



Comportamento Mecânico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça

Tiago Rodrigues da Silva

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Prof. Fernando António Baptista Branco

Júri

Presidente: Prof.^a Ana Paula Patrício Teixeira Ferreira Pinto França de Santana

Orientador: Prof. Fernando António Baptista Branco

Vogal: Prof.^a Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Julho 2014

Agradecimentos

Com a realização desta dissertação encerro mais um importante passo no meu percurso académico, pelo que não posso deixar de agradecer a um conjunto de pessoas cujo contributo foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Fernando Branco, meu orientador, agradeço o apoio, colaboração e conhecimentos transmitidos.

Ao Miguel Martins, meu colega de laboratório e de mestrado, pela ajuda no trabalho realizado na primeira fase dos ensaios laboratoriais.

Ao Sr. Leonel Silva, técnico do Laboratório de Materiais de Construção, do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, pela constante disponibilidade demonstrada e precioso auxílio na realização de diversos procedimentos e ensaios laboratoriais.

À Eng.^a Maria do Rosário Veiga pela disponibilização do equipamento de medição do módulo de elasticidade dinâmico, nas instalações do Laboratório de Ensaio de Revestimentos de Paredes (LNEC/LERevPa) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

À SOFALCA, na pessoa do Sr. Nuno Estrada, à SECIL, na pessoa do Eng.^o Vítor Vermelhudo, e à UNIBETÃO, na pessoa do Eng.^o Tiago Lamy, pelo fornecimento de materiais necessários à realização da campanha experimental.

Aos meus amigos e colegas do IST, em especial ao Cristiano, ao Francisco Gomes, ao Francisco Pereira, ao João, ao Ricardo e ao Vitalino pela amizade e companheirismo demonstrados no decorrer do nosso percurso académico.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo transmitidos desde sempre.

À minha família.

Resumo

A qualidade das soluções de revestimento, tanto interior como exterior, é um factor fundamental para o conforto, durabilidade e aspecto estético dos edifícios. Estes revestimentos devem possuir, entre outras, características mecânicas que lhes permitam suportar os esforços que sobre eles actuam, evitando desta forma a fendilhação, patologia responsável pela perda de estanqueidade e principal causa de degradação dos revestimentos. As reconhecidas propriedades isolantes da cortiça, assim como a sua elevada elasticidade, levaram a que se ponderasse a inclusão de regranulado negro de cortiça (RNC) em argamassas de reboco como alternativa às areias na função de agregado. Pretendeu-se com este trabalho avaliar o comportamento mecânico de argamassas de cal hidráulica e bastardas modificadas com RNC. Para tal foram produzidas argamassas com diferentes graus de substituição de areia por cortiça, desde os 40% até aos 100%, utilizando-se para tal três granulometrias distintas de RNC. A campanha experimental focou-se essencialmente nas propriedades mecânicas das argamassas, nomeadamente nas resistências à flexão e compressão, módulo de elasticidade, rigidez superficial e aderência ao suporte. Analisou-se também a variação dimensional das argamassas ao longo de 90 dias, como forma de avaliar o seu comportamento face à retracção.

Os resultados obtidos evidenciam que, apesar das argamassas com incorporação de cortiça apresentarem piores desempenhos no que toca à retracção e nas resistências à flexão e compressão, relativamente às argamassas convencionais, existem outras propriedades que saem beneficiadas, verificando-se uma descida significativa no módulo de elasticidade e o aumento da sua capacidade aderente.

Palavras-chave:

Argamassas de revestimento; Cortiça; Retracção; Comportamento mecânico; Módulo de Elasticidade

Abstract

The quality of wall coatings, both indoors and outdoors, is a key factor for comfort, durability and aesthetic appearance of buildings. These coatings must possess, among others, mechanical characteristics that enable them to withstand the loads that act on them, thereby preventing cracking, which is pathology responsible for the loss of tightness and the main cause of degradation of coatings. The recognized insulating properties of cork, as well as its high elasticity, led it to be considered, in the form of regranulated expanded cork (REC), as an alternative to sand for use as aggregate in mortars. The intention of this study was to evaluate the mechanical behavior of rendering mortars modified with REC. For this end, there were produced mortars with different degrees of replacement of sand by cork, from 40 % to 100 %, using three different grain sizes of REC. The experimental program focused primarily on the mechanical properties of the mortars, in particular, its flexural and compressive strength, elastic modulus, surface hardness and adhesion to the substrate. The dimensional variation of mortars was also analyzed over 90 days, in order to evaluate its behavior towards shrinkage.

The results show that, despite the cork modified mortars exhibiting worst performance when it comes to shrinkage and also flexural and compressive strength, compared to conventional mortars, there are other properties that are improved with the addition of cork, as is revealed through the significant drop of the elastic module and increase of the adhesive strength of these mortars.

Key-Words:

Coating mortars; Cork; Shrinkage; Mechanical behavior; Elastic modulus

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice Geral	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e justificação do tema.....	1
1.2. Objectivos.....	1
1.3. Estrutura e organização do trabalho.....	2
2. Estado de Arte	3
2.1. Argamassas	3
2.1.1. Generalidades.....	3
2.1.2. Argamassas para Revestimento de Paredes – Rebocos.....	3
2.1.3. Características dos rebocos	4
2.1.4. Requisitos de desempenho	9
2.2. Argamassas de ligante hidráulico.....	10
2.2.1. Introdução	10
2.2.2. Ligantes hidráulicos.....	10
2.2.3. Agregados pétreos	13
2.2.4. Água de amassadura	14
2.2.5. Composição de argamassas comuns	14
2.3. Cortiça.....	16
2.3.1. Introdução	16
2.3.2. Estrutura e propriedades da cortiça	17
2.3.3. Matérias-primas da cortiça.....	18
2.3.4. Aglomerado e regranulado de cortiça expandido	19
2.3.5. Estudos realizados acerca da utilização do RNC como agregado	21
2.4. Expectativas de desempenho	23
2.4.1. Massa volúmica.....	23

2.4.2. Resistência mecânica.....	23
2.4.3. Aderência.....	24
2.4.4. Retracção e resistência à fendilhação.....	24
2.4.5. Módulo de elasticidade.....	25
3. Campanha experimental	27
3.1. Considerações gerais	27
3.2. Descrição do plano de ensaios	28
3.3. Produção das argamassas e dos provetes de ensaio.....	29
3.3.1. Considerações gerais.....	29
3.3.2. Produção de argamassas.....	29
3.3.3. Preparação dos provetes prismáticos	30
3.3.4. Preparação da camada de revestimento dos tijolos	32
3.4. Condições de cura dos provetes.....	33
3.5. Formulações estudadas.....	34
3.6. Ensaio de caracterização das matérias-primas.....	35
3.6.1. Caracterização dos agregados	35
3.6.2. Caracterização dos ligantes.....	38
3.7. Ensaio de caracterização das argamassas no estado fresco	39
3.7.1. Consistência por espalhamento.....	39
3.7.2. Massa volúmica aparente.....	40
3.8. Ensaio de caracterização das argamassas no estado endurecido	41
3.8.1. Resistência à flexão e compressão.....	42
3.8.2. Ensaio de arrancamento por tracção – <i>Pull Off</i>	44
3.8.3. Massa volúmica aparente.....	46
3.8.4. Módulo de elasticidade dinâmico	46
3.8.5. Variação dimensional – Retracção.....	47
3.8.6. Rigidez superficial – Ensaio do esclerómetro pendular	49
4. Apresentação e análise dos resultados	53
4.1. Considerações iniciais	53
4.2. Caracterização dos constituintes das argamassas	53
4.2.1. Caracterização dos agregados	53

