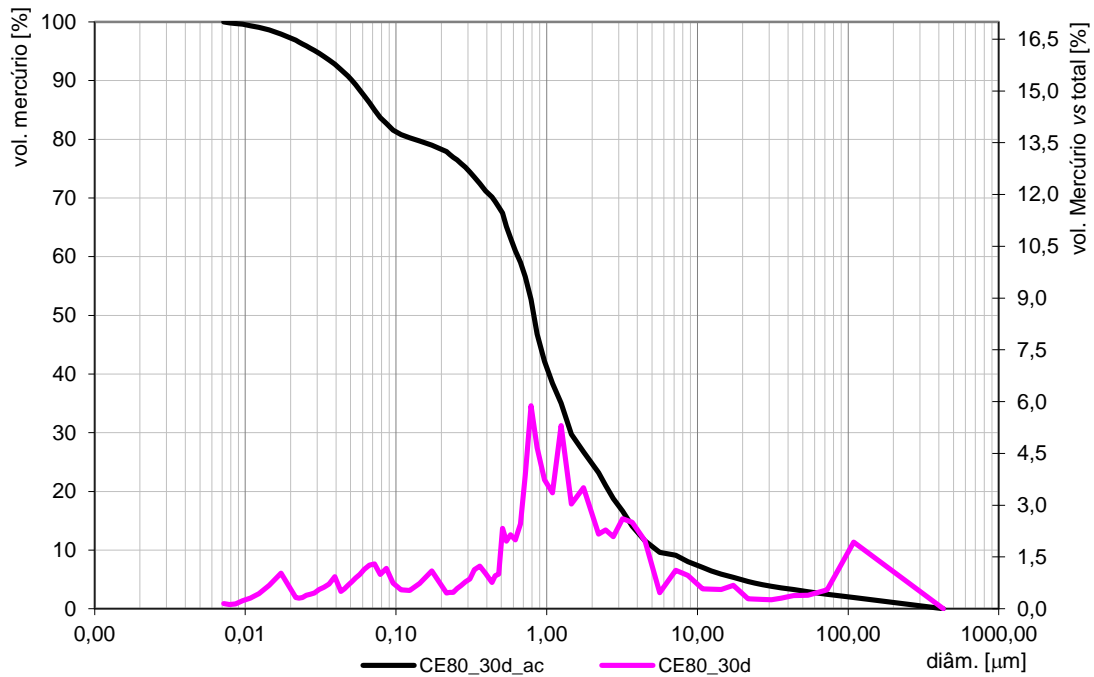


Figura 4.32 – Diâmetro e percentagem de poros, CE80

Comparando as figuras 4.30 a 4.32 é possível perceber através da linha acumulada das composições que a CB é a que tem uma menor quantidade e percentagem de poros, demonstrando um melhor rearranjo das partículas. Segue-se a CE80 com uma quantidade ligeiramente superior de poros e CC70** principalmente com uma quantidade de poros maior numa gama de diâmetros superior.

Pela observação da CB percebe-se que não tem zonas muito acentuadas de poros; no entanto verifica-se que tem pequenos picos em todas as gamas, pequenas, médias e altas. Esta composição tem uma distribuição uniforme no que diz respeito à dimensão de poros.

Verifica-se que CC70** tem uma menor percentagem de poros em gamas pequenas e médias, tendo o seu pico de quantidade de poros nas gamas mais altas, sendo aqui que consegue ter mais poros, acumulados e não acumulados, do que qualquer outra das composições analisadas.

A CE80 tem a sua maior quantidade de poros numa gama de diâmetros média, não sendo tão significativo quanto a CC70**.

4.5 Aplicação em muretes

Com a aplicação das composições nos muretes realizados, foi possível submeter os rebocos de argamassa ao ensaio de ultrassons e ao ensaio de arrancamento, originando os resultados que se apresentam neste subcapítulo.

Realizaram-se dois muretes, em laboratório, sendo aplicadas argamassas de reboco com uma espessura de 4 cm. As argamassas avaliadas em macro-level foram apenas a CC70** e a CE80.

4.5.1 Ensaio de ultrassons

O ensaio de ultrassons em muretes foi realizado de duas em duas semanas por forma a ser possível observar a evolução deste ensaio ao longo do tempo. Com este ensaio é possível verificar a integridade da argamassa de revestimento aplicada. Uma vez que os impulsos ultrassónicos têm dificuldade em propagar-se no ar, caso se desenvolvam fissuras no reboco ao longo do tempo, os impulsos procuram um caminho alternativo para chegar ao recetor, aumentando deste modo o tempo que demoram a chegar ao mesmo.

Como já referido em 3.5.2.1 o ensaio foi realizado de dois modos, o procedimento de ensaio 1, com medições na diagonal, e o procedimento de ensaio 2, com medições em linha reta.

Nas tabelas 4.13 e 4.14 para CC70** e 4.15 e 4.16 para CE80 constam os valores da velocidade aparente de propagação das ondas ultrassónicas registadas pelo método indireto, nomeadamente, as distâncias sondadas, a média das velocidades registadas, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Nas figuras 4.33 e 4.34 para CC70** e nas figuras 4.35 e 4.36 para CE80, é possível visualizar que os valores registados ao longo do tempo têm oscilações, mas contudo mantêm-se sempre na mesma gama de valores, pelo que não se deteta a existência de fissuras no reboco, nem pelos métodos realizados nem visualmente. Observa-se uma tendência para os valores estabilizarem ao longo do tempo, pelo que se pode afirmar que ainda existem alterações na estrutura das argamassas aplicadas.

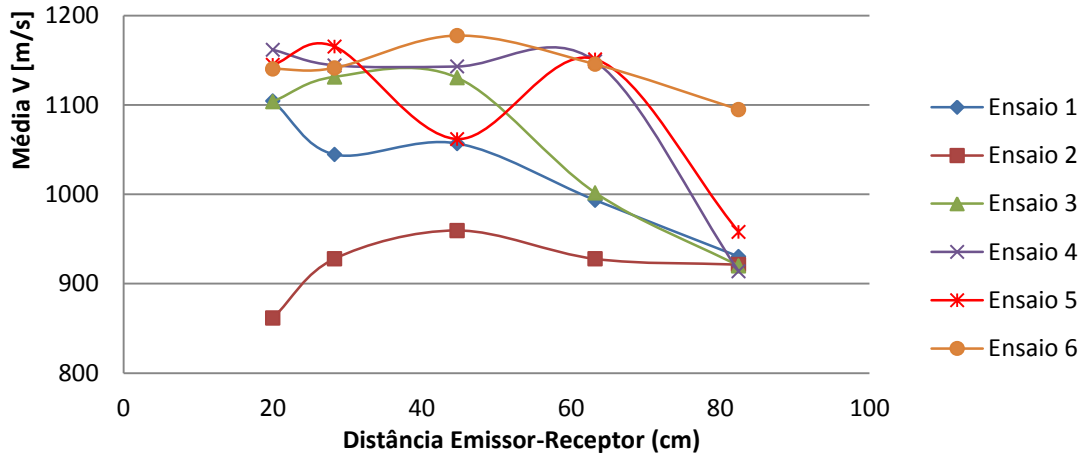


Figura 4.33 – Procedimento de ensaio 1, CC70**

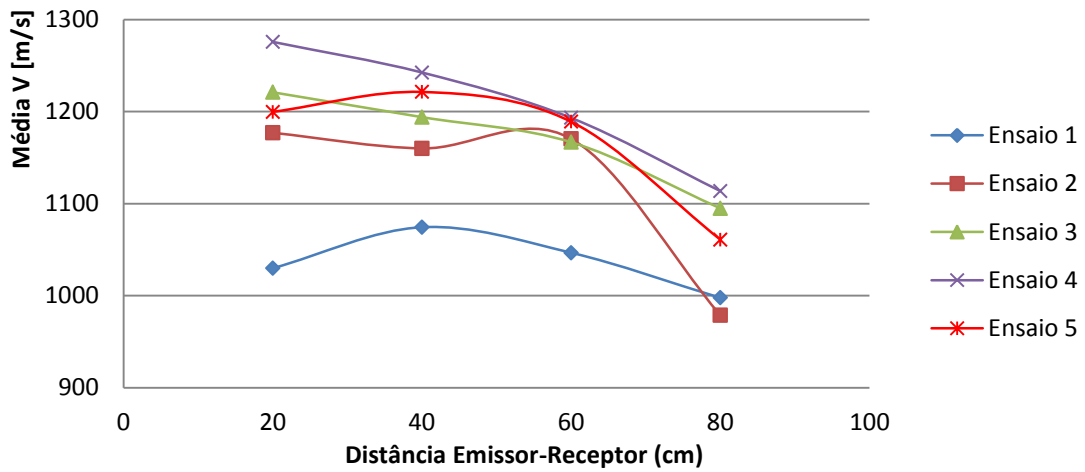


Figura 4.34 – Procedimento de ensaio 2, CC70**

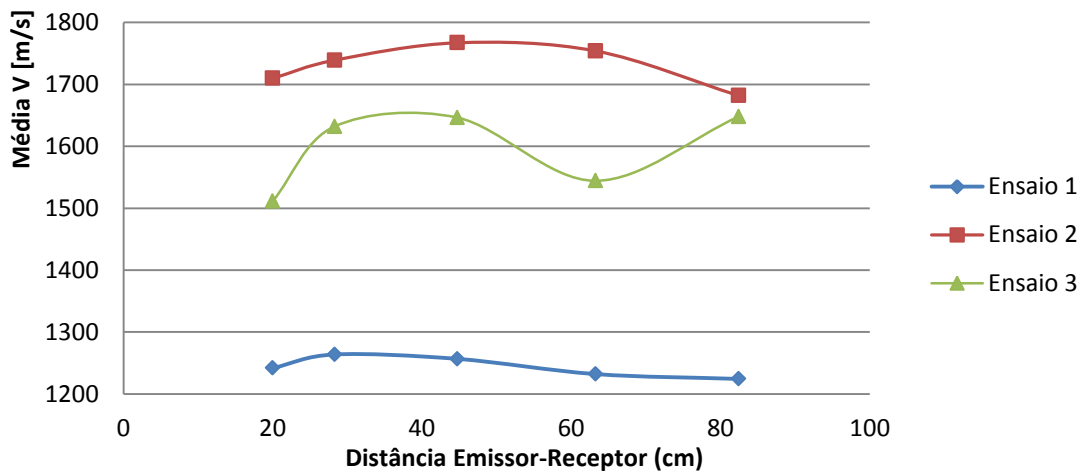


Figura 4.35 – Procedimento de ensaio 1, CE80

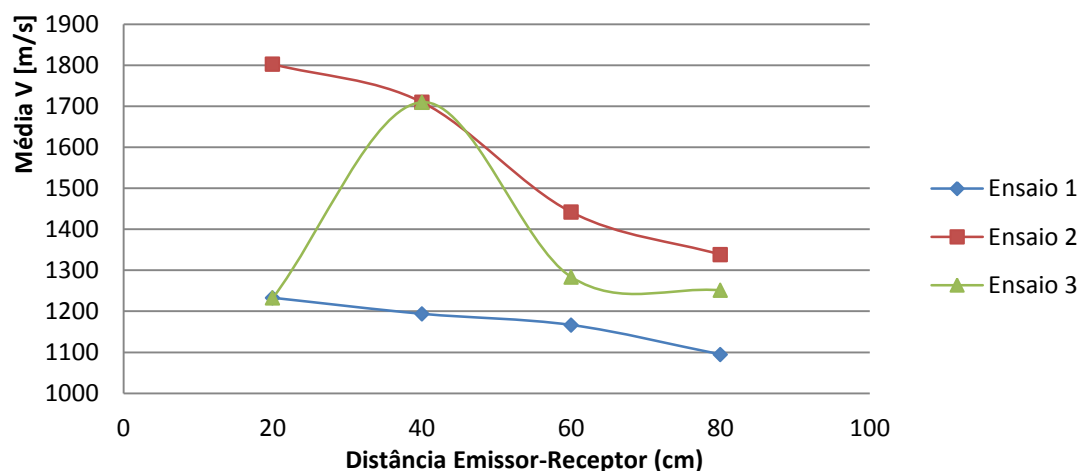


Figura 4.36 – Procedimento de ensaio 2, CE80

Tabela 4.13 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 1, CC70**

		Distância E-R (cm)	V [m/s]	V [Km/s]	Desvio Padrão [m/s]	cov
MURETE CC70**	Valor do primeiro ensaio	20	1104	1,10	35,38	3,20
		28	1045	1,04	91,04	8,72
		45	1057	1,06	67,58	6,39
		63	993	0,99	156,61	15,76
		82	930	0,93	63,02	6,77
	Valores médios dos últimos ensaios (valores estabilizados)	20	1149	1,15	69,14	6,01
		28	1150	1,15	54,47	4,73
		45	1127	1,13	103,08	9,33
		63	1148	1,15	40,29	3,51
		82	989	0,99	21,54	2,25

Tabela 4.14 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 2, CC70**

		Distância E-R (cm)	V [m/s]	V [Km/s]	Desvio Padrão [m/s]	cov
MURETE CC70**	Valor do primeiro ensaio	20	1030	1,03	34,48	3,35
		40	1074	1,07	4,90	0,46
		60	1047	1,05	101,65	9,71
		80	998	1,00	35,35	3,54
	Valores médios dos últimos ensaios (valores estabilizados)	20	1232	1,23	41,04	3,38
		40	1219	1,22	16,33	1,35
		60	1183	1,18	33,85	2,86
		80	1090	1,09	76,83	7,22

Tabela 4.15 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 1, CE80

		Distância E-R (cm)	V [m/s]	V [Km/s]	Desvio Padrão [m/s]	cov
MURETE CE80	Valor do primeiro ensaio	20	1242	1,24	11,78	0,95
		28	1264	1,26	39,26	3,11
		45	1257	1,26	34,59	2,75
		63	1232	1,23	6,52	0,53
		82	1224	1,22	27,50	2,25
	Valores médios dos últimos ensaios (valores estabilizados)	20	1611	1,61	235,68	14,71
		28	1686	1,69	159,25	9,43
		45	1707	1,71	251,14	14,66
		63	1649	1,65	227,08	13,83
		82	1665	1,67	82,17	4,94

Tabela 4.16 – Resumo dos resultados do ensaio de ultrassons, procedimento 1, CE80

		Distância E-R (cm)	V [m/s]	V [Km/s]	Desvio Padrão [m/s]	cov
MURETE CE80	Valor do primeiro ensaio	20	1233	1,23	9,68	0,78
		40	1194	1,19	26,71	2,24
		60	1167	1,17	32,88	2,82
		80	1095	1,09	13,77	1,26
	Valores médios dos últimos ensaios (valores estabilizados)	20	1518	1,52	77,78	5,82
		40	1710	1,71	289,97	16,95
		60	1363	1,36	247,57	18,57
		80	1295	1,29	74,42	5,63

Pelos dados registados no ensaio realizado tem-se que a velocidade média da propagação de ultrassons num murete, pelo método indireto, com CC70** e CE80, é respetivamente de 1099 e de 1448 m/s. Uma vez que quanto maior o módulo de elasticidade dinâmico, menos deformável é a argamassa, demonstra-se mais uma vez que as argamassas com granulado de cortiça são mais deformáveis do que as argamassas com EPS.

Segundo ensaios realizados em muretes com alvenaria de 7 cm de espessura, com um reboco tradicional de cimento de 2 cm de espessura, a velocidade aparente de propagação dos ultrassons ronda os 2550 m/s [GALVÃO, 2009]. Em média os valores registados em ambas as adições encontram-se abaixo de metade deste valor. Sendo que quanto menor a

velocidade de propagação dos ultrassons mais deformável é a argamassa, demonstra-se desta forma que as argamassas produzidas comportam-se melhor à fissuração face a uma argamassa comum de base cimentícia.

4.5.2 Ensaio de arrancamento

Os resultados apresentados na tabela 4.17 são referentes ao ensaio de arrancamento, aos 28 dias após aplicação da argamassa, para ambas as argamassas de revestimento utilizadas.

Não se podem esperar valores similares entre o ensaio de arrancamento realizados nos muretes e o ensaio realizado em alvenaria cerâmica, cujos valores constam do subcapítulo 4.4.9. Neste último foi possível seccionar toda a área ensaiada até ao substrato e no murete o mesmo não foi possível, pelo motivo já mencionado em 3.5.2.2. Devido à diferente profundidade de seccionamento esperasse que a tensão de arrancamento do murete seja superior à realizada na alvenaria cerâmica, estando dependente de uma uniforme profundidade em todo o perímetro da área seccionada. Desta forma a argamassa ensaiada no murete não irá entrar em rotura pela ligação argamassa-suporte ou pelo suporte.

Tabela 4.17 – Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa), muretes CC70 e CE80**

Tensão Média de rotura ao arrancamento (MPa)		
Composição	CC70**	CE80
28 dias	0,33 / B	0,75 / B
A- Ligação argamassa-suporte; B- Argamassa; C- Suporte		

Por comparação ao ensaio realizado em pequena escala, em alvenaria cerâmica, observa-se que as argamassas realizadas no murete têm um ganho de 67% e 63% de resistência ao arrancamento, respetivamente à CC70** e à CE80, devido às tensões laterais exercidas pela argamassa.

4.6 Análise transversal de resultados

Neste subcapítulo analisa-se a relação que existe entre os resultados de diferentes ensaios, assim como se explicam determinados acontecimentos num ensaio, tendo em conta os resultados de outros ensaios realizados.

A análise transversal de resultados permite aprofundar o conhecimento sobre a influência de certas características, das argamassas e das adições, nas restantes características das mesmas.