4.2.2. Caracterização dos ligantes.....	57
4.3. Ensaio de determinação da relação A/L	58
4.3.1. Argamassas de cal hidráulica	58
4.3.2. Argamassas bastardas de cal hidráulica e cimento.....	61
4.4. Ensaio preliminar de resistência à flexão e compressão.....	65
4.5. Caracterização das argamassas no estado fresco	66
4.5.1. Consistência por espalhamento.....	66
4.5.2. Massa volúmica aparente.....	67
4.6. Caracterização das argamassas no estado endurecido.....	69
4.6.1. Massa volúmica aparente	69
4.6.2. Resistência à flexão e compressão.....	71
4.6.3. Módulo de elasticidade dinâmico	77
4.6.4. Ensaio de arrancamento por tracção (<i>Pull-off</i>)	80
4.6.5. Esclerómetro pendular.....	85
4.6.6. Variação dimensional (ensaio de retracção).....	87
4.7. Síntese de resultados	92
4.7.1. Impacto da introdução do RNC.....	92
4.7.2. Desempenho como argamassas de revestimento.....	94
5. Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	97
5.1. Conclusões.....	97
5.2. Propostas de desenvolvimentos futuros	100
Referências bibliográficas	101
Anexos	I
Anexo A. Ficha técnica da cal hidráulica NHL 5.....	III
Anexo B. Ficha técnica do cimento CEM II/B-L 32,5 N	V
Anexo C. Análise granulométrica dos agregados.....	VII
Anexo D. Dados do ensaio de compressão e flexão por tracção aos 14 dias.....	IX
Anexo E. Dados do ensaio de compressão e flexão por tracção aos 28 dias	XI
Anexo F. Dados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas CH	XIII
Anexo G. Dados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas CH+C.....	XV

Anexo H. Dados do ensaio de arrancamento por tracção	XVII
Anexo I. Dados do ensaio do esclerómetro pendular	XIX
Anexo J. Dados do ensaio de retracção das argamassas CH.....	XXI
Anexo K. Dados do ensaio de retracção das argamassas CH+C.....	XXIII

Índice de Figuras

Figura 2.1- Diagrama triangular de Feret.....	15
Figura 2.2 – Estrutura Alveolar da Cortiça (Gil, 2009)	17
Figura 2.3 – Extração da cortiça com recurso a machados (Gil, 2006)	18
Figura 2.4 - Tabuleiro contendo regranulado de cortiça expandido, utilizado na campanha experimental.....	20
Figura 3.1 - Misturadora Mecânica	30
Figura 3.2 - Misturadora em movimento rápido.....	30
Figura 3.3 - Procedimento de junção do material com auxílio da raspadeira.....	30
Figura 3.4 - Mesa de compactação	31
Figura 3.5 - Utilização da espátula metálica para homogeneizar as camadas de argamassa	31
Figura 3.6 - Aspecto dos provetes prismáticos ainda no molde, logo após a moldagem.....	31
Figura 3.7 - Molde com pernos metálicos montados.....	31
Figura 3.8 - Montagem do suporte de madeira	32
Figura 3.9 - Aplicação da argamassa com auxílio da colher de pedreiro	32
Figura 3.10 - Molde preenchido com argamassa por regularizar.....	33
Figura 3.11 - Regularização da superfície do reboco usando uma régua metálica	33
Figura 3.12 - Aspecto final da argamassa após regularização	33
Figura 3.13 - Provetes prismáticos na câmara húmida	33
Figura 3.14 - Proвете utilizado no ensaio da massa volúmica aparente dos agregados	35
Figura 3.15 – Proвете de ensaio totalmente preenchido com agregado	35
Figura 3.16 – Série de peneiros utilizada na análise granulométrica dos agregados	36
Figura 3.17 - Secagem da superfície da areia no ensaio de absorção de água.....	37
Figura 3.18 - Compactação das duas camadas de argamassa no molde tronco-cónico.....	40
Figura 3.19 - Amostra de argamassa após ter sido submetida ao ensaio.....	40
Figura 3.20 - Alisamento da superfície da argamassa e pesagem do conjunto "recipiente+argamassa"	41
Figura 3.21 – Máquina de ensaio com provete pronto a ser ensaiado à flexão, à esquerda, e esquema de colocação do provete, à direita (imagem retirada da norma EN 1015 – 11:1999).....	43
Figura 3.22 - Ensaio de compressão	44

Figura 3.23 - Aspecto final das pastilhas após colagem.....	45
Figura 3.24 - Aparelho de arrancamento (máquina de <i>pull-off</i>)	45
Figura 3.25 - Aparelho utilizado na medição do módulo de elasticidade dinâmico.....	47
Figura 3.26 - Pormenor de colocação do provete no aparelho	47
Figura 3.27 - Gráfico de frequências onde se observa o pico de oscilação a que corresponde a frequência de ressonância do provete	47
Figura 3.28 - Provetes prismáticos com respectivos pernos metálicos nas extremidades.....	48
Figura 3.29 - Aparelho de medição da retracção	48
Figura 3.30 - Introdução do topo do provete no aparelho de medição.....	48
Figura 3.31 - Rotação longitudinal do provete.....	48
Figura 3.32 - Marcação dos pontos de ensaio	50
Figura 3.33 - Colocação correcta do tijolo.....	50
Figura 3.34 - Equipamento em posição de iniciar o ensaio	50
Figura 3.35 - Leitura do ressalto na escala graduada do aparelho	50
Figura 4.1 - Curva granulométrica da areia.....	56
Figura 4.2 - Curvas granulométricas do RNC	57
Figura 4.3 - Curva de consistência da argamassa CH 100A	58
Figura 4.4 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R1.....	59
Figura 4.5 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R2.....	59
Figura 4.6 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R1.....	59
Figura 4.7 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R2.....	60
Figura 4.8 - Curva de consistência da argamassa CH+C 100A.....	61
Figura 4.9 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R1	61
Figura 4.10 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R2	61
Figura 4.11 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R1	62
Figura 4.12 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R2	62
Figura 4.13 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R1+40R3	63
Figura 4.14 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R2+40R3	63
Figura 4.15 - Curva de consistência da argamassa CH+C 30R1+70R3	64