4.6.1 Ensaio de trabalhabilidade

- CC

O aumento de SP aumenta a trabalhabilidade das argamassas com adição de cortiça. No caso do CC40-CC40* a porosidade e a absorção por capilaridade diminuem. As propriedades do SP reduzem os poros existentes, fortalecendo as ligações entre os constituintes da argamassa, tornando-a mais trabalhável. Na CC50-CC50* e CC70*-CC70** acontece o contrário, tanto a porosidade como a absorção por capilaridade aumentam. A quantidade de SP introduzido nestas composições já passa do ponto ótimo, sendo que este aumento de SP não trás apenas benefícios, começando a afetar, a fragilizar, a estrutura porosa da argamassa.

O aumento da relação A/L aumenta a trabalhabilidade das argamassas com cortiça. Entre as CC70-CC70* e CC80-CC80* verifica-se que a porosidade é sensivelmente idêntica, contudo as relações com maior relação A/L têm uma maior absorção de água, logo apesar da mesma quantidade de espaços vazios, estes são sensivelmente de dimensão superior.

- CE

Nas composições com EPS, com o aumento da quantidade do SP verifica-se a melhoria da trabalhabilidade das argamassas, CE70-CE70*, não havendo qualquer alteração da porosidade, contudo observando-se a diminuição da absorção de água por capilaridade. O SP mantém a quantidade de vazios, supondo-se desta forma que os poros são em maior número mas de menor dimensão.

4.6.2 Condutibilidade térmica

- CC

Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição da condutibilidade térmica. Esta diminuição está relacionada, não só com as próprias características da cortiça mas também, com o aumento da porosidade.

Quanto maior a porosidade e menor a dimensão dos poros, menor é a condutibilidade térmica.

Com o aumento do SP verifica-se o aumento da porosidade, o que conseqüentemente conduz à diminuição da condutibilidade térmica. Esta influência do SP não se verifica em CC40-CC40* devido à pequena dosagem acrescentada.

Com o aumento da relação A/L tem-se a diminuição da condutibilidade térmica, com uma ligeira diminuição da porosidade, sendo que provavelmente a justificação se encontra na diminuição da dimensão dos poros, originando desta forma uma menor condutibilidade térmica.

- CE

Aumentando a quantidade de EPS diminui-se a condutibilidade térmica. Esta diminuição é devida principalmente às características do EPS uma vez que não existe variação da porosidade. Sendo o EPS constituído na sua maioria por ar, vazios, quanto maior a sua quantidade mais espaços vazios existem e conseqüentemente menor é a condutibilidade térmica.

Nas argamassas estudadas o aumento do SP diminui a condutibilidade térmica, verificando-se que não existe alteração na porosidade e que a absorção de água por capilaridade diminui. O SP mantém a quantidade de vazios, supondo-se desta forma que os poros são em maior número mas de menor dimensão o que conseqüentemente conduz à diminuição da condutibilidade térmica.

4.6.3 Módulo de elasticidade dinâmico

- CC

Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição do módulo de elasticidade. O aumento da porosidade aliada às propriedades de deformação da própria adição aumenta a deformabilidade da argamassa, tornando-a mais flexível.

Com o aumento do SP verifica-se a diminuição do módulo de elasticidade. Possivelmente o aumento da capacidade de deformabilidade

deve-se ao fortalecimento das ligações entre o ligante e os restantes constituintes, provocado pelo aumento do SP.

- CE

Aumentando a quantidade de EPS verifica-se a diminuição do módulo de elasticidade. Não se verifica qualquer alteração na porosidade, concluindo assim que uma maior capacidade de deformação antes de atingir a rotura é consequência da quantidade e das propriedades da própria adição.

No que diz respeito à influência do aumento do SP no módulo de elasticidade dinâmico, esta é similar à já referida sobre as composições com cortiça.

4.6.4 Resistência à tração por flexão

- CC

O aumento da quantidade de cortiça diminui a resistência à flexão. Com este aumento verifica-se o aumento da porosidade, exceto nas composições seguidas às que se possibilitou a melhoria da trabalhabilidade, por aumento do SP ou da relação A/L. Nestas composições não se verifica o aumento da porosidade devido a um melhor rearranjo dos constituintes. Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição de absorção de água por capilaridade em todas as composições, exceto de CB-CC10 e de CC70*-CC80. De CB-CC10 com o aumento da quantidade de cortiça tem-se o aumento da porosidade e o aumento da absorção de água por capilaridade, logo com um maior número de poros e de maiores dimensões obtêm-se menores resistências à flexão. De CC10 a CC40 verifica-se o aumento da porosidade com a diminuição da absorção de água por capilaridade, assim é de esperar a existência de mais poros com menores dimensões. Existindo uma maior quantidade de espaços vazios a argamassa tem resistências inferiores, com o aumento da quantidade de cortiça. Para os casos em que com o aumento da quantidade de cortiça se verifica a diminuição da porosidade e da absorção de água por capilaridade, de CC40* a CC70, supõe-se que ocorra a existência de um menor número de espaços vazios, contudo poderão ser de maiores dimensões, diminuindo desta forma a resistência à flexão. Para os casos em que, com o aumento da quantidade de cortiça, se verifica que a porosidade se

mantem e a absorção de água por capilaridade aumenta, de CC70* para CC80, ocorre a existência da mesma percentagem de espaços vazios, contudo de maiores dimensões, o que fragiliza a argamassa diminuindo desta forma a resistência à flexão. As variações referentes à porosidade e à absorção poderão estar relacionadas com as quantidades de SP utilizado. O aumento da porosidade e o aumento da dimensão dos poros são fatores que fragilizam a resistência das argamassas. A diminuição das resistências não está apenas relacionada com a variação da estrutura porosa das argamassas, mas também e principalmente pela substituição de agregados com maior resistência (areia) por agregados menos resistentes (granulado de cortiça).

O aumento da quantidade de SP aumenta a resistência à flexão em CC40-CC40*, mas nas restantes, CC50-CC50* e CC70*-CC70**, não altera. Nas CC50-CC50* e CC70*-CC70** o aumento do SP aumenta a porosidade e aumenta a absorção de água por capilaridade. Deste modo supõe-se que a quantidade de poros é maior, mas com uma estrutura porosa similar à anterior uma vez que a velocidade de absorção de água é sempre similar entre composições. Apesar de uma maior quantidade de poros a influência do SP fortalece as ligações na estrutura da argamassa mantendo a resistência à flexão. Nas composições CC40-CC40* com o aumento do SP a porosidade quase não modifica e a absorção de água por capilaridade diminui, logo diminui a dimensão dos poros.

O aumento da relação A/L diminui ligeiramente a resistência à flexão não se verificando qualquer alteração da porosidade. No caso de CC80-CC80* a única diferença entre ambos é uma maior absorção de água por parte de CC80* evidenciando deste modo que existe uma variação na estrutura porosa da argamassa. Contudo esta variação não é suficiente para alterar a resistência à flexão.

- CE

O aumento da quantidade de EPS diminui a resistência à flexão. Com a adição de 10% de EPS verifica-se a diminuição da porosidade, sendo que com os seguintes aumentos da adição não se verifica qualquer alteração significativa da porosidade. Com o aumento da quantidade de EPS, verifica-se

o aumento da absorção de água por capilaridade, exceto nas CE50-CE70. Uma vez que o coeficiente de capilaridade de CE50 é superior ao de CE70 espera-se que o primeiro tenha poros de maior dimensão, justificando assim a diminuição da absorção de água por capilaridade [RATO, 2006].

Tal como já referido nas CC, também nas CE o aumento do SP aumenta a resistência à flexão. Este aumento de resistência é proporcionado pela diminuição do diâmetro dos poros, que se verifica numa diminuição da absorção de água por capilaridade, provocado por um rearranjo das partículas e pelo fortalecimento das ligações entre o ligante e os agregados.

4.6.5 Resistência à compressão

- CC

O aumento da quantidade de cortiça, de um modo geral, diminui a resistência à compressão. Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se o aumento da porosidade de CB a CC40 e o contrário em CC40*-CC50 e CC50*-CC70. Com o aumento da quantidade de cortiça observa-se a diminuição de absorção de água por capilaridade em todas as composições, exceto em CB-CC10 e CC70*-CC80. De CC10 a CC40 o aumento da porosidade com a diminuição da absorção de água por capilaridade, demonstra a existência de mais poros e com menores dimensões. Existindo uma maior quantidade de espaços vazios a argamassa tem resistências inferiores, com o aumento da quantidade de cortiça. Para os casos em que com o aumento da quantidade de cortiça se verifica a diminuição da porosidade e da absorção de água por capilaridade, CC40* a CC70, ocorre a existência de um menor número de espaços vazios, contudo poderão ser de maiores dimensões, o que fragiliza a argamassa diminuindo desta forma a resistência à compressão. As variações referentes à porosidade e à absorção poderão estar relacionadas com a quantidade de SP utilizado.

O aumento da quantidade de SP aumenta a resistência à compressão, a porosidade e a absorção de água por capilaridade. Logo, a quantidade de poros é maior e de iguais dimensões uma vez que a velocidade de absorção de água é sempre similar entre composições. Apesar de uma maior quantidade de poros a influência do SP aumenta a resistência à compressão. O SP reage com

o ligante criando ligações entre as partículas, aumentando o comportamento mecânico.

O aumento da relação A/L diminui a resistência à compressão, não se verificando qualquer alteração da porosidade e o aumento da absorção de água por capilaridade. Possivelmente verifica-se um ligeiro aumento do diâmetro dos poros existentes, sendo estes em menor número. Tal como já explicado em 4.6.4, é evidente que existe uma variação da estrutura porosa de CC80-CC80*, contudo apesar de esta variação não ter afetado a resistência à flexão, influencia na resistência à compressão, diminuindo-a.

- CE

O aumento da quantidade de EPS e o aumento de SP têm a mesma influência que na resistência à flexão, já explicado em 4.6.4.

4.6.6 Absorção de água por capilaridade

- CC

Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição de absorção de água por capilaridade em todas as composições, exceto de CB-CC10 e CC70*-CC80. Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se um ligeiro aumento da porosidade, exceto de CC40*-CC50 e CC50*-CC70 em que a porosidade diminui e de CC10-CC40 em que esta se mantém. De CC10-CC40 diminui a absorção e mantém-se a porosidade logo existe a mesma percentagem de poros mas de menor dimensão e por esse motivo a absorção é mais lenta. Em CB-CC10 e CC70*-CC80 verifica-se o aumento da absorção de água por capilaridade sem alteração da porosidade, logo os poros das composições com mais cortiça são sensivelmente maiores. Para CC40*-CC50 e CC50*-CC70 com o aumento da quantidade de cortiça tem-se a diminuição da absorção e da porosidade, logo sendo a absorção ao longo do tempo similar, admite-se que tem menos poros e a dimensão destes não se altera ou diminui ligeiramente.

Com o aumento do SP verifica-se o aumento de absorção de água por capilaridade e da porosidade em todas as composições, exceto de CC40-CC40*, sendo nesta que se efetua o primeiro aumento do SP. Para CC40-

CC40* verifica-se a diminuição da absorção de água, sendo a porosidade bastante similar, quase sem variação. CC70*-CC70** tem um aumento significativo da absorção de água por capilaridade, principalmente na fase inicial (SP=3%). Nesta composição com o aumento do SP tem-se o aumento da absorção e da porosidade, sendo este aumento provocado por uma maior quantidade de poros de maiores dimensões. Isto acontece porque a quantidade de SP utilizado já ultrapassou o ponto ótimo, não trazendo tantos benefícios aquando a utilização de percentagens inferiores.

Com o aumento da relação A/L verifica-se o aumento de absorção de água por capilaridade em todas as composições, não se verificando alterações na porosidade. Deste modo conclui-se que o aumento da relação A/L proporciona um ligeiro aumento do diâmetro dos poros, mantendo a percentagem dos mesmos.

- CE

Com o aumento da quantidade de EPS verifica-se o aumento da absorção de água por capilaridade em todas as composições, exceto CE50-CE70. Sendo que a porosidade não se altera o aumento da absorção deve-se maioritariamente às características e quantidades do próprio EPS incorporado. A absorção de água por capilaridade diminui nas CE50-CE70, sendo entre estas composições que ocorreu a maior adição de EPS para SP=0,3%. A quantidade de SP já não era suficiente para a quantidade de EPS presente na CE70, sendo esta a composição menos trabalhável. Supõem-se que a diminuição da absorção de água deve-se à diminuição do diâmetro dos poros, justificado por um decréscimo do coeficiente de capilaridade.

Com o aumento do SP, CE70-CE70* verifica-se a diminuição da absorção de água por capilaridade, não se verificando alterações na porosidade. Assim presume-se que com o aumento do SP a diminuição de água absorvida deve-se aos poros serem em maior número mas de menor dimensão.

4.6.7 Porosidade Aberta

- CC

Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se um ligeiro aumento da porosidade, exceto de CC40*-CC50, CC50*-CC70 em que esta diminui. Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição de absorção de água por capilaridade em todas as composições, exceto de CB-CC10 e CC70*-CC80, em que esta aumenta. De CC10-CC40 diminui a absorção e mantem-se a porosidade, logo existe a mesma percentagem de poros mas de menor dimensão e por esse motivo a absorção é mais lenta. De CB-CC10 e CC70*-CC80 verifica-se o aumento da absorção de água por capilaridade com um ligeiro aumento da porosidade, logo os poros das composições com mais cortiça são sensivelmente maiores.

Com o aumento do SP verifica-se o aumento da porosidade, exceto em CC40-CC40* onde não existe alteração da porosidade. Entre CC70*-CC70** dá-se um aumento significativo da absorção de água por capilaridade, principalmente na fase inicial (SP=3%). Com o aumento do SP tem-se o aumento da absorção de água por capilaridade e da porosidade, sendo este aumento provocado por um maior número de poros nas composições ou por estes serem de maiores dimensões. Em CC40-CC40* com o aumento de SP verifica-se a diminuição da absorção e não se verificam alterações na porosidade, logo tem-se a mesma percentagem de poros em CC40* mas de menor dimensão. Para aumentos de SP acima de CC40-CC40* (SP=1%) verifica-se que o SP já não trás benefícios no que diz respeito à porosidade, aumentando-a.

Com o aumento da relação A/L não se verificam alterações na porosidade das argamassas, verificando-se o aumento de absorção de água por capilaridade. Aumentando a absorção e não alterando a porosidade, conclui-se que o aumento da relação A/L proporciona um ligeiro aumento do diâmetro dos poros, mantendo a percentagem dos mesmos.

- CE

A porosidade não se altera seja entre adições de EPS ou com o aumento do SP, exceto na primeira introdução CB-CE10 em que esta diminui.

Deste modo verifica-se que existe uma boa ligação entre todos os constituintes da argamassa, que o EPS se interliga de forma eficiente e similar, entre composições, com o ligante.

4.6.8 Resultados da porosimetria de mercúrio

- CC

Através deste ensaio é possível constatar, como esperado, pelos restantes ensaios já mencionados, que a CC70** tem uma grande quantidade de poros de maiores dimensões. Este mesmo aspeto foi especulado, através de outros ensaios realizados, sendo possível com este ensaio perceber a sua estrutura porosa.

- CE

Verificando-se que a porosidade aberta praticamente não se altera presume-se que a linha referente à percentagem de poros acumulados de CE80 seja sempre bastante similar entre composições. Devido às variações na absorção de água por capilaridade existem variações nos diâmetros dos poros, contudo estas deverão ser ligeiras.

4.6.9 E/Resistência à flexão

- CC

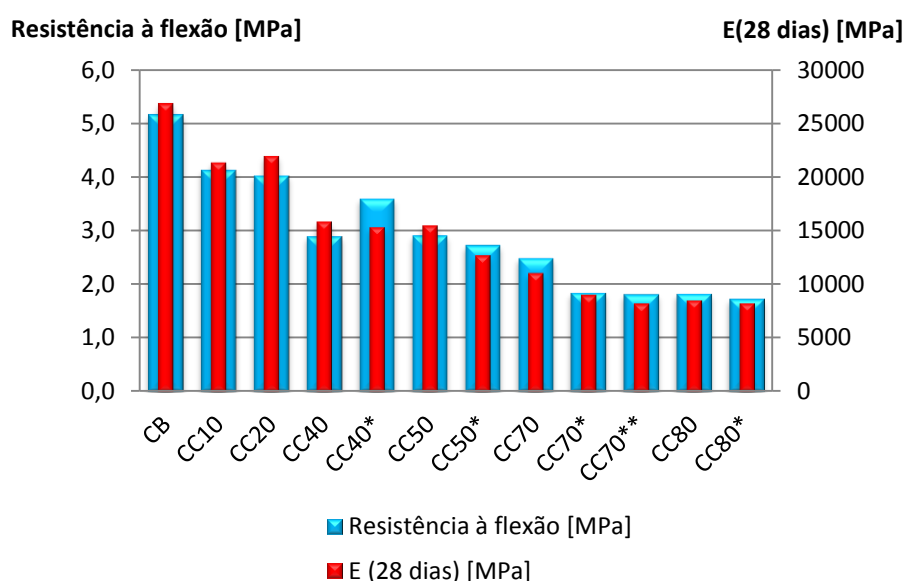


Figura 4.37 – Módulo de elasticidade dinâmico/resistência à tração por flexão aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça

Tanto a resistência à flexão como o módulo de elasticidade dinâmico são características de grande importância nas argamassas. Pretendem-se argamassas com boas resistências à tração por forma a resistir às forças implícitas aos paramentos das habitações e por outro lado com baixos valores de E para uma maior deformabilidade da argamassa de revestimento, evitando deste modo o aparecimento de fissuras.