Figura 4.16 - Tensões de rotura à flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas de cal hidráulica	65
Figura 4.17 - Tensões de rotura à flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas bastardas ...	66
Figura 4.18 - Relação entre a MVA das argamassas de cal hidráulica e a % de RNC no agregado	68
Figura 4.19 - Relação entre a MVA das argamassas bastardas e a % de RNC no agregado	69
Figura 4.20 - Relação entre a MVA das argamassas e a % de cortiça no agregado.....	70
Figura 4.21 - Resistência à tracção for flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas de cal hidráulica	72
Figura 4.22 - Resistência à tracção for flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas de ligante misto.....	73
Figura 4.23 - Relação entre as resistências à flexão (Rf) e compressão (Rc) e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica (CH).....	74
Figura 4.24 - Relação entre as resistências à flexão (Rf) e compressão (Rc) e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica e cimento (CH+C)	74
Figura 4.25 - Relação entre o coeficiente de ductilidade e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica e cimento (CH+C)	75
Figura 4.26 - Relação entre o coeficiente de ductilidade e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica (CH).....	75
Figura 4.27 - Evolução com a idade das resistências mecânicas das argamassas CH	76
Figura 4.28 - Evolução com a idade das resistências mecânicas das argamassas CH+C	76
Figura 4.29 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas CH e CH+C	78
Figura 4.30 - Tensão de rotura à tracção por flexão e compressão e módulo de elasticidade aos 28 dias.....	79
Figura 4.31 – Relação entre o E e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH	80
Figura 4.32 – Relação entre o E e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH+C	80
Figura 4.33 - Relação entre a aderência e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH	81
Figura 4.34 - Provede de ensaio da argamassa CH 40A+R2 depois da execução do ensaio	82
Figura 4.35 - Relação entre a aderência e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH+C.....	83
Figura 4.36 - Comparação entre a tensão de aderência (Ra) e a resistência à tracção por flexão (Rf) nas argamassas em que a rotura é coesiva.....	84

Figura 4.37 - Relação entre a tensão de aderência (R_a) e a resistência à tracção por flexão (R_f) das argamassas CH.....	84
Figura 4.38 - Relação entre a tensão de aderência (R_a) e a resistência à tracção por flexão (R_f) das argamassas CH+C	84
Figura 4.39 - Ressalto e resistência à compressão (R_c) das argamassas CH.....	86
Figura 4.40 - Ressalto e resistência à compressão (R_c) das argamassas CH+C	86
Figura 4.41 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH ao longo dos primeiros 14 dias.....	88
Figura 4.42 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH+C ao longo dos primeiros 14 dias.....	88
Figura 4.43 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH ao longo de 90 dias	89
Figura 4.44 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH+C ao longo de 90 dias.....	90
Figura 4.45 - Variação da massa das argamassas CH ao longo do tempo.....	91
Figura 4.46 - Variação da massa das argamassas CH+C ao longo do tempo.....	91

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Requisitos estabelecidos para as características mecânicas das argamassas de substituição (Veiga, 2005).....	9
Tabela 2.2 - Funções e exigências mecânicas de rebocos correntes para edifícios novos (Veiga, 2005)	9
Tabela 2.3 - Classificação da cal hidráulica segundo a norma europeia NP EN 459	12
Tabela 2.4 - Características médias do regranulado expandido de cortiça (Gil, 2006).....	21
Tabela 2.5 – Algumas características de betões leves produzidos com regranulado de cortiça expandido – retirado de http://sofalca.pt/pdf/regranulado.pdf	23
Tabela 3.1 - Quadro resumo com a descrição das composições estudadas	34
Tabela 3.2 - Número de provetes e ensaios a realizar para cada tipo de argamassa	42
Tabela 4.1 - Baridade dos agregados.....	53
Tabela 4.2 - Resultados do ensaio de absorção de água e massa volúmica da areia	54
Tabela 4.3 - Resultados da análise granulométrica da areia	55
Tabela 4.4 - Características geométricas da areia de rio	55
Tabela 4.5 - Resultados da análise granulométrica do RNC	56
Tabela 4.6 - Características geométricas do RNC	56
Tabela 4.7 - Baridade dos ligantes	58
Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 100A.....	58
Tabela 4.9 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R1	59
Tabela 4.10 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R2	59
Tabela 4.11 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R1	59
Tabela 4.12 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R2	60
Tabela 4.13 - Relações A/L adoptadas nas argamassas de cal hidráulica	60
Tabela 4.14 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 100A	61
Tabela 4.15 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R1.....	61
Tabela 4.16 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R2.....	61
Tabela 4.17 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R1.....	62
Tabela 4.18 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R2.....	62
Tabela 4.19 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R1+R3	63

Tabela 4.20 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3....	63
Tabela 4.21 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 30R1+70R3.....	64
Tabela 4.22 - Relações A/L adoptadas para as argamassas bastardas	64
Tabela 4.23 - Consistência das argamassas de cal hidráulica	67
Tabela 4.24 - Consistência das argamassas bastardas	67
Tabela 4.25 - MVA das argamassas de cal hidráulica no estado fresco	67
Tabela 4.26 - MVA das argamassas bastardas no estado fresco	68
Tabela 4.27 - Massa volúmica aparente aos 28 dias	70
Tabela 4.28 - Resultados do ensaio de flexão e compressão aos 28 dias.....	71
Tabela 4.29 - Coeficientes de ductilidade das argamassas.....	75
Tabela 4.30 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas em estudo.....	78
Tabela 4.31 - Tensões de aderência e tipologias de rotura	81
Tabela 4.32 - Ressaltos obtidos do ensaio do esclerómetro pendular	85
Tabela 4.33 - Características mecânicas das argamassas com cortiça comparadas às das misturas de referência.....	92
Tabela 4.34 - Resumo das propriedades mecânicas no estado endurecido das argamassas estudadas	95
Tabela 4.35 - Análise do desempenho mecânico das argamassas CH+C na óptica de utilização em edifícios recentes	96

1. Introdução

1.1. Enquadramento e justificação do tema

As argamassas de revestimento desempenham importantes funções na construção tradicional, sendo um dos elementos fundamentais para a garantia de estanqueidade dos paramentos e contribuindo em grande parte para o aspecto estético dos edifícios.

Embora as argamassas de reboco à base de ligantes minerais garantam, à partida, boas resistências à compressão e ao choque e sejam, potencialmente, materiais duráveis, são também muito susceptíveis à fendilhação, o que favorece as infiltrações e leva ao aparecimento de outras patologias, tais como manchas de humidade e colonizações biológicas. Estas situações prejudicam gravemente o desempenho do revestimento, promovem a degradação das alvenarias e dos materiais estruturais e têm um impacto negativo no aspecto geral das construções, afectando a qualidade de vida dos utilizadores.

Numa altura em que cada vez mais existe uma aposta no desenvolvimento de soluções construtivas que promovam a sustentabilidade, nomeadamente através da utilização de materiais naturais e da melhoria do desempenho térmico das fachadas, surge a hipótese de utilização da cortiça em argamassas para reboco como forma de melhorar o desempenho térmico do revestimento e reduzir a sua fissuração. As suas conhecidas propriedades térmicas e elevada elasticidade levaram à ponderação da sua utilização em argamassas como forma de melhorar o conforto ambiental das habitações, através da diminuição da condutibilidade térmica do reboco, e aumento a resistência à fendilhação do revestimento.

Esta dissertação irá focar-se essencialmente no estudo do impacto da introdução do regranulado negro de cortiça (RNC), como substituto da tradicional areia de rio, no comportamento mecânico de argamassas para reboco. Paralelamente foi desenvolvido um outro trabalho em que se analisou o comportamento físico das mesmas argamassas, nomeadamente o seu desempenho térmico, tendo sido realizado pelo aluno Miguel Filipe dos Santos Martins do Instituto Superior Técnico.

1.2. Objectivos

A utilização de regranulado de cortiça expandida como agregado em betões leves e argamassas de enchimento é um tema já abordado diversas vezes por vários autores e, inclusivamente, em outras dissertações de mestrado, existindo, portanto, uma base de conhecimento consistente que permite, de facto, considerar como válida a sua utilização nesses casos.

Pretende-se, com este trabalho, contribuir para o conhecimento sobre a influência que a utilização deste tipo de cortiça tem sobre as características mecânicas de uma argamassa para revestimento. Através da análise do comportamento mecânico de argamassas preparadas com cortiça e

comparando com as características já conhecidas das soluções comuns para argamassas de revestimento, retirar-se-ão algumas conclusões acerca da validade deste tipo de solução.

Espera-se averiguar até que ponto a substituição parcial ou total de areia, na composição da argamassa, irá traduzir-se em valores das resistências à compressão e flexão dentro do aceitável, tendo em conta a função da argamassa. Estudar-se-á a influência da adição da cortiça na capacidade da argamassa aderir ao suporte, assim como no módulo de elasticidade e na rigidez superficial do reboco. Tendo em conta as características únicas da cortiça, no que toca à sua capacidade impermeabilizante e elevada elasticidade, foi também realizado o ensaio de variação dimensional para se quantificar o comportamento das argamassas de cortiça face ao fenómeno da retracção, retirando-se assim conclusões quando à resistência à fendilhação de soluções de reboco que recorram às argamassas estudadas.

1.3. Estrutura e organização do trabalho

O texto da presente dissertação está organizado em cinco capítulos, cujo conteúdo é apresentado de seguida.

No capítulo 1 é feito um breve enquadramento do tema, salientando-se as motivações que levaram à sua realização. De seguida são indicados os principais objectivos do estudo. Para finalizar o capítulo, é apresentada a estrutura e organização do presente texto.

No capítulo 2 é exposta a pesquisa bibliográfica que foi levada a cabo de modo a adquirir um conhecimento geral sobre o tema. Inicia-se com uma análise sobre revestimentos de paredes, apontando as suas funções e requisitos de bom desempenho. De seguida são apresentadas as características gerais dos rebocos de argamassas hidráulicas e dos seus constituintes tradicionais, bem como das composições mais utilizadas. Por fim, dedica-se um sub-capítulo ao estudo da cortiça e dos seus sub-produtos, nomeadamente do RNC. É ainda feita uma análise às propriedades deste material e são analisados alguns resultados obtidos em outros trabalhos laboratoriais que envolveram a utilização do RNC como agregado.

No capítulo 3 são definidas as composições de argamassas estudadas e os critérios utilizados na sua formulação. É também apresentado o plano de ensaios, tendo por base a avaliação das propriedades mecânicas das diferentes argamassas estudadas, sendo feito a descrição dos procedimentos seguidos e a referência à normalização utilizada.

No capítulo 4 faz-se a apresentação e discussão dos resultados obtidos na campanha experimental, desde os ensaios de caracterização dos constituintes das argamassa até aos ensaios efectuados às argamassas no estado endurecido, passando pelos ensaios realizados no estado fresco.

Por fim, no capítulo 5, faz-se um resumo das conclusões que se retiraram ao longo do trabalho experimental, sendo adicionalmente feitas algumas propostas para desenvolvimentos futuros.

2. Estado de Arte

2.1. Argamassas

2.1.1. Generalidades

Na sua génese, uma argamassa de construção consiste na mistura de um ou mais agentes ligantes com o auxílio de água, dando origem a uma mistura em pasta, à qual são adicionados um conjunto de agregados (Gaspar, 2002). Adicionalmente, poderá ainda incorporar adições e adjuvantes.

Como refere Silva (2006), as argamassas desempenharam, desde a Antiguidade, um papel muito relevante na construção e reparação de edifícios, sendo utilizadas com fins essencialmente de protecção das alvenarias face à agressão dos agentes climáticos. As características mecânicas e físicas da argamassa resultante vão depender largamente do tipo e qualidade dos materiais utilizados na sua amassadura, e também da proporção entre esses mesmos materiais (Martins & Assunção, 2004).

É, portanto, possível a obtenção de argamassas com características distintas que vão ser utilizadas para diferentes finalidades. Tal como as características das argamassas variam conforme o tipo de função a desempenhar, também o tipo do edifício, as características dos materiais de base e a idade do suporte são factores que vão influenciar as exigências relativamente ao tipo de argamassa a utilizar (Martins & Assunção, 2004).

Apresenta-se de seguida alguns exemplos de produtos que podem ser considerados argamassas de construção (Gomes et al, 2006):

- Argamassas de assentamento de alvenarias e cantarias
- Argamassas para rebocos
- Cimentos cola
- Argamassas para juntas
- Argamassas para regularização de pavimentos
- Argamassas para execução de remates e acabamentos

2.1.2. Argamassas para Revestimento de Paredes – Rebocos

A qualidade dos revestimentos influencia as condições de habitabilidade dos locais de residência e trabalho do utilizado, sendo por isso fundamental a escolha da solução de parede como um todo. Os revestimentos devem fazer parte do projecto e ser definidos com rigor, quer na sua constituição e forma, quer nas condições e métodos de aplicação. Em termos funcionais, devem contribuir para

a estabilidade, segurança contra riscos de incêndio, higiene, segurança no uso, protecção contra o ruído, economia de energia, durabilidade e adequabilidade ao uso (Freitas & Alves, 2008).

Em Portugal, as alvenarias exteriores dos edifícios constroem-se, em geral, com tijolo, blocos de betão ou blocos de argila expandida, complementadas com um revestimento adequado. Este revestimento tem como objectivo proteger o edifício da acção das intempéries, garantindo as funções de impermeabilização e resistência mecânica e assegurar o efeito estético da fachada (Freitas & Alves, 2008).

2.1.3. Características dos rebocos

Para desempenharem correctamente as funções que lhes são exigidas, as argamassas para revestimento de paredes devem satisfazer determinadas regras de qualidade, das quais se destacam, entre outras, as relacionadas com os aspectos da trabalhabilidade, aderência ao suporte, resistência aos choques, compatibilidade com o suporte e resistência à fendilhação. O grau de exigência relativo a cada uma dessas regras de qualidade será eventualmente maior no caso dos revestimentos exteriores, comparativamente com os revestimentos interiores, embora em ambos os casos as preocupações sejam essencialmente as mesmas.

Apresentam-se de seguida as características relacionadas com o comportamento mecânico das argamassas de reboco, consideradas como as mais relevantes para a sua aplicação como revestimento de paredes.