Verifica-se que a adição de cortiça traduz um decréscimo tanto na resistência à tração por flexão em três pontos como no módulo de elasticidade dinâmico, sendo esta alteração negativa na primeira e positiva na segunda. Assim, há que ter em atenção a quantidade de adição de cortiça introduzida pois beneficia umas características em detrimento de outras.

- CE

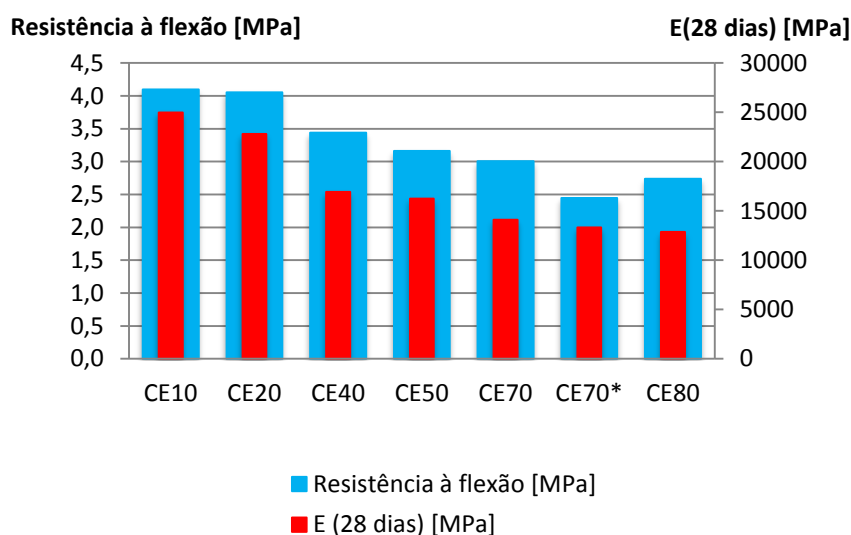


Figura 4.38 – Módulo de elasticidade dinâmico/resistência à tração por flexão aos 28 dias de idade das argamassas com EPS

Da mesma forma que com as CC verifica-se que a adição de EPS também reduz ambas as características, trazendo melhorias ao nível da deformação e reduzindo a resistência à tração por flexão.

4.6.10 Resistência à flexão/Resistência à compressão e quociente entre ambos

- CC

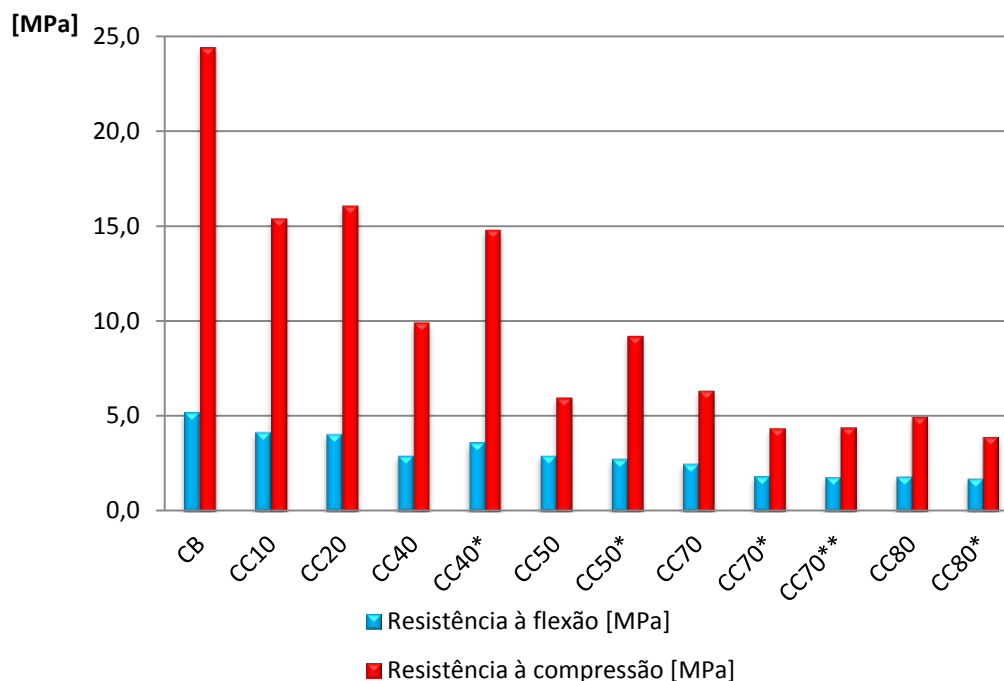


Figura 4.39 – Resistência à tração/resistência à compressão das argamassas com cortiça

Pela observação da figura 4.39 verifica-se que a influência da adição da cortiça é similar em ambas as resistências, reduzindo as mesmas, sendo que para maiores resistências à tração por flexão têm-se maiores resistências à compressão.

Tabela 4.18 – Razão entre resistência à flexão e resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com cortiça

Razão entre resistência à flexão e resistência à compressão aos 28 dias, CC											
CB	CC10	CC20	CC40	CC40*	CC50	CC50*	CC70	CC70*	CC70**	CC80	CC80*
0,21	0,27	0,25	0,29	0,24	0,49	0,30	0,39	0,42	0,41	0,37	0,44

Um quociente mais elevado possivelmente expressa uma maior capacidade de deformação das argamassas. São preferíveis argamassas mais deformáveis para serem aplicadas como argamassas de revestimentos, pois permitem otimizar as resistências às tensões de tração sem transmitir esforços muito elevados aos suportes [FARIA, 2004]. Como se pode constatar, por este critério, argamassas com uma maior quantidade de cortiça são mais

deformáveis, pois têm um quociente maior entre a resistência à flexão e à compressão.

- CE

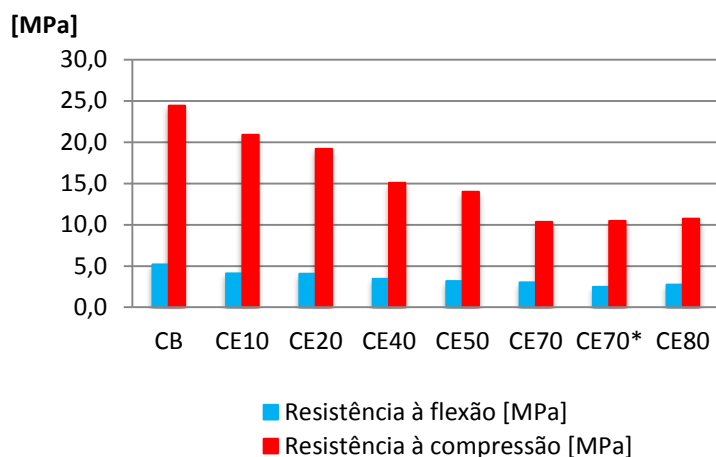


Figura 4.40 – Resistência à tração/resistência à compressão das argamassas com EPS

Tal como nas CC verifica-se que nas CE o aumento da quantidade de adição diminui ambas as resistências.

Tabela 4.19 – Quociente entre resistência à flexão e resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com EPS

Quociente entre resistência à flexão e resistência à compressão aos 28 dias, CE							
CB	CE10	CE20	CE40	CE50	CE70	CE70*	CE80
0,21	0,20	0,21	0,23	0,23	0,29	0,23	0,26

Comparando o coeficiente entre as CC e as CE verifica-se que as CC obtêm valores mais elevados, logo são argamassas mais deformáveis. O que foi possível observar através do ensaio de compressão em que nas argamassas com quantidades de cortiça acima dos 50% se observava visualmente a diminuição da altura do provete antes da rotura.

4.6.11 Pab/Resistência à compressão

- CC

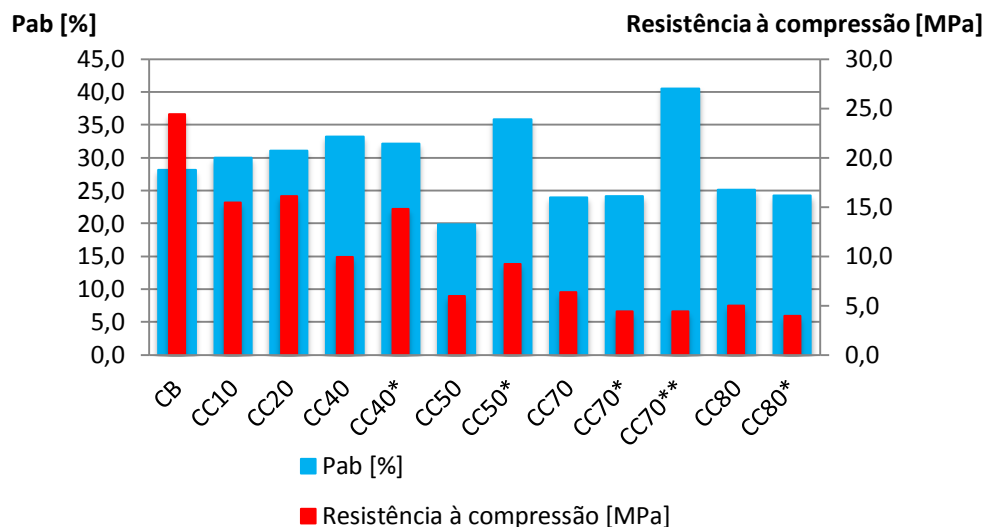


Figura 4.41 – Probabilidade aberta/resistência à compressão das argamassas com cortiça

Seria de esperar que argamassas com uma maior porosidade aberta consequentemente, obtivessem menores resistências à compressão, devido a argamassas mais porosas terem, por norma, menor compactidade e assim serem menos resistentes à compressão.

Pela observação da figura 4.41 verifica-se que a tendência esperada não se verifica. O decréscimo da resistência com o aumento da porosidade não é linear porque não está presente apenas o simples aumento da adição de cortiça mas também a sua estrutura porosa, a variabilidade da relação A/L, e do SP que alteram as propriedades em análise.

- CE

Pela observação da figura 4.42 constata-se que apesar da porosidade aberta se manter constante a resistência à compressão tende a diminuir consoante o aumento da quantidade de EPS adicionado. Este acontecimento é expectável uma vez que o EPS é um material com uma resistência inferior à areia, a qual está a ser substituída pelo mesmo.

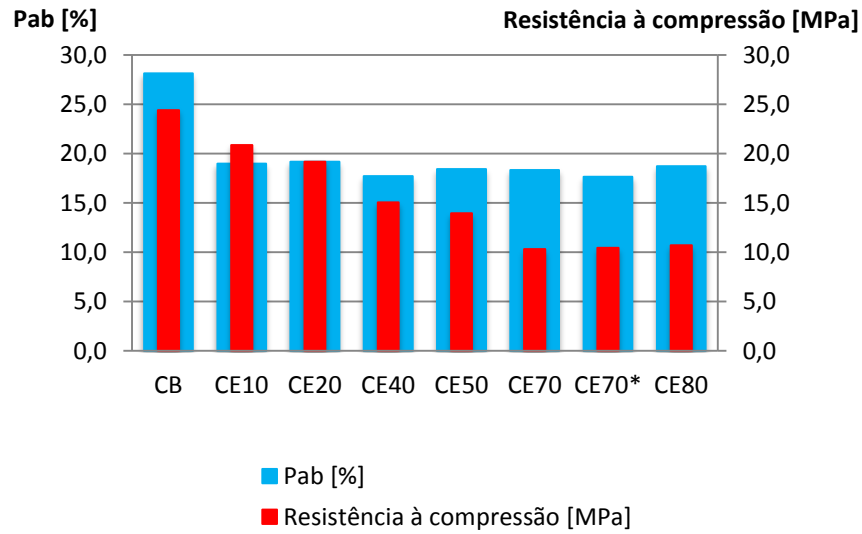


Figura 4.42 – Probabilidade aberta/resistência à compressão das argamassas com EPS

4.6.12 Pab/Massa volúmica

- CC

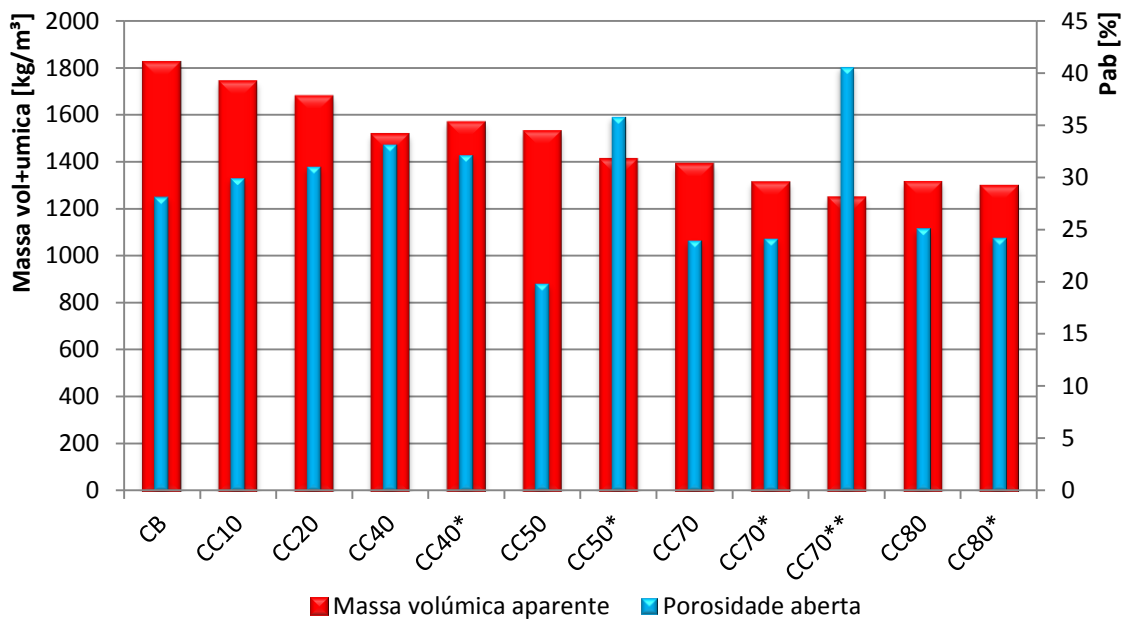


Figura 4.43 – Massa volúmica e porosidade aberta das argamassas aos 28 dias de idade das argamassas com cortiça

Pode-se constatar que o aumento da quantidade de cortiça nas argamassas até 40% de adição têm tendência a formar argamassas menos compactas, uma vez que estas apesar de diminuírem a sua massa volúmica, devido às propriedades da adição, aumentam a sua porosidade. Após as

percentagens de 40%, com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição da porosidade aberta, devido à influência do SP no rearranjo dos agregados, e a diminuição da massa volúmica, tornando as argamassas mais compactas.

Com o aumento do SP verifica-se o aumento da porosidade aberta e a diminuição da massa volúmica, originando argamassas menos compactas, exceto nas CC40-CC40*. Entre estas composições a massa volúmica aumenta e a porosidade diminui, logo a CC40* é mais compacta do que a CC40.

O aumento da relação A/L diminui ligeiramente a massa volúmica das argamassas não alterando significativamente a porosidade, tornando deste modo as argamassas menos compactas.

- CE

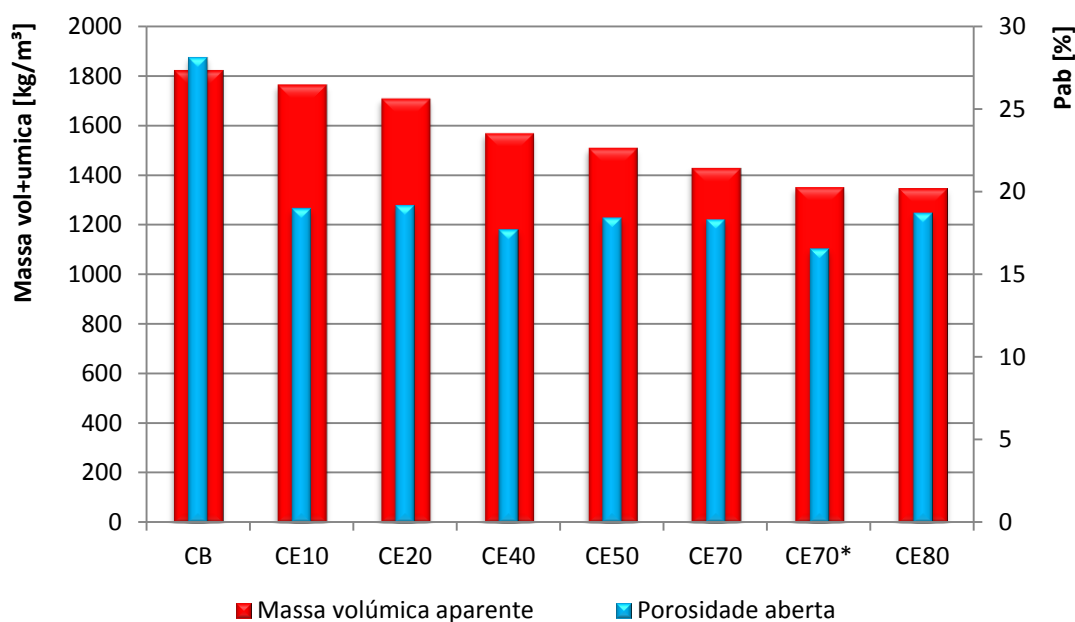


Figura 4.44 – Massa volúmica e porosidade aberta das argamassas aos 28 dias de idade das argamassas com EPS

Com o aumento da quantidade de EPS as argamassas tendem a tornar-se argamassas menos compactas, pois diminuem a sua massa volúmica, devido às propriedades da adição, não alterando significativamente a sua porosidade. A exceção é de CE70*-CE80 em que a massa volúmica não se altera e a porosidade aumenta ligeiramente, sendo também deste modo CE80 menos compacta.