2.1.3.1. Trabalhabilidade

A argamassa a ser utilizada como revestimento deve possuir uma trabalhabilidade que permita a sua fácil aplicação, de modo a proporcionar uma boa aderência ao suporte, uma boa compacidade, e a possibilidade de ser trabalhada à superfície para que o aspecto final do reboco seja satisfatório. Muitos aspectos do comportamento do reboco dependem da sua correcta aplicação, que, por sua vez, só é possível se a argamassa tiver uma boa trabalhabilidade, pelo que esta característica da argamassa em estado fresco tem uma grande importância. O aumento do teor de finos dos agregados utilizados, o aumento do teor de ligante e a quantidade de água de amassadura são alguns factores que permitem aumentar a trabalhabilidade (Veiga, 1998).

2.1.3.2. Aderência ao suporte

Para o bom desempenho dos revestimentos é importante que estes estejam bem aderentes ao suporte, o qual é constituído, em grande parte, por dois materiais de características diferentes, nomeadamente betão e alvenaria (Miranda, 2004). A aderência é a propriedade que o revestimento tem de resistir a tensões normais ou tangenciais na superfície de interface do suporte. Esta característica depende em grande parte da qualidade e bom estado de conservação da zona da interface da argamassa com o suporte (Silva, 2006).

Uma boa aderência ao suporte é fundamental para o cumprimento das funções de impermeabilização do revestimento e é condicionante para a sua durabilidade. Além disso, influencia bastante a resistência à fendilhação, na medida em que condiciona a distribuição de tensões (geradas por movimentos diferenciais em relação ao suporte) na argamassa (Veiga, 1998).

Veiga (1998) menciona que, nas argamassas tradicionais não-adjuvadas, a aderência processa-se por penetração capilar da água de amassadura nos poros do suporte, arrastando consigo os elementos mais finos da argamassa. Assim, para que a ligação seja boa, é necessário que as partículas finas formem com a água uma pasta capaz de penetrar facilmente no suporte, endurecendo em seguida rapidamente.

2.1.3.3. Resistência mecânica

É a propriedade que permite às argamassas, no estado endurecido, suportar os esforços mecânicos que sobre elas actuam, sem se observar desagregação ou deformação plástica visível (Gomes et al, 2006). Esta resistência depende da natureza e consumo de ligantes e agregados, podendo dizer-se de maneira geral que ela diminui com o aumento da proporção de agregado (Martins & Assunção, 2004). A natureza dos agregados tem influência na resistência da argamassa, na medida em que a excessiva finura dos mesmos leva a que seja necessário o consumo de água de amassadura superior à necessária para a hidratação do ligante, originando uma argamassa mais porosa e conseqüentemente menos resistente (Martins & Assunção, 2004).

Os dois tipos de tensões mais relevantes para o estudo de rebocos são as tensões de compressão e as tensões de tracção por flexão. Segundo Coutinho (1988), a resistência a tracção é mais influenciada pelas condições de cura do que a resistência à compressão. Uma inadequada cura afecta a camada superficial do material cimentício, originando a microfissuração, que são pontos preferenciais de início da superfície de fractura, e enfraquece a ligação pasta-agregado, devido à fissuração provocada pela retracção de secagem. No ensaio de flexão, a superfície de rotura é aproximadamente perpendicular à direcção das tensões e intersecta uma área considerável ocupada por agregados, para além de a rotura ocorrer sempre na secção transversal mais fraca entre os apoios (a secção com a resistência da ligação pasta-agregado mais fraca e com maior concentração de defeitos). Por estas razões, a resistência à flexão é mais sensível à natureza do agregado, à área superficial do agregado e à resistência da ligação pasta-agregado do que a resistência à compressão.

Por outro lado, a resistência à flexão é menos sensível ao aumento da porosidade da matriz de ligante (introdução de ar) do que a resistência à compressão, especialmente para classes de resistência elevada (Neville, 1982).

2.1.3.4. Resistência ao choque

A resistência ao choque de rebocos é um factor que poderá ter alguma importância nos revestimentos de paredes, especialmente no caso dos revestimentos exteriores. O facto de se estar

a lidar com ligantes de natureza mineral assegura, à partida, resistências ao choque razoáveis, partindo do princípio de que a aplicação do reboco é sobre um suporte tradicional (alvenaria, betão, pedra, etc.). Segundo Veiga (1998), as maiores preocupações relativamente a esta característica, surgem quando se aplica uma camada relativamente fina de argamassa, geralmente de ligante misto, sobre um suporte com pouca resistência aos choques, tais como suportes isolantes.

2.1.3.5. Módulo de elasticidade

A elasticidade de uma argamassa é a capacidade que esta tem de absorver deformações sem que ocorra rotura, retomando as suas dimensões iniciais no final da solicitação que lhe é imposta (Cincotto, Silva & Cascudo, 1995). Deste modo percebe-se que a qualidade e durabilidade de uma argamassa de revestimento estão directamente ligadas à capacidade do reboco em absorver deformações, medidas através do módulo de elasticidade (E). Este é um parâmetro mecânico obtido da razão entre a tensão exercida e a deformação sofrida pelo material, neste caso, o reboco, tratando-se assim de uma medida do comportamento elástico do revestimento, e fornece informações acerca da sua deformabilidade e rigidez (Silva & Campiteli, 2006), sendo uma propriedade mecânica de grande interesse para a caracterização de uma argamassa de revestimento, pois está fortemente ligada aos fenómenos de fendilhação. Ao longo da sua existência, um reboco de revestimento vai sendo solicitado por tensões de tracção resultantes de fenómenos como a retracção por secagem, retracção devido a efeitos térmicos ou acções externas ao revestimento, normalmente relacionadas com o suporte, que podem causar o aparecimento de fendas na superfície do reboco, caso a elasticidade e resistência à tracção deste não sejam adequadas. Os fenómenos causadores de retracção em argamassas vão ser abordados mais à frente, no subcapítulo correspondente.

Quando os módulos de elasticidade do suporte e do revestimento são muito distintos, podem ocorrer descolamentos do revestimento, condicionando a durabilidade da solução de revestimento. Esta situação é agravada no caso de o módulo de elasticidade do revestimento ser muito superior ao do suporte, uma vez que o revestimento suportará as tensões de compressão mais fortes e, devido a sua baixa espessura, estará sujeito a fenómenos de encurvadura que vão provocar descolamentos localizados ou generalizados (Veiga, 1998).

2.1.3.6. Compatibilidade com o suporte

Uma argamassa de revestimento deve poder ser aplicada em espessura suficiente para dissimular os defeitos da alvenaria de suporte e corrigir as suas irregularidades normais (compatibilidade geométrica). Do ponto de vista mecânico, deve aderir bem ao suporte e apresentar características adaptadas ao mesmo, em particular, quando o revestimento é aplicado sobre um suporte de baixa resistência mecânica, uma vez que não deve ele próprio ser demasiado resistente ou rígido, para não transmitir tensões elevadas que possam danificar o suporte (Veiga, 1998).

2.1.3.7. Retracção

Genericamente, a retracção define-se como a diminuição do volume aparente de um sólido, medida numa dada direcção. É uma grandeza adimensional, calculada através do quociente entre a variação de comprimento do sólido, nessa direcção, e o valor desse comprimento, antes de ocorrer a variação (Gomes et al, 2006).

A retracção é um importante factor no desempenho de argamassas, principalmente a retracção restringida (no caso de aplicação em reboco), devido à relação entre esta característica e a formação de fendilhação.