Com o aumento do SP verifica-se a diminuição da massa volúmica e uma ligeira diminuição da porosidade, originando também argamassas menos compactas.

As argamassas com EPS são mais compactas do que as argamassas com cortiça, pois apresentam massas volúmicas na mesma ordem de grandeza mas têm uma porosidade aberta claramente inferior.

4.6.13 I.S./ Coef. Capilaridade

- CC

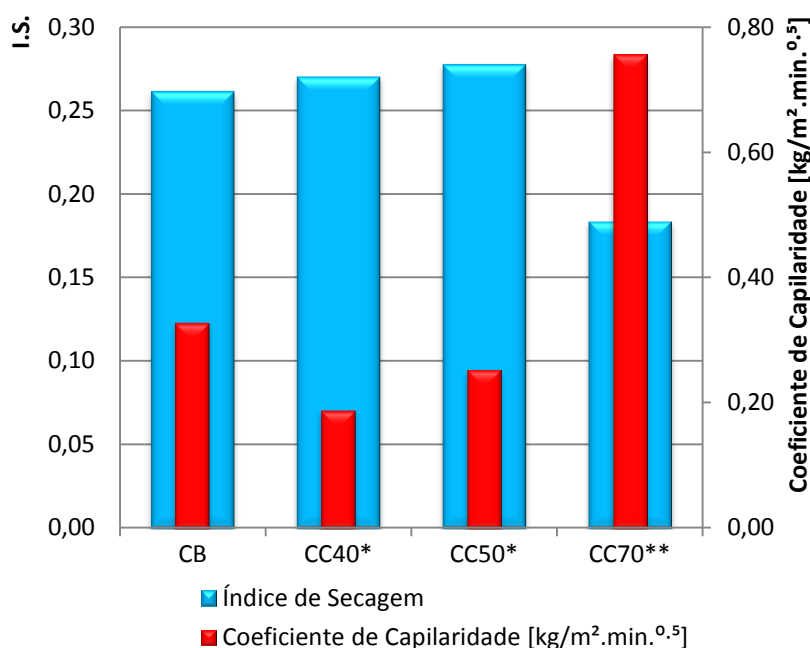


Figura 4.45 – Índice de secagem/coeficiente de capilaridade das argamassas com cortiça

Pretendem-se argamassas com um baixo coeficiente de capilaridade, pois têm uma absorção de água mais lenta e com um baixo índice de secagem pois possibilitam uma secagem mais rápida.

Pela observação da figura 4.45 verifica-se que com o aumento da quantidade de cortiça consegue-se a redução do C.C., contudo o aumento da quantidade de SP tem tendência a aumentar o mesmo. O I.S. diminui face à CB, concluindo que adição de cortiça trás vantagens quanto à rapidez de secagem das argamassas.

- CE

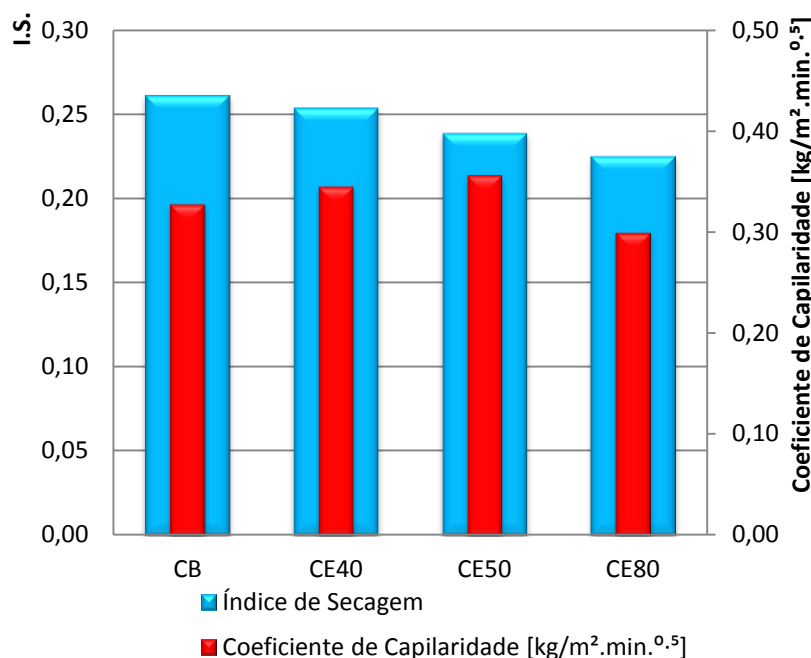


Figura 4.46 – Índice de secagem/coeficiente de capilaridade das argamassas com EPS

Quanto à adição de EPS, pela figura 4.46, verifica-se uma ligeira diminuição do I.S. e que o C.C. tem valores próximos entre composições, sendo que na composição com 80% de EPS é inferior ao da CB, o que demonstra uma melhoria, tanto numa absorção de água por capilaridade mais lenta, como numa secagem mais rápida.

As composições com cortiça mostram um comportamento próximo das composições com EPS, no que diz respeito ao I.S., contudo verifica-se um melhor controlo das composições com EPS relativamente ao C.C. uma vez que têm uma menor quantidade de SP introduzido. A redução do I.S. está relacionada com a inicial perda de água, mais rápida, relacionada com a perda de água do seio das adições. Sendo que com o aumento da adição se reduz a velocidade de absorção de água e se verifica uma maior perda de água inicial, no ensaio de secagem, pode-se concluir que as argamassas com uma maior quantidade de adição têm um comportamento benéfico quanto ao seu uso como argamassas expostas a ambientes húmidos.

Capítulo 5 - Análise económica

5.1 Introdução ao capítulo

Neste capítulo é efetuada uma análise comparativa com o desempenho de argamassas existentes atualmente no mercado e é feita uma análise económica referente às argamassas produzidas, quanto ao seu custo de exploração e custo global ao longo do tempo.

5.2 Comparação de propriedades de argamassas produzidas com argamassas comercializadas

Neste subcapítulo apresenta-se uma breve exposição de valores das características de argamassas comercializadas e das argamassas produzidas nesta dissertação que mostraram um melhor desempenho. No entanto, ressaltam-se algumas diferenças que possam ter existido em termos dos procedimentos experimentais adotados. As argamassas têm em comum o tipo de adição incorporada, não existindo indicação do tipo de ligante utilizado nas argamassas comercializadas.

Comparando as argamassas produzidas com granulado de cortiça em comparação com uma argamassa comercial, através da tabela 5.1, verifica-se que as argamassas desenvolvidas no presente trabalho têm um melhor comportamento face à resistência à flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade e porosidade.

Relativamente às argamassas produzidas com EPS comparativamente com uma argamassa comercial, através da tabela 5.2, verifica-se que as argamassas desenvolvidas no presente trabalho têm um melhor comportamento face à aderência ao tijolo, resistência à flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

As argamassas produzidas mostram-se mais resistentes face à ações implícitas aos edifícios e ao mesmo tempo, devido à sua maior capacidade de deformabilidade, evitam mais eficientemente o aparecimento de fissuras.

Tabela 5.1 – Exposição das características das argamassas com cortiça

		RHP ecoCORK	CC40*	CC50*	CC70**
<i>Produto em pó</i>	Granulometria (mm)	ND	<2	<2	<2
	Baridade (kg/m ³)	600±50	ND	ND	ND
<i>Produto em pasta</i>	Água de Amassadura (%)	30±2	60	60	70
	Massa Volúmica (kg/m ³)	900±50	1666	1579	1205
	Ar contido (%)	30±5	ND	ND	ND
	Consumo Teórico (kg/m ² /cm)	6,5±0,5	ND	ND	ND
<i>Produto Endurecido</i>	Massa Volúmica (kg/m ³)	900±50	1647	1601	1428
	Aderência ao tijolo e ao bloco/ modo de fratura [MPa]	0,3/ A e C	0,10 / B	0,36 / B	0,11/ B
	Resistência à flexão [MPa]	1,6	3,6	2,7	1,8
	Resistência à compressão [MPa]	CS III - 3,8	CS IV- 14,8	CS IV- 9,2	CS III - 4,5
	Capilaridade (kg/m ² .min ^{0,5}) (Classe)	W2 - 0,05	W0 - 1,41	W0 -0,48	W1 - 0,26
	Condutibilidade térmica [W/m°C]	0,16	1,14	0,68	0,41
	Permeabilidade ao vapor (μ)	<15	ND	ND	ND
	Módulo de elasticidade - Ultrassons [MPa]	1000	15331	12701	8220
	Tensão arrancamento [MPa]	ND	T-0,18	T-0,36	T-0,12 M-0,33
	Índice de Redução Sonora (dB)	5 a 7	ND	ND	ND
	Porosidade [%]	46,6	32	36	41
	Reação ao fogo (Classe)	A2 s1d0	ND	ND	ND

A- ligação argamassa-suporte; B- Argamassa; C- quebra do suporte
 CSI 0,4 a 2,5; CSII 1,5 a 5; CSIII 3,5 a 7,5; CSIV >6
 Classes: W0 – sem exigência, W1 – C ≤ 0,40, W2 – C ≤ 0,20
 T- Arrancamento em tijolo, argamassa e=1,5 cm; M- Arrancamento em murete, argamassa e=4 cm

Tabela 5.2 – Exposição das características das argamassas com EPS

		ISODUR	CE40	CE50	CE80
<i>Produto em pó</i>	Granulometria (mm)	<1,5	<2	<2	<2
	Baridade (kg/m ³)	ND	ND	ND	ND
<i>Produto em pasta</i>	Água de Amassadura (%)	70±5	60	60	60
	Massa Volúmica (kg/m ³)	400±50	1610	1587	1323
	Ar contido (%)	30±5	ND	ND	ND
	Consumo Teórico (kg/m ² /cm)	3,1	ND	ND	ND
<i>Produto Endurecido</i>	Massa Volúmica (kg/m ³)	250±50	1710	1687	1520
	Aderência ao tijolo e ao bloco/ modo de fratura [MPa]	0,1/ A	0,24 / A e B	0,18 / A e B	0,28/ A e B
	Resistência à flexão [MPa]	0,5	3,4	3,2	2,7
	Resistência à compressão [MPa]	CSI - 0,85	CS IV- 15,1	CS IV- 14,0	CS IV - 10,7
	Capilaridade (kg/m ² .min ^{0,5}) (Classe)	W2	W0 - 1,30	W0 - 1,41	W1 - 0,38
	Condutibilidade térmica [W/m ⁰ C]	0,07	0,87	0,8	0,66
	Permeabilidade ao vapor (μ)	<5	ND	ND	ND
	Módulo de elasticidade - Ultrassons [MPa]	500	16935	16247	12857
	Tensão arrancamento [MPa]	ND	T-0,22	T-0,18	T-0,33 M-0,75
	Índice de Redução Sonora (dB)	44	ND	ND	ND
	Porosidade [%]	ND	18	18	19
	Reação ao fogo (Classe)	ND	ND	ND	ND

A- ligação argamassa-suporte; B- Argamassa; C- quebra do suporte
 CSI 0,4 a 2,5; CSII 1,5 a 5; CSIII 3,5 a 7,5; CSIV >6
 Classes: W0 – sem exigência, W1 – C ≤ 0,40, W2 – C ≤ 0,20
 T- Arrancamento em tijolo, argamassa e=1,5 cm; M- Arrancamento em murete, argamassa e=4 cm

5.3 Análise do custo global e de exploração

As argamassas aplicadas nos muretes e as argamassas comerciais, mencionadas no subcapítulo 5.2, são comparadas com a composição base, ao longo de 30 anos, em Lisboa e em Bragança, no que diz respeito ao seu custo de exploração e custo global.

O Custo global é calculado tendo em conta os custos iniciais da aplicação da solução adotada, os custos de manutenção associados a essa solução e os custos de exploração, que dizem respeito ao custo de energia do edifício associado à solução. A fórmula de cálculo é a presente na equação 5.1.

$$C_g = C_0 + C_{\text{man}} + C_{\text{exp}} \quad \text{Equação 5.1}$$

em que:

C_g – custo global (€/m² de fachada)

C_0 – custo inicial (€/m² de fachada)

C_{man} – custo de manutenção (€/m² de fachada)

C_{exp} – custo de exploração (€/m² de fachada)

O custo inicial é calculado tendo em conta custo dos materiais empregues e o custo da mão-de-obra para aplicação dos mesmos.

O custo de manutenção tem em conta as pequenas reparações periódicas necessárias à solução aplicada. Uma vez que os preços sofrem alterações ao longo dos anos este cálculo tem em conta taxas de inflação para prever as variações de preços. Para o cálculo do custo de manutenção seguiu-se a equação 5.2.

$$C_{\text{man},n} = C_{\text{man},0} \times (1+\alpha)^n \quad \text{Equação 5.2}$$

em que:

$C_{\text{man},n}$ – custo de manutenção no ano em análise (€/m² de fachada)

$C_{\text{man},0}$ – custo de manutenção no ano 0 (€/m² de fachada)

C_0 – custo inicial (€/m² de fachada)

n – número de anos após aplicação, para o ano em que se está a calcular o custo de manutenção

α – taxa de inflação

O custo de manutenção acumulado ao longo dos anos é dado pela equação 5.3.

$$C_{\text{man,total}} = \sum_{x=1}^n C_{\text{man}} \times (1+\alpha)^x \quad \text{Equação 5.3}$$

$C_{\text{man,total}}$ – custo de manutenção total (€/m² de fachada)

C_{man} – custo de manutenção do ano x (€/m² de fachada)

α – taxa de inflação

x – ano em análise

n – número de anos após aplicação, para o ano em que se está a calcular o custo de manutenção

O custo de exploração calcula-se tendo em conta a equação 5.4.

$$C_{\text{exp}} = U \times \text{GD} \times 0,0024 \times C_e \times (1 + \alpha')^n \quad \text{Equação 5.4}$$

em que:

C_{exp} – custo de exploração (€/m² de fachada)

U – coeficiente de transmissão térmico do elemento envolvente [w/(m².°C)]

GD – nº de Graus-dias de aquecimento consoante o concelho em análise, presente no RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios)

C_e – custo do kWh (€)

α' – crescimento anual da energia elétrica

n – número de anos após aplicação, para o ano em que se está a calcular o custo de manutenção

O custo total calcula-se tendo em conta a equação 5.5.

$$C_{\text{exp } n} = U \times \text{GD} \times 0,0024 \times \sum_{x=1}^n C_{e \ x} \times (1 + \alpha')^x \quad \text{Equação 5.5}$$

$C_{\text{exp } n}$ – custo de exploração no ano em análise (€/m² de fachada)

U – coeficiente de transmissão térmico do elemento envolvente [w/(m².°C)]

GD – nº de Graus-dias de aquecimento consoante o concelho em análise, presente no RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios)

$C_{e \ x}$ – custo do kWh ao fim do ano x (€)

α' – crescimento anual da energia elétrica

x – ano em análise

Para que seja possível comparar custos de diferentes anos torna-se necessário proceder à atualização de todos os custos para um determinado ano, aplicando uma taxa de atualização. Para o valor se tornar atual utiliza-se a equação 5.6.

$$\text{VA} = C_x (1 + i)^{-x} \quad \text{Equação 5.6}$$

VA – valor atual (€)

C_x – custo no ano em análise

x – ano em análise

i – taxa de atualização, valor Euribor¹

¹ A Euribor é uma taxa interbancária (corresponde à média das taxas de oferta de fundos praticada entre bancos), resultante de um total de 57 bancos de países da União Europeia e de países terceiros, escolhidos por serem particularmente ativos no mercado do euro.

Relativamente ao cálculo do custo global não foi tido em conta o custo de manutenção.

Para o cálculo do custo de exploração e custo global tiveram-se em conta os dados presentes na tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Dados utilizados para o cálculo do custo global

C_0 - Custo inicial (€/m ²)	8
Custo Eletricidade - α'	0,06
U CB (W/m ² °C)	2,23
U CC70** (W/m ² °C)	1,86
U CE80 (W/m ² °C)	2,00
U ecocork (W/m ² °C)	1,45
U isodur (W/m ² °C)	0,99
GD (Lisboa)	1190
GD (Bragança)	2850
C_{e0} (€/KWh)	0,14
Taxa Euribor - i	0,00581

Foram tidos como princípios uma parede simples de tijolo de 11 cm, com a aplicação de um reboco de 4 cm de espessura, com um custo inicial de 8€/m² para qualquer tipo de argamassa de revestimento aplicada.

O custo de exploração e o custo global destas argamassas, ao longo de 30 anos, pode ser observado das figuras 5.1 a 5.4.