Os elementos de argamassa estão sujeitos a variação de volume, desde a amassadura até ao estado final de equilíbrio com o ambiente, a temperatura constante e na ausência de cargas exteriores aplicadas (Veiga, 1998). Estas variações, resultantes da interacção de vários fenómenos, traduzem-se, geralmente, em contracções na maior parte desse período; no entanto, nalguns períodos de vida da argamassa e em determinadas condições de humidade ambiente, o efeito final dos fenómenos envolvidos pode ser a expansão. A estes fenómenos de contracção e/ou expansão é costume dar-se o nome genérico de retracção, mesmo quando se verifica uma variação positiva do tamanho do elemento.

O conhecimento do fenómeno da retracção e da sua evolução é de extrema importância para que se possa controlar as suas causas e tentar minimizar os seus efeitos, que vão desde microfissuras, praticamente sem influência nas características do reboco, até fissuração geral da superfície da argamassa, o que põe em causa o seu aspecto estético e compromete as características de durabilidade do mesmo.

Devido à sua complexidade e à multiplicidade de factores que a influenciam, a retracção é, ainda, um fenómeno dificilmente quantificável com rigor e com efeitos pouco previsíveis, embora haja algum consenso, entre investigadores, sobre as suas principais causas.

O reconhecimento da importância deste fenómeno levou a que diversos investigadores se tenham dedicado ao seu estudo, concordando, nas suas publicações, que as principais causas são a dessecação da argamassa, a hidratação do ligante e a carbonatação (Veiga, 1998).

Dessecação: A saída de água para o exterior da argamassa, através dos capilares e canais de menores dimensões, fenómeno conhecido por dessecação, dá origem a retracção (contracção) acompanhado de uma redução significativa de massa, devido à perda de água. A dessecação deve-se, principalmente, à evaporação e à absorção de água por outros elementos em contacto com a argamassa, nomeadamente por parte do suporte, quando se trata de revestimentos de paredes (Coutinho, 1988; Tamin, 1986).

Hidratação: Os fenómenos de hidratação do ligante contribuem para a retracção global, devido aos novos compostos formados, à exotermia de algumas das reacções químicas e à autodessecação gerada pelo consumo de água nos poros, nessas mesmas reacções (Veiga, 1998).

À contribuição para o efeito de retracção, por parte dos fenómenos de hidratação, Tamin (1986) designa por retracção autogénea ou endógena, independentemente da sua sobreposição ou interacção com outras causas de retracção.

Ao contrário do que acontece com a retracção por dessecação, a retracção por hidratação tem um coeficiente de reversibilidade reduzido, principalmente devido à importância da componente química neste tipo de retracção (Veiga, 1998).

Carbonatação: A retracção por carbonatação deve-se à combinação do dióxido de carbono da atmosfera com os componentes hidratados dos ligantes hidráulicos, em especial com o hidróxido de cálcio, originando produtos sólidos, como o carbonato de cálcio. O volume total destes produtos sólidos é inferior ao volume dos componentes do ligante que entraram na reacção, mas a sua massa é superior. De referir que estas reacções dão-se com libertação de água, o que promove a contracção da argamassa.

Os rebocos são dos elementos construtivos mais facilmente sujeitos à carbonatação, pois as pequenas espessuras com que são aplicados e a sua elevada permeabilidade aos gases favorecem a penetração do dióxido de carbono.

Mais uma vez, este tipo de retracção é praticamente irreversível devido à natureza definitiva apresentada pelas reacções de formação do carbonato de cálcio (Veiga, 1998).

2.1.3.8. Resistência à fendilhação

Segundo Veiga (1998), a resistência de um reboco à fendilhação é, em grande parte, função, por um lado, da capacidade da argamassa para resistir às tensões de tracção nela induzidas pelo efeito da restrição da retracção – conferida, principalmente, pela aderência a um suporte relativamente rígido – e, por outro lado, da intensidade dessas tensões. Assim a tendência para a fendilhação por retracção será tanto maior quanto mais elevada for a retracção e quanto maior for a relação módulo de elasticidade/resistência à tracção. No entanto, nas argamassas tradicionais, estas características são interdependentes e o modo como se relacionam entre si é bastante complexo, dificultando a sua avaliação. Ainda assim, considerando os aspectos referidos, importa reter que uma retracção reduzida e um módulo de elasticidade baixos, aliados a uma boa aderência e uma retenção de água elevada, vão ser determinantes para o comportamento à fendilhação. Ao longo do trabalho foram realizados ensaios de caracterização de grande parte destas propriedades, pelo que será possível retirar conclusões quanto à capacidade resistente à fendilhação das várias argamassas estudadas.

2.1.4. Requisitos de desempenho

Relativamente a requisitos de desempenho de argamassas de revestimento, é importante, antes de mais, definir o tipo de edifício a que se destina o reboco e a função que esse reboco irá desempenhar. De uma forma geral, podem ser definidas dois grupos de requisitos distintos: os relativos a argamassas de substituição para edifícios antigos e os relativos a argamassas para edifícios recentes.

Para definir as características a respeitar pela argamassa de substituição será necessário conhecer as características dos elementos pré-existentes com os quais ela irá interagir. Uma avaliação caso a caso destas características das paredes afigura-se apenas viável para construções de elevado interesse histórico ou arquitectónico, ainda que a experiência acumulada permita recomendar os limites apresentados na Tabela 2.1, referentes a características mecânicas das argamassas (Veiga, 2005).

Tabela 2.1 - Requisitos estabelecidos para as características mecânicas das argamassas de substituição (Veiga, 2005)

Argamassa	Características mecânicas (Mpa)			Aderência (Mpa)
	Rt	Rc	E	
Reboco exterior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	0,1 - 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco
Reboco interior	0,2 - 0,7	0,4 - 2,5	2000 - 5000	
Juntas	0,4 - 0,8	0,6 - 3	3000 - 6000	0,1 - 0,5 ou rotura coesiva pela junta

Tabela 2.2 - Funções e exigências mecânicas de rebocos correntes para edifícios novos (Veiga, 2005)

Função	Exigência funcional	Característica	Normalização	Especificação	
Impermeabilização e Protecção	Resistência mecânica	Resistência mecânica Rc (Mpa)	EN 998-1	Classes	CS I: 0,4 a 2,5; CS II: 1,5 a 5,0; CS III: 3,5 a 7,5; CS IV: ≥ 6
	Susceptibilidade à fendilhação	Módulo de elasticidade E (Mpa)	Relatório do LNEC 427/05 - NCct e exigências complementares do LNEC		E \leq 10000
		Retracção		Preferencialmente moderada	
		Resistência à tracção		Preferencialmente elevada	
		Ensaio de retracção restringida		Susceptibilidade média ou fraca	
Durabilidade	Aderência ao suporte	Resistência ao arrancamento (Mpa)		$\geq 0,3$ Mpa ou rotura coesiva	

Quanto a requisitos para argamassas para edifícios recentes, apresenta-se na Tabela 2.2 uma síntese das exigências ao nível das características mecânicas de rebocos para este tipo de edifícios, assim como o documento normativo de referência.

2.2. Argamassas de ligante hidráulico

2.2.1. Introdução

A revolução industrial conduziu ao aperfeiçoamento dos métodos e técnicas de transformação dos materiais, o que passou a permitir a produção industrial de ligantes hidráulicos, fazendo com que estes se tornassem no principal tipo de ligante utilizado no fabrico de argamassas para construção (Gomes et al, 2006).

Até essa época, a cal aérea e o gesso eram os principais ligantes conhecidos e utilizados, mas desde meados do século XIX que se começou a incrementar o uso da cal hidráulica e, principalmente, do cimento, à medida que as suas propriedades iam sendo cada vez conhecidas e o seu custo se tornou competitivo. Nas últimas décadas, esta tendência tem vindo a acentuar-se, tendo o cimento substituído o papel das cals, na produção da generalidade das argamassas para construção nova, principalmente devido à maior resistência mecânica e à velocidade elevada com que adquire tais resistências. A utilização da cal aérea e cal hidráulica está, actualmente, ligada a intervenções de recuperação e reabilitação de edifícios antigos ou com maior relevância histórica (Gomes et al, 2006).

Os rebocos de cimento e areia, que actualmente são os mais correntes na preparação de argamassas de reboco, não têm um comportamento ideal. A evolução dos conhecimentos no que respeita aos rebocos para edifícios correntes tem levado a que sejam cada vez mais preconizadas argamassas bastardas de cimento e cal (hidráulica ou aérea), as quais têm produzido bons resultados ou argamassas com menores teores de cimento e diversos aditivos e adjuvantes para melhorar diversas características (Cruz, 2008).

2.2.2. Ligantes hidráulicos

O ligante é o componente da argamassa que, quando misturado com água, é responsável pela aglomeração dos seus vários constituintes, conferindo ao conjunto coesão e resistência necessárias à sua correcta aplicação e utilização (Coutinho, 1988). O seu poder aglutinante deve ser capaz de promover a ligação da argamassa aos suportes onde é aplicada, para além de contribuir para a estabilidade dos rebocos, quando em contacto com o meio ambiente e durante o processo de secagem (Cruz, 2008).

Os ligantes minerais dividem-se em hidráulicos e aéreos, sendo a cal hidráulica e o cimento os mais relevantes representantes da parte dos ligantes hidráulicos, e a cal aérea um exemplo de ligante aéreo. Ambos os tipos são constituídos por um material finamente moído que, quando misturado

com água, formam uma pasta que faz presa e endurece, sendo que a diferença entre os dois reside nas reacções envolvidas nesse processo de endurecimento. Nos ligantes hidráulicos, a sua presa e endurecimento acontecem essencialmente por reacções de hidratação, o que exige a presença de água no processo, permitindo que este aconteça mesmo debaixo de água (Penas, 2008). Já no caso dos ligantes aéreos, os seus ganhos de resistência são conseguidos através de reacções de carbonatação, sendo necessário que a argamassa seja conservada num ambiente exposto ao ar, não formando, portanto, presa em condições de imersão em água (Agostinho, 2008).

Uma vez que apenas foram utilizados apenas ligantes hidráulicos no desenvolvimento do trabalho experimental, são as características destes que importa desenvolver.

2.2.2.1. Cal hidráulica

A cal hidráulica natural é obtida de rochas constituídas por uma mistura de argila e calcário (marga), enquanto na cal hidráulica artificial a pedra de origem é apenas calcária, sendo adicionada argila ou marga até conferir a percentagem de argila pretendida. Quando se sujeita este calcário argiloso a temperaturas na ordem dos 900-1200°C, formam-se três compostos principais: o óxido de cálcio (CaO), a sílica (SiO₂) e a alumina (Al₂O₃). A sílica e a alumina combinam-se com o óxido de cálcio, dando origem a silicatos e aluminatos cálcicos bicálcicos (Sequeira, Frade & Gonçalves, 2007)

A cozedura do calcário argiloso origina uma estrutura compacta, constituída pelos silicatos e aluminatos cálcicos e por cal viva, a que normalmente se dá o nome de pedra cozida. A cal retirada do forno deve ser extinta de modo a eliminar o CaO em excesso, uma vez que este é um composto instável, ávido de água, com a qual irá reagir durante o processo de extinção, levando a uma grande libertação de energia e aumento de volume. Após a extinção é necessário separar os constituintes incozidos e sobrecozidos. Os grãos maiores são separados, moídos e adicionados à cal, conduzindo a um aumento de hidraulicidade. Assim, a cal hidráulica resulta da conjugação do pó de moagem, com o pó de silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio (Sequeira et al, 2007).

A presa da cal hidráulica natural ocorre em duas fases, a primeira hidráulica e a segunda aérea. Na primeira, ocorre a hidratação dos aluminatos tricálcicos e silicatos bicálcicos, o que possibilita a presa da argamassa e, por consequência, o seu ganho de resistência. Na segunda, o dióxido de carbono atmosférico (CO₂) reage com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), dando origem a carbonato de cálcio (CaCO₃). Esta reacção vai provocar a variação da microestrutura das argamassas provocando um decréscimo da sua porosidade, alterando ainda algumas propriedades relacionadas com a microestrutura, assim como a permeabilidade, a difusão de gases e a capilaridade.

As propriedades da cal hidráulica encontram-se, na sua generalidade, num patamar intermédio entre as propriedades da cal aérea e as do cimento. A massa volúmica média desde ligante é de 2,75 g/cm³ e a sua baridade toma valores entre os 0,6 e os 0,8 g/cm³. As argamassas produzidas com cal hidráulica apresentam resistências mecânicas relativamente baixas, sendo utilizadas em

aplicações idênticas às do cimento, que não exijam resistências elevadas, tais como em argamassas para revestimento, argamassas para reboco de paredes e para alvenarias (Coutinho, 2006). As argamassas de cal hidráulica são ainda bastante porosas, o que provoca absorções elevadas nos instantes iniciais, embora com o passar do tempo se verifiquem melhorias a este nível. Os módulos de elasticidade dinâmicos das argamassas de cal são baixos, quando comparados com as argamassas de cimento, o que indica que estas argamassas são mais deformáveis. Por fim, note-se que as argamassas de cal hidráulica, por norma, apresentam um baixo valor de aderência ao suporte de alvenaria de tijolo, denotando fraca coesão, como consequência da sua estrutura porosa (Penas, 2008).