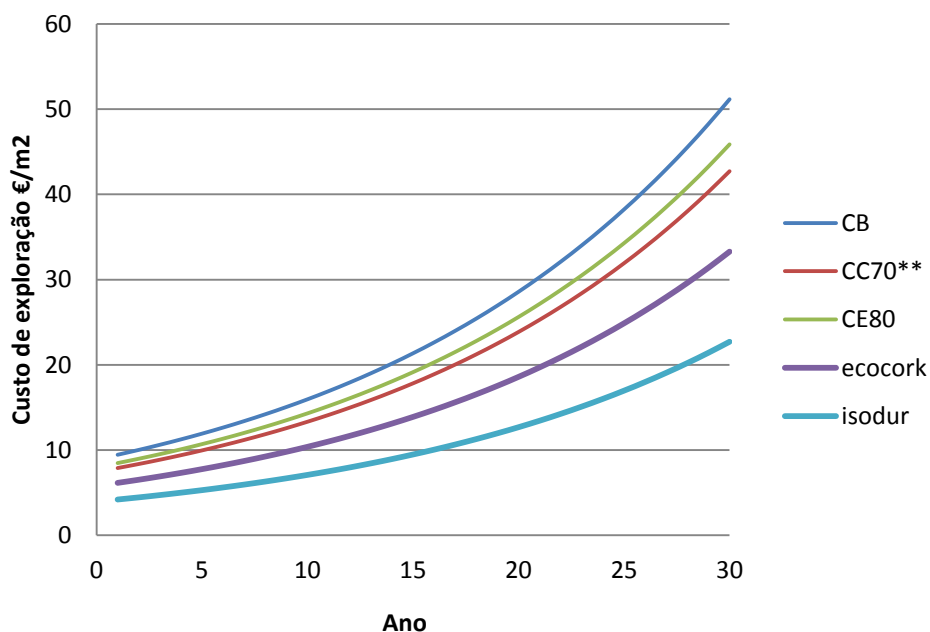


Figura 5.1 – Custo de exploração para Lisboa

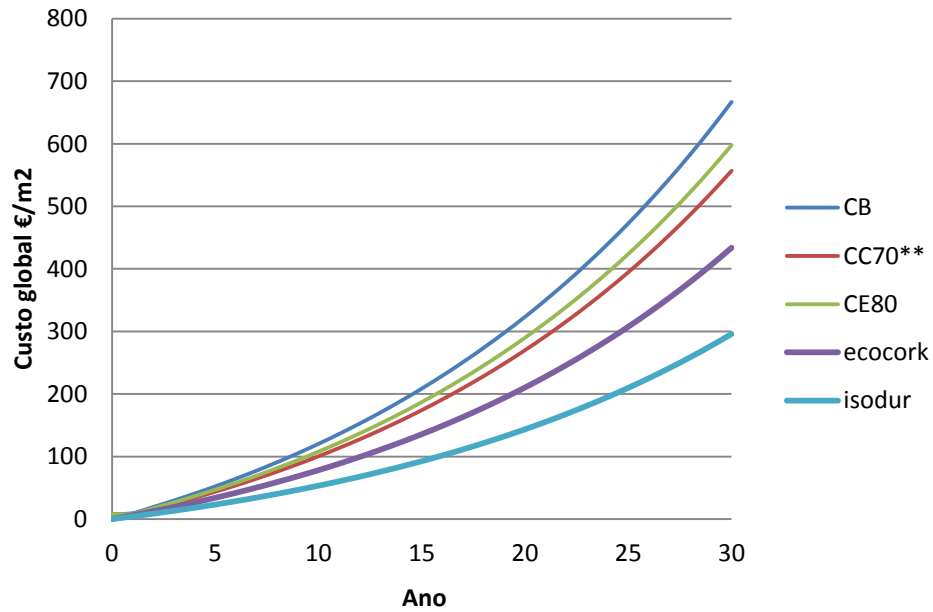


Figura 5.2 – Custo global para Lisboa

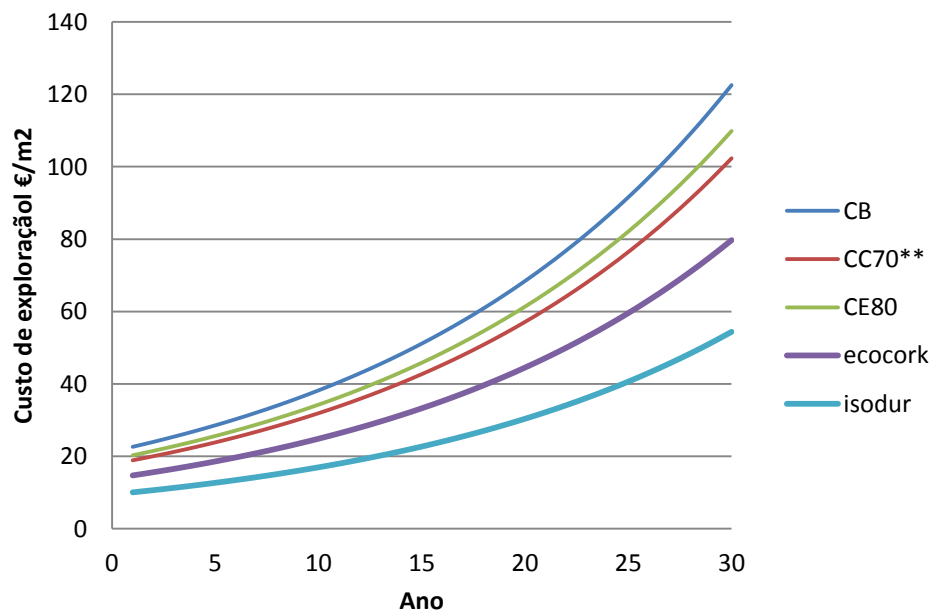


Figura 5.3 – Custo de exploração para Bragança

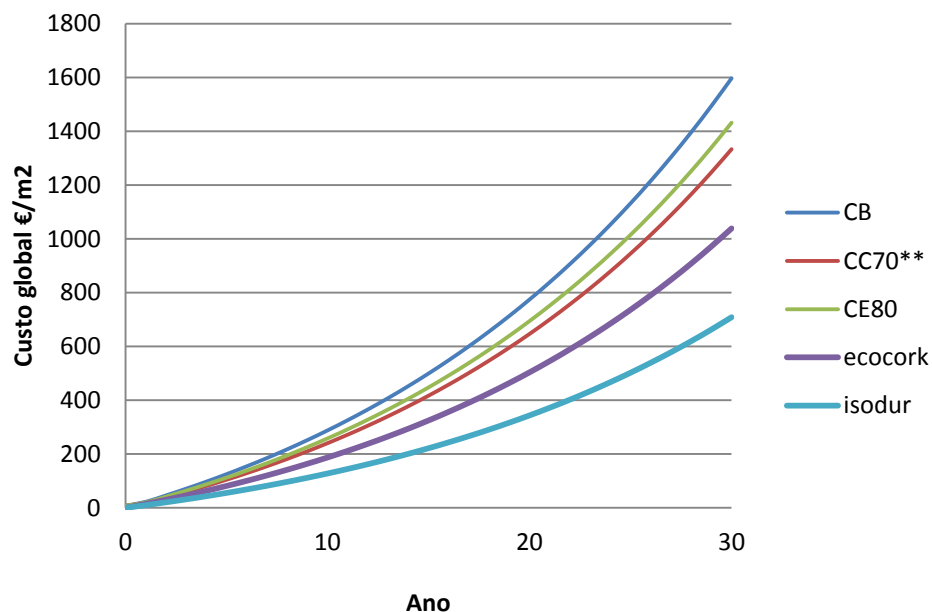


Figura 5.4 – Custo global para Bragança

Na tabela 5.4 é apresentada a poupança, em euros por m², face a uma argamassa de base cimentícia aos 5, 15 e 30 anos.

Tabela 5.4 – Poupança ao longo dos anos, em euros por m², ao longo do tempo

	Lisboa		Bragança	
Poupança ao fim de 5 anos				
	Custo de exploração	Custo global	Custo de exploração	Custo global
CC70**	2,0	8,6	4,7	20,7
CE80	1,2	5,4	3,0	13,0
ecocork	4,2	18,3	10,0	43,8
isodur	6,6	29,1	15,9	69,6
Poupança ao fim de 15 anos				
	Custo de exploração	Custo global	Custo de exploração	Custo global
CC70**	3,5	34,4	8,4	82,5
CE80	2,2	21,6	5,3	51,7
ecocork	7,5	72,9	17,9	174,6
isodur	11,9	116,0	28,4	277,9
Poupança ao fim de 30 anos				
	Custo de exploração	Custo global	Custo de exploração	Custo global
CC70**	8,4	110,1	20,2	263,7
CE80	5,3	69,0	12,7	165,2
ecocork	17,9	233,1	42,8	558,3
isodur	28,5	371,0	68,2	888,5

Como se pode observar pelas figuras 5.1 a 5.4, tanto em Lisboa como em Bragança verifica-se que das argamassas produzidas a composição com cortiça é a mais vantajosa economicamente, seguindo-se a composição com EPS e por fim a composição base. Ambas as argamassas comercializadas são mais vantajosas economicamente face às produzidas neste estudo, sendo a que contém EPS, isodur, mais eficiente economicamente do que a que contém cortiça, ecocork.

Verifica-se também que ao longo de 30 anos a economia do custo de exploração e do custo global é mais evidente em Bragança do que em Lisboa.

As composições foram estudadas para ambos os custos, de exploração e global, para verificar quais os fatores que têm realmente um peso elevado na escolha de um ou outro revestimento de parede. Analisando a curva de custos globais, que tem em conta a influência da taxa euribor nos valores obtidos, observa-se que a diferença de valores entre as curvas correspondentes a cada tipo de argamassa são essencialmente dependentes do custo de exploração (que é fortemente influenciado quer pelos valores de U, quer pela taxa de crescimento do kWh).

Capítulo 6 – Conclusão

6.1 Introdução ao capítulo

Neste último capítulo é feito um resumo das conclusões conseguidas no desenvolvimento desta dissertação e apresentam-se algumas propostas para futuros trabalhos no âmbito do tema em que a presente dissertação incide.

6.2 Conclusões gerais

Os ensaios a que as argamassas foram submetidas no decorrer desta dissertação permitiram retirar algumas conclusões face às consequências da incorporação de granulado de cortiça e de EPS como substituto da areia e ainda relativamente ao SP e relação A/L utilizado.

Deste modo torna-se importante salientar os seguintes aspetos:

-Relativamente à trabalhabilidade:

- Verifica-se a dificuldade de aproximar e manter a percentagem de espalhamento num bom valor de trabalhabilidade a partir das composições com substituição de 70% de areia por cortiça, mesmo com o aumento do SP e da relação A/L.
- A elevada quantidade de hemicelulose presente na cortiça atrasa o processo de hidratação do cimento, diminuindo a trabalhabilidade das argamassas.
- A cortiça retém uma maior quantidade de água no seu seio nos instantes iniciais, aumentando a sua massa em cerca de 400%, mas sensivelmente após 1 hora liberta parte dessa água, reduzindo $\frac{1}{4}$ da sua massa. Desta forma fundamenta-se o atraso no processo de hidratação do cimento devido à retenção de água nos primeiros instantes.
- Acima da dosagem ótima de SP (SP=2%) para além de não se verificarem melhorias significativas nas características das argamassas com cortiça, observa-se o efeito de exsudação durante a compactação e acondicionamento dos provetes.

- Nas composições com EPS verifica-se um aumento da trabalhabilidade especialmente entre os 5 e os 15 minutos, seguindo-se o declínio da mesma. Este fenómeno ocorre, pois quando a argamassa já não se encontra saturada, absorve a água presente no EPS, provavelmente porque o EPS liberta-a em tempo suficientemente reduzido para essa se misturar com a argamassa ainda em estado fresco, recuperando alguma trabalhabilidade.

-Relativamente à condutibilidade térmica:

- Numa argamassa de base cimentícia a incorporação de adições, de granulado de cortiça e de EPS, melhoram significativamente a condutibilidade térmica das argamassas, respetivamente até 72% e 61%.

-Relativamente às resistências mecânicas:

- Com a introdução de adições nas argamassas cimentícias, de granulado de cortiça e de EPS, reduz-se a resistência à flexão em 67% e 48%, respetivamente.
- Na resistência à compressão, tanto para as CC como para as CE, garante-se sempre o valor mínimo regulamentar para argamassas de isolamento térmico para reboco, de 0,4 MPa.
- Com a introdução de adições, de granulado de cortiça e de EPS, é possível reduzir a resistência à compressão em 84% e 56%, respetivamente.
- Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se que a argamassas tornam-se mais dúcteis à compressão, visualizando-se nas composições com incorporação de cortiça de 50% e acima deste valor a deformação do provete através do ensaio à compressão, antes de este atingir a rotura. Logo é mais resistente à fissuração, tal como verificado para 70% de substituição do volume de argamassa por cortiça.

- Tanto as composições com granulado de cortiça como as com EPS mostram o aumento das resistências mecânicas dos 28 para os 150/210 dias de idade.

-Relativamente à absorção de água por capilaridade:

- Verifica-se uma rápida absorção capilar numa fase inicial, visualizando-se de seguida um abrandamento no ritmo de absorção até à fase de estabilização. A absorção de água numa fase inicial é mais rápida para as argamassas com cortiça, ocorrendo nas primeiras 24 e 72 horas, respetivamente para CC e CE.
- Com o aumento da quantidade de cortiça verifica-se a diminuição da absorção de água por capilaridade, admitindo deste modo o aumento da dimensão dos poros das argamassas.

-Relativamente aos resultados da porosimetria de mercúrio:

- A CC70** tem uma menor percentagem de poros em gamas pequenas e médias tendo o seu pico de quantidade de poros nas gamas mais altas, sendo aqui que consegue ter mais poros, acumulados e não acumulados, do que qualquer outra das composições analisadas. A CE80 tem a sua maior quantidade de poros numa gama de diâmetros média, não sendo tão significativa quanto CC70**.

-Relativamente ao módulo de elasticidade dinâmico (muretes):

- Pelos dados registados no ensaio realizado tem-se que a velocidade média da propagação de ultrassons num murete, pelo método indireto, com CC70** e CE80, é respetivamente de 1099 e de 1448 m/s. Sendo que quanto maior o módulo de elasticidade dinâmico menos deformável é a argamassa demonstra-se através deste ensaio que as argamassas com granulado de cortiça são mais deformáveis do que as argamassas com EPS.
- Em média os valores registados, no ensaio de ultrassons em muretes, em ambas as adições, encontram-se abaixo de metade do valor de um reboco tradicional, demonstrando que as

argamassas produzidas comportam-se melhor à fissuração face a uma argamassa comum de base cimentícia.

-Relativamente ao ensaio de arrancamento (muretes):

- Por comparação ao ensaio realizado em pequena escala, em alvenaria cerâmica, observa-se que as argamassas realizadas no murete têm um ganho de 67% e 63% de resistência ao arrancamento, respetivamente à CC70** e à CE80, devido às tensões laterais exercidas pela argamassa, por esta não ter sido seccionada até ao suporte.

Parte dos resultados obtidos no âmbito deste estudo já foram divulgados num artigo de conferência, intitulado “Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis”, e outros vão ser divulgados em artigo a ser submetido em revista internacional, Cement and concrete composites, intitulado “Development and optimization of cement-cork mortars. Comparison with cement-EPS mortars performance”.

6.3 Propostas de desenvolvimento futuro

As argamassas e as próprias adições possuem inúmeras propriedades a serem estudadas, pelo que não se encontram concluídas nesta dissertação.

Para proposta de futuros trabalhos que tenham o objetivo de dar continuidade à presente investigação, torna-se importante a realização dos estudos que se seguem:

- Caracterização da retração das argamassas no molde;
- Avaliação das argamassas quanto à profundidade de carbonatação;
- Avaliação da resistência das argamassas estudadas face à ação de sais solúveis e aos ciclos de gelo-degelo.
- Caracterização das argamassas em muretes quanto à resistência ao impacto pelo ensaio do pêndulo;
- Caracterização da permeabilidade destas argamassas em muretes, através do tubo de Karsten;

- Caracterização das argamassas no que diz respeito à resistência ao desenvolvimento de fungos;
- Avaliação das argamassas estudadas face à aderência de sistemas de pintura;
- Caracterização da microestrutura interna das argamassas presentes nesta dissertação através da microscopia eletrónica de varrimento (MEV);
- Avaliação do comportamento das argamassas com granulado de cortiça ou EPS em superfícies onde se verifique a existência de humidades de condensação;
- Comparação das argamassas realizadas com argamassas similares, mas com areias com outra granulometria;
- Realização da caracterização de argamassas e rebocos similares mas com outro ligante hidráulico, nomeadamente cal hidráulica. (Este estudo já se encontra a ser desenvolvido por um aluno deste estabelecimento de ensino).

Bibliografia

AGOSTINHO, Cláudia – Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Dissertação de Mestrado.

ALVES, Alexandre – Durabilidade de argamassas poliméricas de agregados leves. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010. Dissertação de Mestrado.

APPLETON, João – Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e tecnologias de intervenção. Edições Orion, 2003.

BABU, Daneti; BABU, K.; TIONG-HUAN, Wee – Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete. Cement & concrete composites, Elsevier. Vol. 28, 2006, pp. 520-527, 8 páginas.

BAUER, Falcão – Materiais de construção. LTC Editora. Rio de Janeiro. 2000. 5ª Edição Revisada. Volume 1.

BJORN, Berge – Ecologia dos Materiais de Construção. Edição Universidade do Minho. Lisboa. 2007. ISBN: 978-972-99179-3-6. Volume I.

BOTAS, Sandro – Avaliação do comportamento de argamassas em climas frios. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2009. Dissertação de Mestrado.

BRÁS, Ana; HENRIQUES, Fernando – Natural hydraulic lime based grouts - the selection of grout injection parameters for masonry consolidation, Construction and Building Materials Journal, 26:135-144, 2012.

BRÁS, Ana; HENRIQUES, Fernando (2009) – The influence of the mixing procedures on the optimization of fresh grout properties. RILEM Materials and Structures 42: 1423-1432.

BRÁS, A.; HENRIQUES, F.; CIDADE, M. – Effect of environmental temperature and fly ash addition in hydraulic lime grout behaviour, *Construction and Building Materials Journal*, 24: 1511-1517, 2010.

BRÁS, Ana; LEAL, Márcio; FARIA, Paulina – Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis. 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono (CRSEEL), 2012.

BRITO, V.; GONÇALVES, T.; FARIA, P. – Coatings applied on damp substrates: performance and influence on moisture transport. *J. Coating Technology and Research*, Vol.8, Issue 4 (2011), 513-525

CARVALHO, R.; DIAS, F.; VARUM, H. – Cyclic behavior of a lightweight mortar with cork granulate composite. *Composite structures*, Elsevier. Vol. 95, (2013), 2012, pp. 748-755, 8 páginas.

CEN (2010) – EN 998-1:2010 – Specification for mortar for masonry – Parte 1: Rendering and plastering mortar. Brussels.

CEN (1998/2006) – EN 1015-2:1998/A1:2006 Methods of test mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels.

CEN (1999/2004/2006) – EN 1015-3:1999/A1:2004/A2:2006. Methods of test mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels

CEN (1998/2006) – EN 1015-6:1999/A1:2006. Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar. Brussels.

CEN (1999/2006) – EN 1015-11:1999/A1:2006. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels.

CEN (2000) – EN 1015-12:2000. Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. Brussels.

CEN (2002) – EN 1015-18:2002. Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels.

CEN (2009) – EN 12697-5:2009. Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 5: Determination of the maximum density. Brussels.

CEN (2003) – EN 12697-8:2003. Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 8: Determination of void characteristics of bituminous specimens. Brussels.

CHOI, N.; OHAMA, Y. – Development and testing of polystyrene mortars using waste EPS solution-based binders. *Construction and building materials*, Elsevier. Vol. 18, 2004, pp. 235-241, 7 páginas.

COLLEPARDI, M. (1998) Admixtures used to enhance placing characteristics of concrete. *Cement and concrete composites*, vol. 20, n. ° 2/3, pp. 103-112.

FARIA, Paulina – Argamassas de revestimento para alvenarias antigas contributo para o estudo da influência dos ligantes. Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2004. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil.

FARIA, Paulina; HENRIQUES, Fernando; RATO, Vasco – Argamassas Correntes: Influência do Tipo de Ligante e do Agregado. Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2007 (CD).

FRADE, Dina, *et al.* – Argamassa de Reboco com Características Térmicas, SECIL ARGAMASSAS, 2010.

FRADE, Dina, *et al.* – Argamassas industriais com incorporação de granulado de cortiça. APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção. Congresso, 2012 (CD).

FREITAS, Vasco; ALVES, Sandro – Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção – Tema 3: Argamassas de Reboco e Monomassas (EN998-1). APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção.

FUTURENG – EPS – Poliestireno Expandido. [09/12/2011]. Disponível em <http://www.futureng.pt/EPS>.

GALVÃO, Jorge – Técnicas de ensaio *in-situ* para avaliação do comportamento mecânico de rebocos em fachadas – Esclerómetro e ultrasons. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2009. Dissertação de Mestrado.

GARCIA, Ana – 1. Sector de Fabricação de Cimento e Cal. Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa, 2008.

GIL, Luís – A cortiça como material de construção - Manual Técnico, APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, 2007.

GONÇALVES, Ana – Estudo da influência dos factores de aplicação no desempenho de argamassas de revestimento recorrendo a técnicas de ensaio *in-situ*. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010. Dissertação de Mestrado.

GRUPO AMORIM – Informação global – A cortiça. [12/12/2011]. Disponível em http://www.amorim.pt/cor_glob_cortica.php.

HENZ, Carla – Análise experimental de compatibilidade das argamassas de revestimento e encunhamento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Civil, 2009. Graduação em Engenharia Civil.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. *et al* – Development of cork-gypsum composites for building applications. *Construction and Building Materials Journal*, 13: 179-186, 1999.

IPQ (2006) – NP EN 196-1:2006 – Métodos de ensaio de cimentos – Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2001/2005/2008) – NP EN 197-1:2001/A1:2005/A3:2008 – Cimento – Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2007/2010) – NP EN 206-1:2007/Emenda 2:2010 – Betão – Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2008) – NP EN 445:2008 – Caldas de injeção para armaduras de pré-esforço: métodos de ensaio. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2000) – NP EN 933-1:2000 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (1999) – NP EN 933-2:1999 – Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2010) – NP EN 998-2:2010 – Especificações de argamassas para alvenarias – Parte 2: Argamassas para alvenarias. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2000) – NP EN 1097-3:2002 – Ensaio para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Método para determinação da baridade e do volume de vazios. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2007) – NP EN 12504-4:2007. Ensaio de betão nas estruturas – Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2008) – NP EN 1936:2008 – Métodos de ensaio para pedra natural – Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2002/2010) – NP EN 12620:2002/A1:2010 – Agregados para betão. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

LNEC (1993) – E 394:1993. Betões – Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

LOURENCI, Sidnei – Caracterização de argamassas de revestimento fabricadas com materiais alternativos. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Tecnológicas, 2003. Dissertação de Mestrado.

MADANDOUST, Rahmat; RANJBAR, Malek; MOUSAVI, S. – An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene. *Construction and building materials*, Elsevier. Vol. 25, 2004, pp. 3721-3731, 11 páginas.

MARTINS, Ana – A influência das condições de cura em argamassas de cais aéreas com e sem adição de metacaulino. Escola Superior de Tecnologia do Barreiro – Instituto Politécnico de Setúbal, 2010. Dissertação de Mestrado.

MARTINS, Miguel – Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010. Dissertação de Mestrado.

MENDONÇA, Bruno – Estudo do Desempenho das Argamassas hidráulicas – Influência do Ligante. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2007. Dissertação de Mestrado.

MONTEIRO, David – Avarias em argamassas – causas, prevenção e reparação. Universidade Fernando Pessoa – Faculdade de Ciência e Tecnologia, 2008. Monografia de Licenciatura.

MORAIS, Ana – Soluções de reabilitação de fachadas com revestimento em ladrilhos cerâmicos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007. Dissertação de Mestrado.

NEVES, Firmino das – Desafios da reabilitação no sector da construção. Sector de engenharia e estudos técnicos da AECOPS. Escola Superior de Tecnologia do Barreiro – Instituto Politécnico de Setúbal. 11/07/2012. Barreiro. Palestra.

NOVOA, P. *et al.* – Mechanical characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates. *Composites science and technology*, Elsevier. Vol. 64, 2004, pp. 2197-2205, 9 páginas.

PANESAR, D.; SHINDMAN, B. – The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork. *Cement & Concrete*

Composites, ELSEVIER, University of Toronto, Vol. 34, 9ª edição, pp.982-992, Outubro 2012.

PENAS, Filipa – Argamassas de cal hidráulica para revestimentos de paredes. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2008. Dissertação de Mestrado.

POLETTTO, Matheus – Obtenção e caracterização de compósitos preparados com poliestireno expandido reciclado e pó de madeira. Universidade de Caxias do Sul, 2009. Dissertação de Mestrado.

RATO, Vasco – Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2006. Tese de Doutoramento.

RODRIGUES, Daniel – A influência dos métodos de ensaio nas características de argamassas de cal aérea e hidráulica – Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2010. Caparica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

SANTOS, Sérgio – Argamassas pré-doseadas para rebocos de edifícios recentes. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2009. Dissertação de Mestrado.

SILVA, Rosiany – Argamassas com adição de fibras de polipropileno – Estudo do comportamento reológico e mecânico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Dissertação de Mestrado.

SILVA, S. *et al.* – Cork: properties, capabilities and applications. International Materials Reviews. Vol. 50, n.º 6, 2005.

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA – Faculdade de Ciências e Tecnologia. [06/11/2012] Disponível em <http://www.dq.fct.unl.pt/servicos-externos/porosimetria-de-mercurio>.

VEIGA, Rosário; CARVALHO, Fernanda – Revestimentos de paredes em edifícios antigos. Cadernos edifícios, número 02, Outubro 2002.

VIEIRA, Júlia – Interação Cimento-Superplastificante – Avaliação da estabilidade do comportamento. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010. Dissertação de Mestrado.

ZOLLER, Armin; SCHMIDT, Marco – Interior plaster for temperature control Gypsum-based machine plaster with phase change material. APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção. 2007. 2º Congresso nacional de argamassas de construção.

ANEXOS

ANEXO A

Boletim de análise: granulado de cortiça



Fabricor - Indústria, Preparação e
Transformação de Cortiça, S.A.

BOLETIM ANÁLISE

GRANULADO: GR 0,5/2 PP

DATA : 01-10-2011

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS	NORMA
Massa Volúmica (kg/m ³)	173	ISO 2031
Humidade (%)	8	ISO 2190
Granulometria (mm)	(% de retenção)	
4,75	0,0	ISO 2030
4,00	0,0	
3,35	0,0	
2,80	0,0	
2,00	2,7	
1,70	12,9	
1,00	63,7	
0,50	20,6	
FUNDO	0,0	

Responsável Qualidade

Sónia Ribeiro

(Document without signature,electrónica processing)

ANEXO B

Ficha do produto: EPS

FICHA PRODUTO

1. **Designação do Produto:** "GRAN-LEV" Normal ou Aditivado;
2. **Composição:** Poliestireno Expandido (EPS);
3. **Forma:** Esférico;
4. **Densidade:** 18 g/l ± 10%;
5. **Granulometria:** 4;
6. **Embalagem:** Saco plástico com capacidade de 120 lt, 300 lt e 500 lt;
7. **Aplicação:** Componente utilizado para produção de betão leve.



Dosagens recomendadas:

Massa volumica (Kg/m ³)	Água (lt)	Areia (kg)	Cimento (kg)	EPS (lt)
200	100	---	200	1000
250	125	---	250	1000
300	150	---	300	1000
400	175	100	300	1000
500	175	200	300	1000

Obs. **Aditivado:** Com incorporação de agente Lubrificante/aderente.

Data:	02-06-11
Assinatura:	Paulo Neves

ANEXO C

Ficha do produto: CEM II/B-L 32,5N

CEM II/B-L 32,5N

Cimento Portland de Calcário



Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão
Fábrica Cibra-Pataias
Fábrica Maceira-Liz

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg
Sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificados de Conformidade 0856-CPD-0130, 0856-CPD-0131 e 0856-CPD-0132.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

65% a 79% Clínquer Portland
21% a 35% Calcário
0% a 5% Outros Constituintes

Principais Aplicações

O Cimento Portland de Calcário CEM II/B-L 32,5N é o cimento mais utilizado nas obras de construção civil. A sua excelente trabalhabilidade e baixo calor de hidratação tornam-no especialmente adaptado a todos os trabalhos correntes da construção.

O cimento CEM II/B-L 32,5N é principalmente utilizado em:

- argamassas e betão não armado para enchimentos e regularização;
- betão estrutural, pronto ou fabricado em obra de média resistência;
- argamassas de assentamento, reboco e reparação;
- fundações directas e indirectas em ambientes moderadamente agressivos;
- estabilização de solos e solo-cimento;
- prefabricação de blocos, tubos, manilhas e outros artefactos à base de cimento;
- prefabricação ligeira em regime de baixa rotatividade de moldes.

Principais Características

Cimento de cor cinzenta, com menor calor de hidratação e melhor trabalhabilidade que um cimento CEM I da mesma classe de resistência.

Desenvolvimento mais lento de resistências (menor resistência inicial).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Advertências Específicas

Este cimento melhora a trabalhabilidade de betões e argamassas e permite uma redução da dosagem de água de amassadura. Porém, o correcto desenvolvimento de resistências é sensível ao processo de cura pelo qual deverão ser tomadas precauções para evitar a dissecação de peças betonadas muito expostas ao sol e ao vento (possível fendilhação).

Não se recomenda a utilização deste cimento em tempo muito frio, sem que se tomem medidas adequadas.

Informação de Segurança

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras para protecção respiratória, luvas de protecção das mãos, óculos de protecção dos olhos e fato de trabalho para protecção da pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança deste produto.

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 3,5%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

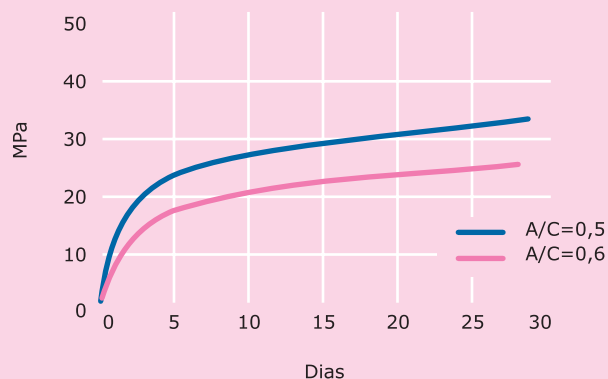
Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)		
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência NP EN 196-1
2 dias	7 dias	
-	≥ 16	
		28 dias
		≥ 32,5 e ≤ 52,5

Características Físicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 75 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM II/B-L 32,5N



Habitação a custos controlados.
Quinta da Cabrinha, Lisboa.



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direcção Comercial
Av. das Forças Armadas, 125 6º
1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 200

Vendas Norte
Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411

Vendas Centro
Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455

Vendas Sul
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

Cimento Branco
Tel. 244 587 700 . Fax. 244 589 652

Departamento Técnico-Comercial
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

E-mail - comercial@secil.pt
Site - www.secil.pt

ANEXO D

Ficha do Produto: Sika Viscocrete 3008

Sika® ViscoCrete® 3008

Superplastificante para betão

Construction

Descrição do produto	Sika® ViscoCrete® 3008 é um superplastificante forte redutor de água para betão.
Utilizações	<p>Sika® ViscoCrete® 3008 permite obter uma plastificação muito forte e uma boa manutenção de consistência.</p> <p>Sika® ViscoCrete® 3008 é especialmente adequado para os seguintes casos:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Betão com forte plastificação.■ Betão com transporte longo e betonagens demoradas.■ Betão com 20% ou mais de redução de água de amassadura.■ Betão muito plástico, fluído ou mesmo autocompactável com resistências finais melhoradas e com menor custo.■ Caldas de cimento, permitindo reduzir fortemente a água de amassadura e aumentar a fluidez, diminuindo as tendências para exsudação e retração e aumentando as resistências mecânicas.■ Betão de classe de resistência média e alta, com qualquer consistência, nos quais se pretenda obter uma economia grande de cimento.
Características/Vantagens	<p>Sika® ViscoCrete® 3008 actua sobre as partículas do cimento por dois mecanismos principais: adsorção superficial e efeito espacial. Ambos concorrem para um efeito dispersante muito intenso, permitindo uma elevada redução da água de amassadura ou um aumento marcado da trabalhabilidade.</p> <p>As propriedades do betão com Sika® ViscoCrete® 3008 são:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Excelente manutenção de consistência, que pode atingir as 3 – 4 horas a +20 °C, dependendo do tipo de cimento, da consistência inicial e da dosagem de adjuvante.■ Um nível de redução de água muito elevado, podendo atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; daqui resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de compacidade elevada e de permeabilidade muito baixa.■ Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistências favoráveis para uma colocação fácil.■ Um comportamento mais favorável quanto à retração e fluência. <p>Sika® ViscoCrete® 3008 é isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.</p>
Certificados/Boletins de Ensaio	Conforme as especificações da norma NP EN 934-2: T3.1/3.2.
Dados do produto	
Aspecto / Cor	Líquido castanho claro, levemente turvo; são possíveis pequenas diferenças de tom, sem influência sobre o desempenho do adjuvante.
Fornecimento	214 kg (200 l); 1.070 kg (1 m ³).



Armazenagem e conservação	O produto conserva-se durante 12 meses a partir da data de fabrico, na embalagem original não encetada, a temperaturas entre +5 °C e + 30 °C. Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar directa.
----------------------------------	---

Dados técnicos

Base química	Solução aquosa de policarboxilatos modificados.
---------------------	---

Massa volúmica	1,07 ± 0,02 kg/dm ³ (23 ± 2 °C)
-----------------------	--

pH (23 ± 2 °C)	5,5 ± 1,0.
-----------------------	------------

Teor de sólidos	26,5 ± 1,3%.
------------------------	--------------

Teor em cloretos	≤ 0,1%.
-------------------------	---------

Informação sobre o sistema

Pormenores de aplicação

Consumo/ Dosagem	Conforme o objectivo pretendido, recomenda-se partir das seguintes dosagens: ■ Dosagem corrente: 0,5% a 1,5% do peso do cimento. ■ Dosagens especiais: 1,5% a 2,0% do peso do cimento.
-------------------------	--

Instruções de aplicação

Mistura	<p>Se for possível, deverá preparar-se o betão com apenas cerca de $\frac{2}{3}$ da água prevista e adicionar então o adjuvante misturando energicamente cerca de 1 minuto/m³; só então será adicionada mais alguma água até à consistência desejada. Este processo conduz ao aproveitamento máximo do adjuvante e permite controlar convenientemente a razão água/ligante. Se o processo não for viável, então adicionar o produto à água de amassadura previamente determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea.</p> <p>É importante garantir um tempo mínimo de 1,5 a 2 minutos de amassadura, para obter o efeito pleno do adjuvante.</p> <p>Nunca adicionar o adjuvante ao cimento ou agregados, em seco (redução de eficácia).</p> <p>É possível a adição na autobetonreira desde que seja garantida a uniformidade do betão.</p> <p>No caso de redosagem em obra, deve haver o cuidado de homogeneizar bem o adjuvante na massa do betão. Para isso, recomenda-se uma muito pequena adição de água no recipiente que contém o adjuvante, apenas para reduzir a sua viscosidade e facilitar a sua boa incorporação. O betão deve ser "puxado" acima e o adjuvante deve ser adicionado lentamente, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário, inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneização. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.</p>
----------------	--

Aplicação	Sika® ViscoCrete® 3008 permite o fabrico de betão de qualidade, conseqüentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a betonagem e a cura do betão.
------------------	--

Compatibilidade	Sika® ViscoCrete® 3008 pode ser combinado com os seguintes produtos: ■ Sika® FerroGard® 901. ■ Sika® Rapid 1. ■ Sikacrete®. Recomenda-se sempre a realização de ensaios prévios.
------------------------	--

Limpeza de ferramentas	Limpar todas as ferramentas e equipamento com água imediatamente após a utilização. Material curado/endurecido só pode ser removido mecanicamente.
Importante	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dosagens superiores ao indicado podem conduzir a retardamento da presa do cimento. ■ Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante e sempre que se altere os componentes do betão ou a própria composição. ■ Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a empregar-se. <p>Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico.</p>
Nota	Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Resultados obtidos noutras condições podem divergir dos apresentados, devido a circunstâncias que não podemos controlar.
Risco e segurança	
Medidas de segurança	Para informações complementares sobre o manuseamento, armazenagem e eliminação de resíduos do produto consultar a respectiva Ficha de Dados de Segurança e o rótulo da embalagem.
	<p><i>"O produto está seguro na C^a Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice n^oCH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".</i></p> <p>A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que solicitada.</p>
Marcação CE	<p>A Norma Europeia EN 934-2:2003 "Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e rotulagem" específica as definições e os requisitos dos adjuvantes para uso no betão. Abrange adjuvantes para betão simples, armado e pré-esforçados usados no betão fabricado no local da obra, no betão pronto e no betão fabricado em centrais de produção de elementos prefabricados.</p> <p>Nesta norma os requisitos de desempenho aplicam-se a adjuvantes usados no betão de consistência normal. Eles podem não ser aplicáveis a adjuvantes para outros tipos de betão tais como betões meio secos e de consistência terra húmida.</p>



Sika Portugal, SA
R. de Santarém, 113 Tel. +351 22 377 69 00
4400-292 V. N. Gaia Fax +351 22 370 20 12
Portugal www.sika.pt



Implementado na fábrica de Óvar

ANEXO E

Ficha técnica: RHP ecoCORK

1. DESCRIÇÃO

O **RHP ecoCORK** é uma argamassa leve seca, formulada a partir de ligantes hidráulicos, agregados calcários e siliciosos, adições, com a incorporação de agregados leves em cortiça.

O **RHP ecoCORK** é um produto especialmente vocacionado para aplicação projectada em interiores e exteriores. O seu elevado rendimento e facilidade de aplicação adequa-se à execução de grandes áreas.

2. DOMÍNIO DE UTILIZAÇÃO

O **RHP ecoCORK** é especialmente indicado na execução de rebocos leves em superfícies interiores e exteriores de paredes e tectos, onde se pretenda aumentar o desempenho térmico e acústico dos paramentos. Este reboco é constituinte de uma solução de revestimento acústico e térmico em camada dupla, correspondendo ao reboco de enchimento.

O **RHP ecoCORK** pode ser aplicado directamente sobre suportes em tijolo cerâmico, bloco de cimento, betão. Contudo, em alguns destes suportes devem ser tomadas precauções especiais de aderência (ver restrições).

3. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

PRODUTO EM PÓ	Valor	Norma
Baridade (kg/m³)	600 ± 50	-
PRODUTO EM PASTA	Valor	Norma
Água de amassadura (%)	28,0 ± 1,0	EN 1016-3
Ar Contido (%)	35	EN 1015-6
Massa volúmica (kg/m³)	900 ± 50	EN 1015-17
Consumo teórico (kg/m²/cm)	6,5 ± 0,5	-
PRODUTO ENDURECIDO Após 28 dias	Valor	Norma
Resistência à compressão (N/mm²)	3,8	EN 1015-11
Resistência à flexão (N/mm²)	1,6	EN 1015-11
Reacção ao fogo (Classe)	A1	EN 998-2

4. APLICAÇÃO

Preparação da argamassa

O **RHP ecoCORK** deve ser amassado em equipamentos de projecção com doseamento automático de água.

Preparação de suportes

Os suportes devem estar isentos de poeiras, descofrantes, matérias desagregadas ou instáveis, eflorescências, bem como de qualquer tipo de material que afecte as normais condições de aderência. Particularmente, em tempo seco, deverá proceder-se à saturação por rega do suporte.

Em arestas, particularmente em cunhais dos edifícios e ombreiras de vãos, aconselha-se a aplicação de perfis adequados. Em aplicações sobre suportes antigos ou em operações de reabilitação de edifícios sugerimos a consulta prévia dos nossos Serviços Técnicos.

Aplicação

De forma a minimizar as juntas de trabalho, deverá assegurar-se, sempre que possível, a execução de panos completos. A retoma em juntas de trabalho deve ser realizada num prazo máximo de 12 horas.

Deve proceder-se ao reforço dos rebocos em áreas de tracção, especialmente na transição entre diferentes materiais de suporte, caixas de estore, cunhais, nos vértices de vãos e em panos esbeltos, com rede de fibra de vidro, com tratamento anti-alkalino, com a secção e passo de malha adequados.

As redes de reforço devem estar convenientemente embebidas na espessura do reboco, pelo que a sua aplicação deve ser realizada conforme se indica:

- ▶ Aplicar uma camada de **RHP ecoCORK** sobre o suporte;
- ▶ Embeber convenientemente a rede de reforço na camada aplicada;



Aplicação por projecção



Regularização



Talochamento

▶ Aplicar a argamassa necessária até obter a espessura adequada, assegurando que a camada inferior de embebedimento se mantém trabalhável.

Deve prever-se a existência de juntas de dilatação do reboco ou alhetas em panos de elevadas dimensões, especialmente em fachadas orientadas ao quadrante sul-poente, com espaçamento adequado ao normal funcionamento do reboco.

Após a aplicação da argamassa, por projecção directa ao suporte, o reboco deverá ser convenientemente apertado com uma régua de corte. À semelhança dos rebocos tradicionais, o **RHP ecoCORK** suporta acabamentos talochados ou cortados, sem qualquer operação, preparação complementar ou preparação para receber o revestimento final.

Após um tempo de espera não inferior a 14 dias aplicar a segunda fase do sistema de dupla camada, o acabamento, com a aplicação da argamassa **Reabilita RBR 20**.

Espessuras

Em aplicações exteriores, deve assegurar-se uma espessura mínima de 1 cm de forma a garantir o normal funcionamento do reboco à inibição do seu atravessamento pela água.

Em casos particulares, especialmente em zonas de significativa humidade e exposição a ventos, aconselha-se a execução de uma espessura mínima de 1,5 cm. Nunca aplicar camadas com espessuras inferiores a 1 cm.

De forma a evitar o “descaimento” das argamassas, não deverão ser aplicadas camadas com espessuras superiores a 2 cm. Sempre que se torne necessário proceder à execução de novas camadas, deverão assegurar-se os seguintes procedimentos:

▶ As diferentes camadas deverão apresentar espessuras idênticas entre si;

▶ A 2ª camada deve ser aplicada após o final de presa da primeira, devendo esta apresentar-se em idade jovem;

Em espessuras superiores a 4 cm, devem reforçar-se as camadas com redes de reforço em fibra de vidro, com tratamento anti-alkalino.

Restrições

O **RHP ecoCORK** por se tratar de uma argamassa hidráulica, não deve ser aplicado a temperaturas ambientes e de suporte inferiores a 5 °C e superiores a 30 °C. O seu tempo de cura é de 28 dias. Em tempo de seco ou de forte exposição aos ventos, deve proceder-se:

▶ À protecção das fachadas, de modo a minimizar a acção directa do vento;

▶ À rega diária das superfícies executadas, durante uma semana, de forma a manter os rebocos permanentemente humedecidas.

No caso de aplicação manual, deve proceder-se à aplicação de chapisco ou salpico (ver **Argamassa de Chapisco**).

Em superfícies de betão, em especial em tectos e zonas de significativo desenvolvimento ou solicitação, deve preparar-se o suporte com um filme de aderência (ver **SeciITKAD 90**).

Conselhos complementares

▶ A água de amassadura deve ser isenta de quaisquer impurezas (argila, matéria orgânica), devendo, de preferência, ser potável;

▶ Não deve ser aplicada qualquer argamassa que tenha iniciado o seu processo de presa. Não amolentar as argamassas;

▶ Não adicionar quaisquer produtos à argamassa devendo o **RHP ecoCORK**, ser aplicado tal qual é apresentado na sua embalagem de origem.

5. EMBALAGEM E VALIDADE

Embalagem

Saco de papel de 12 kg em paletes plastificadas.



Validade

6 meses desde que permaneçam inalteradas as condições de embalagem originais e em condições de armazenagem ao abrigo de temperaturas extremas e humidade.

- ▶ Não respirar as poeiras;
- ▶ Evitar o contacto com a pele e os olhos;
- ▶ Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista;
- ▶ Usar vestuário de protecção e luvas adequadas;
- ▶ Conservar fora do alcance das crianças.

Estando as condições de aplicação dos nossos produtos fora do nosso alcance não nos responsabilizamos pela sua incorrecta utilização. É dever do cliente verificar a idoneidade do produto para o fim previsto. Em qualquer caso a nossa responsabilidade está limitada ao valor da mercadoria por nós fornecida. A informação constante da presente ficha pode ser alterada sem aviso prévio. Em caso de dúvida, e se pretender esclarecimentos complementares solicitamos o contacto com os nossos serviços técnicos.

Revisão de Outubro de 2011
TC.E.075.1

6. PRODUTOS ASSOCIADOS

- ▶ **SecilTEK AD 90**
(Ponte de aderência monocomponente)
- ▶ **Reabilita RBR 20**
(Argamassa de reparação de rebocos)
- ▶ **Argamassa de Chapisco**
(Camada de aderência)



DESIGNAÇÃO: RHP ecoCORK
NORMA DE REFERÊNCIA: EN 998-1

ANO: 11

UTILIZAÇÃO PREVISTA: Argamassa industrial de ligantes inorgânicos para revestimentos exterior e interior de paredes e tectos.

Argamassa de reboco de uso geral (GP) para aplicações em exterior e interior

Produto fabricado pela Secil Martingança, S.A., cujo Sistema de Gestão da Qualidade está certificado pela APCER om o nº 2003/CEP.2132

7. HIGIENE E SEGURANÇA

(NÃO DISPENSA A CONSULTA DA FICHA DE SEGURANÇA DO PRODUTO)

- ▶ Irritante para os olhos, vias respiratórias e pele;
- ▶ Pode causar sensibilização em contacto com a pele;

ANEXO F

Ficha técnica: ISODUR

1. DESCRIÇÃO

O **ISODUR** é uma argamassa seca, formulada a partir de ligantes mistos, agregados especiais de muito baixa densidade (Poliestireno Expandido - EPS) e adições, destinada à execução de rebocos exteriores e interiores de isolamento térmico. É um produto vocacionado para aplicação projectada.

2. DOMÍNIO DE UTILIZAÇÃO

O **ISODUR** é utilizado como reboco de isolamento térmico, aplicado sobre suportes em alvenaria de tijolo, blocos de cimento ou betão, sendo constituinte do sistema de revestimento isolante que promove o tratamento térmico das paredes envolventes utilizando pano simples e/ou duplo.

Utilizado em intervenções de renovação de edifícios, a aplicação de **ISODUR** constitui um método prático e eficiente para incrementar o desempenho térmico daquelas construções, quer se trate de paredes de pano duplo quer de monolíticas.

O sistema do revestimento isolante que integra o **ISODUR** foi desenvolvido para fazer face às exigências regulamentares. O sistema aplicado de forma contínua nas superfícies da envolvente promove o tratamento eficaz das pontes térmicas, contribuindo de forma decisiva para a prevenção de patologias na construção. O **ISODUR** pode ainda ser utilizado como betonilha aligeirada para enchimento de pavimentos.

3. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

PRODUTO EM PÓ	Valor	Norma de ensaio
Granulometria (mm)	<1,5	-
PRODUTO EM PASTA	Valor	Norma de ensaio
Água Amassadura (%)	70 ± 5	EN 1016-3
Massa Volúmica (kg/m ³)	400 ± 50	EN 1015-6
Ar Contido (%)	30 ± 5	EN 1015-7
Consumo Teórico (kg/m ² /cm)	3,1	-
PRODUTO ENDURECIDO	Valor	Norma de ensaio
Massa Vólumica (kg/m ³)	250 ± 50	EN 1015-10
Aderência ao tijolo e ao bloco /modo de fractura (N/mm ²)	0,1 / A	EN 1015-12
Resistência Mecânica à Compressão aos 28 dias (Classe)	CSI	EN 1015-11
Capilaridade (Classe)	W2	EN 1015-18
Condutibilidade Térmica (W/m.°C)	0,07	EN 12664
Permeabilidade ao vapor (μ)	< 5	EN 1015-19
Módulo de elasticidade (N/mm ²)	500	BS 1881-5
Índice de Redução Sonora *	44 dB	-

* Índice de redução sonora a sons aéreos (Rw) - (parede de tijolo cerâmico de 22 cm com 1 cm de **RHP Plus Interior** e 4 cm de **ISODUR** revestido com 3 mm de **FLEXDUR** no exterior)



Mistura do ISODUR



Regulação de Consistência



Projecção do reboco ISODUR



Regularização com régua metálica



Aplicação de FLEXDUR sobre o suporte de ISODUR

4. APLICAÇÃO

Preparação de suportes

Os suportes devem estar isentos de poeiras, descofrantes, matérias desagregadas ou instáveis, eflorescências, bem como de qualquer tipo de material que afecte as normais condições de aderência. Particularmente, em tempo seco, deverá proceder-se à rega dos suportes de forma a regular o seu grau de absorção.

Em aplicações sobre suportes antigos ou em operações de reabilitação de edifícios sugerimos a consulta prévia dos nossos Serviços Técnicos.

Preparação da argamassa

O ISODUR deve ser amassado em equipamento de projecção com doseamento automático de água, devendo previamente afinar-se a amassadura para a consistência adequada.

Os equipamentos de projecção recomendados são os de utilização comum para rebocos projectados, devendo, para a aplicação do ISODUR, ser adaptados quanto ao tipo de misturador e consumíveis para projecção.

Aplicação

O ISODUR deve projectar-se directamente sobre os suportes dispendo a argamassa horizontalmente em cordões sobrepostos, de baixo para cima. Finalizada a projecção de uma camada deve nivelar-se utilizando régua metálicas adequadas, efectuando passagens de baixo para cima.

A aplicação de ISODUR deve ser realizada com espessuras totais entre 20 a 100 mm. Para espessuras superiores a 40 mm recomenda-se a execução do reboco térmico em duas

camadas de espessura idêntica separadas por um intervalo não inferior a 2 horas. A espessura de cada sub-camada não deve exceder os 4 cm. Para espessuras totais superiores às mencionadas recomenda-se o reforço do reboco ISODUR com a incorporação de uma rede de fibra de vidro com tratamento anti-alkalino fixada ao suporte com buchas adequadas.

Obtida a espessura total de enchimento convenientemente nivelada com régua metálica, deve proceder-se à preparação da superfície do reboco. Este processo efectua-se com recurso a uma régua de corte ou uma talocha de pregos e tem como objectivo remover os excessos de material, e tornar a superfície de reboco rugosa promovendo uma melhor aderência da camada de regularização. Este processo deve ser executado durante as primeiras 24 horas após finalizada a projecção.

Após preparação da superfície do reboco ISODUR deve-se esperar 3 semanas para a aplicação da camada de regularização FLEXDUR ou FIXDUR.

De forma a minimizar as juntas de trabalho, deverá assegurar-se - sempre que possível - a execução de panos completos. A retoma das juntas de trabalho deve ser realizada num prazo máximo de 12 horas.

Restrições

No caso de aplicação do ISODUR em suportes pouco absorventes como é o caso de suportes em betão, a camada inicial de Isodur não deve exceder os 2 cm de espessura.

O **ISODUR**, não deve ser aplicado a temperaturas ambientes e de suporte inferiores a 5 °C e superiores a 30 °C. O seu tempo de cura é de 3 semanas. Em tempo seco ou de forte exposição aos ventos, deve proceder-se à protecção das fachadas, de modo a minimizar a acção directa do vento.

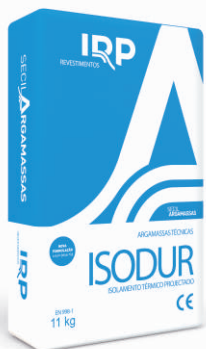
Conselhos complementares

- ▶ A água de amassadura deve ser isenta de quaisquer impurezas (argila, matéria orgânica), devendo, de preferência, ser potável;
- ▶ Não deve ser aplicada qualquer argamassa que tenha iniciado o seu processo de presa;
- ▶ Não amolentar as argamassas;
- ▶ Não adicionar quaisquer outros produtos à argamassa, devendo o **ISODUR**, ser aplicado tal qual é apresentado na sua embalagem de origem.

5. EMBALAGEM E VALIDADE

Embalagem

Sacos de papel de 11 kg em paletes plastificadas.



Validade

12 meses desde que permaneçam inalteradas as condições da embalagem originais e em condições de armazenagem ao abrigo de temperaturas extremas e da humidade.

6. PRODUTOS ASSOCIADOS

- ▶ **FIXDUR**
(Argamassa de regularização)
- ▶ **FLEXDUR**
(Argamassa de regularização e acabamento areado)
- ▶ **SecilTEK AD 20**
(Primário para REVDUR)
- ▶ **REVDUR**
(Acabamento acrílico colorido)

7. HIGIENE E SEGURANÇA

(NÃO DISPENSA A CONSULTA DA FICHA DE SEGURANÇA DO PRODUTO)

- ▶ Irritante para os olhos, vias respiratórias e pele;
- ▶ Pode causar sensibilização em contacto com a pele;
- ▶ Não respirar as poeiras;
- ▶ Evitar o contacto com a pele e os olhos;

- ▶ Em caso de contacto com os olhos, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista;
- ▶ Usar vestuário de protecção e luvas adequadas;
- ▶ Conservar fora do alcance das crianças.

Estando as condições de aplicação dos nossos produtos fora do nosso alcance, não nos responsabilizamos pela sua incorrecta utilização. É dever do cliente verificar a idoneidade do produto para o fim previsto. Em qualquer caso a nossa responsabilidade está limitada ao valor da mercadoria por nós fornecida. A informação constante da presente ficha pode ser alterada sem aviso prévio. Em caso de dúvida, e se pretender esclarecimentos complementares solicitamos o contacto com os nossos Serviços Técnicos.

Revisão de Setembro de 2011
TC.E.068.2



DESIGNAÇÃO: ISODUR
NORMA DE REFERÊNCIA: EN 998-1

ANO:09

UTILIZAÇÃO PREVISTA: Argamassa industrial de ligantes inorgânicos para isolamento térmico de exteriores e interiores.

Argamassa de isolamento térmico (T) para aplicação Exterior e Interior

Produto fabricado pela IRP, S.A. e Secil Martingança, S.A., cujo Sistema de Gestão da Qualidade está certificado pela APCER com o nº 2003/CEP.2132

ANEXO G

Artigo publicado na 2ª Conferência de Construção e Reabilitação Sustentável
de Edifícios no Espaço Lusófono

ARGAMASSAS COM COMPORTAMENTO TÉRMICO MELHORADO COM MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

Ana Armada Brás, PhD

ESTBarreiro/IPS

ana.bras@estbarreiro.ips.pt

Márcio Leal, Engº Téc. Civil

ESTBarreiro/IPS

Paulina Faria, PhD

FCT/UNL

Portugal

RESUMO

As características exigidas aos revestimentos de paredes são cada vez mais severas, não só a nível do comportamento mecânico, mas também ao nível do comportamento térmico com consequências directas deste no consumo de energia do edificado.

Numa perspectiva de reabilitação, a solução de utilização de um reboco que procure reduzir as necessidades energéticas do edifício aparenta não ser economicamente vantajosa. No entanto, esta solução revela-se cada vez mais interessante dado o custo crescente da energia para arrefecimento e aquecimento do ambiente interior, que pode fazer com que o investimento inicial seja amortizado mais rapidamente.

A aposta em conseguir obter um comportamento melhorado das argamassas passa pela introdução de novos ou menos correntes materiais na sua constituição, em particular os de origem sustentável. A formulação de uma argamassa para reboco com características térmicas, implica não só um conhecimento profundo das suas matérias-primas, mas também uma avaliação às diferentes combinações de componentes, de modo a otimizar propriedades no estado fresco e endurecido.

Pretende-se assim dar a conhecer alguns dos resultados de uma vasta campanha experimental sobre rebocos desenvolvidos com material sustentável totalmente *made in* Portugal, aferindo o seu desempenho *in situ*.

1. ENQUADRAMENTO

O desempenho dos revestimentos de paredes, em particular os exteriores, constitui a primeira barreira aos agentes de degradação, afectando directamente as construções. As argamassas de revestimento assumem assim um papel importante na indústria da construção onde, para além de intervirem na componente estética, apresentam também capacidades funcionais de protecção (nomeadamente de contributo para a impermeabilização).

Numa perspectiva de reabilitação, a solução de utilização de um reboco que procure reduzir as necessidades energéticas do edifício, aparenta não ser economicamente vantajosa. No entanto, esta solução revela-se cada vez mais interessante dado o custo crescente da energia para arrefecimento e aquecimento do ambiente interior, que pode fazer com que o investimento inicial seja amortizado mais rapidamente.

A aposta em conseguir obter um comportamento melhorado das argamassas passa pela introdução de novos ou menos correntes materiais na sua constituição, em particular os de origem sustentável como é o caso do granulado de cortiça. A formulação de uma argamassa para reboco com características térmicas, implica não só um conhecimento profundo das suas matérias-primas, mas também uma avaliação às diferentes combinações de componentes, de modo a otimizar propriedades no estado fresco e endurecido [1-6].

A utilização da cortiça e dos seus derivados para além da indústria rolheira tem vindo a aumentar de forma quase exponencial, sobretudo na construção civil, em pavimentos ou isolamentos, mas também numa infinidade de outras aplicações como marroquinaria, vestuário, pesca, mobiliário, calçado ou indústria automóvel e até espacial.

Estes derivados, como sejam o aglomerado branco e o aglomerado negro, podem ser simples ou compostos e são obtidos a partir dos processos de transformação da cortiça natural, sendo formados por granulados que resultam da trituração da cortiça virgem, por refugo e desperdícios de outras operações de processamento [7].

Com o objectivo de avaliar o desempenho térmico de argamassas com granulado branco de cortiça (CC), estudou-se a sua inclusão como substituto de areias em diferentes formulações. Assim, foram produzidas argamassas com percentagens de substituição entre 10 a 80% de agregados pétreos por CC, tendo-se para isso recorrido a três diferentes relações água/ligante (A/L).

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados na produção das argamassas de revestimento apresentados neste estudo foram os seguintes:

Ligante: CEM II B-L 32,5 N, segundo a EN 197-1;

Agregado fino: areia siliciosa fina 0/1 (Figura 1)

Granulado de cortiça: granulado branco de cortiça 0.5/2, fornecido pela Fabricor-Indústria, Preparação e Transformação de Cortiça, SA (Figura 1).

Superplastificante: Policarboxilato modificado (PCE) (Sika Viscocrete 3008)

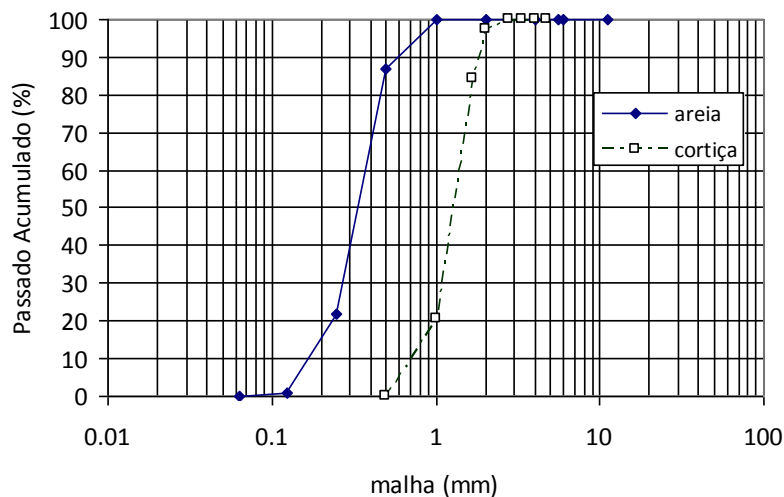


Figura 1: análise granulométrica dos agregados siliciosos e do granulado de cortiça, segundo o procedimento da norma NP EN 933-2 e da norma ISO 2030, respectivamente.

2.2. Optimização do desempenho em estado fresco

Antes da preparação da argamassa, o cimento seco foi misturado manualmente com uma colher de pedreiro a fim de evitar a formação de grânulos. O procedimento de mistura foi controlado para assegurar que o método de mistura é representativo, garantindo que variações incontroláveis em materiais e procedimentos não apresentam efeito substancial no comportamento da argamassa.

Realizaram-se diferentes ensaios a diversas composições distintas de argamassa com incorporação de granulado de cortiça.

O ensaio de determinação da consistência da argamassa foi realizado segundo a NP EN 1015-3 e serviu para caracterizar a evolução do espalhamento da argamassa com o tempo de repouso após a sua preparação (Figura 2).

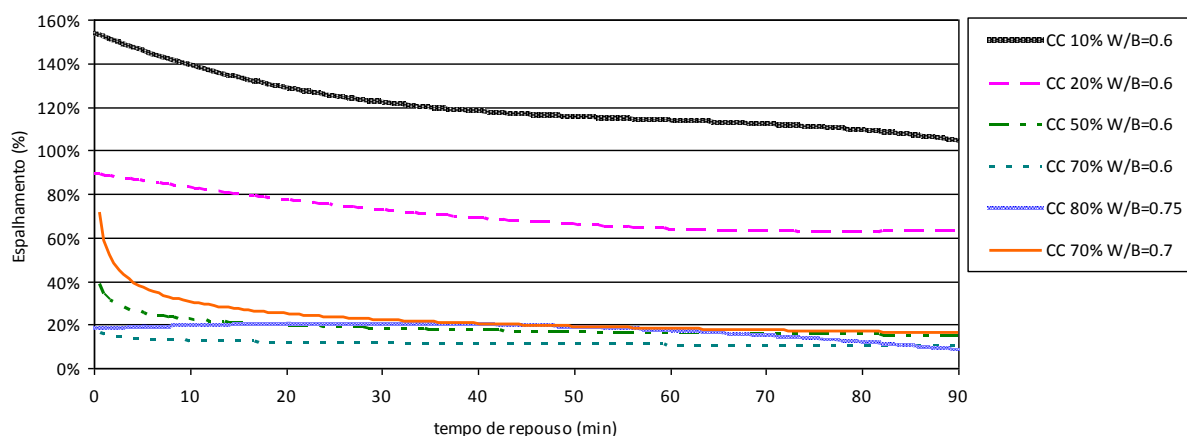


Figura 2: Variação do espalhamento com o tempo de repouso das várias composições de argamassa com diferente percentagem de substituição por cortiça.

Observa-se que o melhor comportamento em termos de trabalhabilidade ocorre para as menores percentagens de substituição de cortiça (10% e 20%). No entanto, uma vez que se pretende uma optimização do ponto de vista de condutibilidade térmica, estudaram-se percentagens de substituição de areia mais arrojadas, chegando-se até 80% de incorporação de cortiça. Verificou-se que o espalhamento decresce substancialmente nos primeiros 20 minutos para quase todas as composições, sendo que o melhor desempenho ocorre para a argamassa de cimento com 70% de granulado de cortiça e $A/L=0.70$.

Atendendo a que a aplicação da argamassa de reboco pode iniciar-se de manhã e continuar durante todo o dia, testou-se a capacidade da argamassa flocular a diferentes temperaturas (desde os 5°C até aos 45°C) (Figura 3). Verificou-se que para temperaturas superiores a 25°C ocorre uma perda acelerada da trabalhabilidade da argamassa.

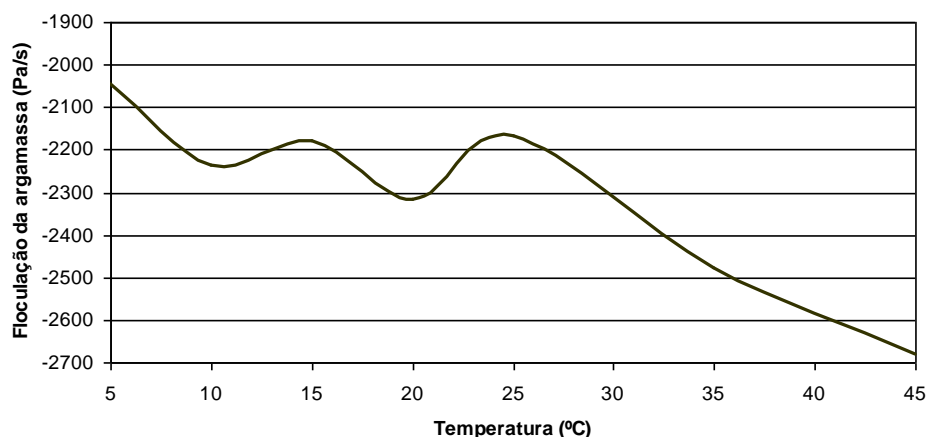


Figura 3: Variação da floculação da argamassa com 70% de cortiça e $A/L=0.70$ para diferentes temperaturas.

2.3. Resistências mecânicas e condutibilidade térmica

As resistências mecânicas dos provetes de argamassa realizados em moldes prismáticos $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ foram determinadas aos 28 dias (Figura 4).

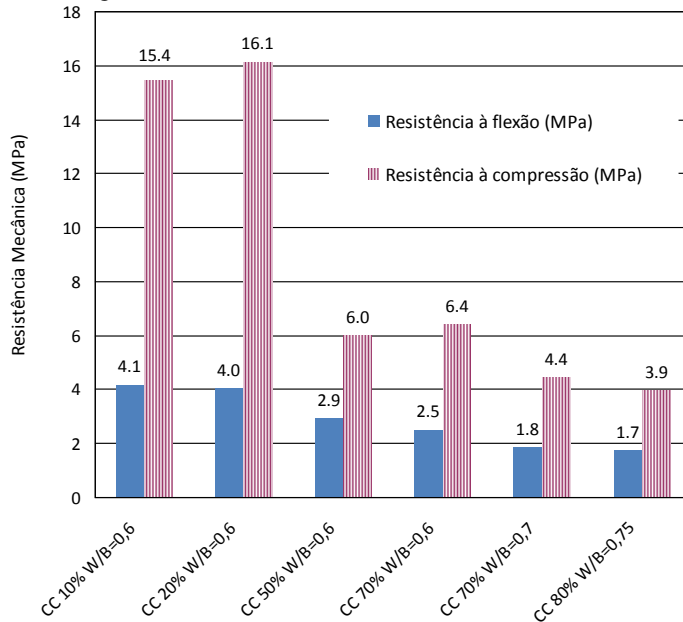


Figura 4: Resistência à compressão e à flexão das argamassas aos 28 dias.

Observa-se um decréscimo acentuado dos valores de resistência à compressão das argamassas na transição entre 20% e 50% de substituição de cortiça, onde a quantidade de ligante disponível é menor dando origem a ligações mais fracas entre as partículas de cimento. Por outro lado, a adição sucessivamente maior de cortiça conduz a uma maior superfície específica dos agregados reduzindo assim a capacidade de molhagem da argamassa, com consequência directa no abaixamento de resistências detectado para maiores percentagens de substituição.

A condutibilidade térmica dos compósitos foi determinada para as composições anteriormente apresentadas, constatando-se que existe um decréscimo significativo desta característica para composições com percentagem de substituição superiores a 50% de cortiça (Figura 5). De facto, verifica-se que a utilização de cortiça em argamassas de cimento conduz a um aumento da eficiência térmica 3 vezes superior aos rebocos convencionais.

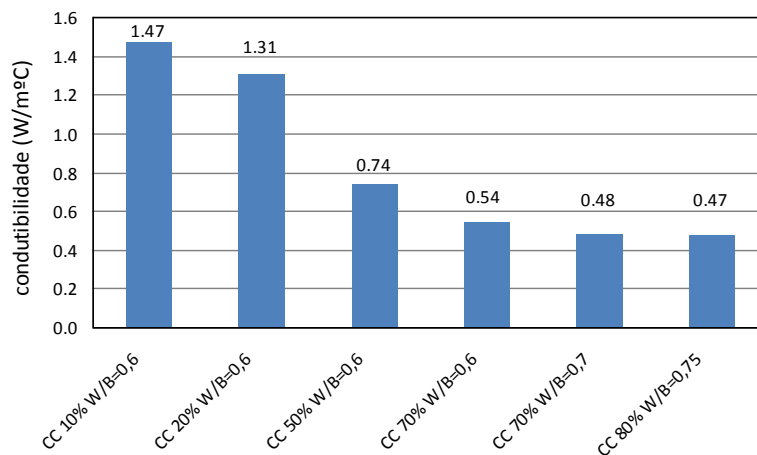


Figura 5: Condutibilidade dos compósitos com cortiça ensaiados.

3. CONCLUSÕES

A compatibilidade entre o granulado de cortiça e a argamassa de cimento e areia foi testada, verificando-se que é possível a incorporação de quantidades atractivas de cortiça em argamassas de reboco.

A trabalhabilidade das argamassas reduz-se com a incorporação de cortiça, reduzindo severamente o tempo aberto da argamassa, o que implica uma optimização da composição em termos de adjuvantes e relação A/L. O mesmo se aplica em relação à gama de temperaturas nas quais a argamassa apresenta boa trabalhabilidade.

Comparativamente com as argamassas tradicionais, os resultados revelam que a condutibilidade térmica destes compósitos consegue ser competitiva, contribuindo para a redução das necessidades energéticas do edifício.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da Prof. Teresa Cidade, dos Engenheiros Vítor Silva e Bruno Miguel na realização de alguns dos ensaios experimentais, à Fabricor-Indústria, Preparação e Transformação de Cortiça, SA e à SIKa pelas matérias-primas.

5. REFERÊNCIAS

- [1] BRAS, A.; HENRIQUES F. – *The influence of the mixing procedures on the optimization of fresh grout properties*. RILEM Materials and Structures 2009; 42: 1423-1432.
- [2] BRAS, A.; HENRIQUES, F.; CIDADE, M. – *Effect of environmental temperature and fly ash addition in hydraulic lime grout behaviour*, Construction and Building Materials Journal, 24: 1511-1517, 2010.
- [3] FREITAS, V.; ALVES, S. – *Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção – Tema 3: Argamassas de Reboco e Monomassas (EN998-1)*. APFAC, Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção.
- [4] MARTINS, M. – *Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça*. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010. Tese de Mestrado.
- [5] HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. *et al* – *Development of cork-gypsum composites for building applications*, Construction and Building Materials Journal, 13: 179-186, 1999.
- [6] BRAS, A.; HENRIQUES F. *Natural hydraulic lime based grouts- the selection of grout injection parameters for masonry consolidation*, Construction and Building Materials Journal, 26:135-144, 2012.
- [7] GIL, L. – *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*, APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, 2007.