A classificação das cais de construção, preconizada na normalização europeia, baseia-se na resistência à compressão, para o caso das cais hidráulicas, sendo a sua sigla constituída por NHL ou HL, conforme se trate de cal hidráulica natural ou artificial, respectivamente, seguida do valor **2**, **3,5**, ou **5**, conforme a classe de resistência e de acordo com a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Classificação da cal hidráulica segundo a norma europeia NP EN 459

Tipos de cais de construção	Resistência à compressão (MPa)	
	7 dias	28 dias
HL 2 e NHL 2	-	≥ 2 e ≤ 7
HL 3,5 e NHL 3,5	-	$\geq 3,5$ e ≤ 10
HL 5 e NHL 5	≥ 2	≥ 5 e ≤ 15

2.2.2.2. Cimento

As principais diferenças no processo de produção do cimento, comparativamente à cal hidráulica, são na temperatura de cozedura do material de origem, que é superior no caso do cimento, e o maior teor de argila encontrada no calcário margoso que serve de matéria-prima. Ao cimento obtido directamente da cozedura da marga calcária dá-se o nome de cimento natural. (Cruz, 2008)

Os cimentos habitualmente utilizados são artificiais, sendo o cimento Portland o principal cimento comercializado e utilizado em construção. Este cimento é obtido através de uma mistura de calcário (carbonato de cálcio), argila ou xisto argiloso (silicatos de alumínio e ferro) ou a partir de margas ou calcários margosos e, eventualmente, outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro. Esta mistura é reduzida a pó muito fino, que se sujeita a temperaturas na ordem de 1450°C, obtidos em grandes fornos rotativos. Nestas condições, as matérias-primas reagem entre si e, ao arrefecerem, aglomeram-se em pedaços com dimensões variáveis entre os 2 e 20 mm, chamados clínquer (Coutinho, 1988).

Os principais constituintes do cimento Portland são os seguintes: silicatos de cálcio, C₃S (silicato tricálcio, de 20% a 65%) e C₂S (silicato bicálcio, de 10% a 55%); aluminatos de cálcio, C₃A (aluminato tricálcio, de 0% a 15%) e C₄AF (aluminoferrato tetracálcio, de 5% a 15%). O

endurecimento da pasta cimentícia ocorre quando se adiciona água a estes constituintes e se dá início ao processo de hidratação da pasta (Coutinho, 1988).

A hidratação dos silicatos dá-se algumas horas após a adição de água ao cimento. A hidratação do C_3S e C_2S origina silicatos de cálcio hidratados e liberta hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$). Estes componentes vão preencher parte do espaço ocupado pela água. O C_3S é o principal responsável pelo endurecimento nas primeiras idades, sendo o C_2S o responsável pelo aumento de resistência em idades mais tardias (Coutinho, 1988).

Quanto às suas características, quando comparado com outros ligantes, o cimento apresenta capacidades resistentes superiores, menores tempos de presa e uma presa menos sensível a variações ambientais. Estas razões levaram a que se generalizasse a sua utilização como ligante em argamassas de reboco, independentemente das características do material de suporte. No entanto, as argamassas de cimento estão normalmente associadas a uma reduzida capacidade de deformação (módulo de elasticidade elevado), a uma menor permeabilidade ao vapor de água e a uma porosidade inferior às argamassas de cal. Estes factores têm uma grande influência no desempenho de rebocos, fazendo com que este tipo de reboco não seja compatível com determinados tipos de suporte.

2.2.3. Agregados pétreos

Os agregados pétreos podem ser classificados como grossos ou areias/finos, estes últimos agregados de acordo com a NP EN 12620 (2004) devem ter a dimensão máxima de 4 mm e mínima de 0,063 mm. A areia é um material granular proveniente de desagregação natural ou de britagem de rochas. Quimicamente, as areias podem-se distinguir entre dois grupos principais, siliciosas e calcárias. As areias siliciosas são geralmente recolhidas de um rio ou de areeiro, enquanto as areias calcárias têm origem em pedreiras de rocha calcária. A distinção de agregados de acordo com a sua obtenção faz-se nas seguintes categorias: naturais, artificiais e reciclados. Os agregados mais utilizados são os naturais e a utilização de outro tipo deve ser acompanhado de um estudo que permita prever o seu comportamento (Rodrigues, 2004).

A escolha do tipo de areia e a sua composição granulométrica tem uma grande influência no comportamento das argamassas, assim como pode permitir a adopção de soluções economicamente mais vantajosas, devido ao uso de menores quantidades de ligante. Os agregados desempenham funções de elevada importância na argamassa, pois, para além de serem o esqueleto da mesma, têm um papel determinante na compactação e retracção das argamassas. A presença de areias grossas na argamassa reduz a tendência para a fendilhação, enquanto as areias finas provocam a redução da porosidade e da absorção de água (Agostinho, 2008).

Quando se faz a mistura das areias com os outros componentes da argamassa deve-se ter o cuidado de verificar que estas estão isentas de sais e matéria orgânica. Também a presença excessiva de argila é prejudicial, pois leva a que haja maior retracção (Agostinho, 2008).

2.2.4. Água de amassadura

Reveste-se de grande importância o estudo da quantidade de água a utilizar na amassadura de uma argamassa de ligante hidráulico, uma vez que este constituinte é essencial para a ocorrência das reacções de hidratação de aluminatos e silicatos, levando à formação da pasta que vai permitir a aglomeração dos agregados. Para além disso é a sua dosagem que confere a trabalhabilidade à argamassa, condiciona a aderência ao suporte, o rendimento da mão-de-obra e afecta, incisivamente, as propriedades da argamassa endurecida. A quantidade de água a utilizar está dependente de vários factores, sendo função do tipo de ligante, traço da argamassa e granulometria do agregado. A quantidade de água está também dependente da função a desempenhar pela argamassa, sendo necessário adaptá-la para obter a trabalhabilidade pretendida (Cavaco, 2005; Lourenci, 2003).

O seu excesso conduz à obtenção de argamassas demasiado porosas, o que prejudica a resistência mecânica do revestimento e leva ao aumento da retracção por secagem. Idealmente, a água de amassadura deve ser controlada, de forma a obter-se uma argamassa mais consistente, levando a um revestimento mais compacto, com menor tendência para fissurar, menor permeabilidade a água e maior capacidade resistente (Veiga, 2006b).

Por norma, quantidade de água a utilizar numa amassadura é apresentada na forma de relação água/ligante (ou A/L).

2.2.5. Composição de argamassas comuns

2.2.5.1. Generalidades

A decisão quanto à composição da argamassa a utilizar em determinada situação é de extrema importância, para além de complexa, já que, dependendo da sua composição, poder-se-ão verificar variações na qualidade da argamassa, no que respeita à facilidade de aplicação, compacidade, retracção permeabilidade, resistência mecânica e durabilidade. Estas características devem estar adaptadas ao tipo de suporte da argamassa, ao clima da região e às condições ambientais a que o edifício estará sujeito.

Até ao início do século XIX, na confecção de argamassas recorria-se, normalmente, a conhecimentos empíricos acumulados ao longo de gerações. Foi pela primeira vez em 1828, através de Vicat, que se verificou a existência de uma relação entre a compacidade e a resistência de uma argamassa e que estas características estavam associadas a uma determinada proporção entre a areia e a cal na argamassa. Vicat apontou ainda as vantagens de misturar areia fina com areia grossa e de reduzir a quantidade de água de amassadura, mas não seria até 1892, com Feret, que se iria estabelecer uma lei que relaciona a resistência com a compacidade nas argamassas, lei essa que, nos seus traços gerais, se mantém válida até hoje (Gomes et al, 2006).

2.2.5.2. Granulometria dos agregados e estudo de Feret

A granulometria dos agregados a utilizar na formulação da argamassa é talvez o aspecto que maior influência vai ter na qualidade da argamassa. Uma granulometria adequada permite minimizar o volume de vazios e, deste modo, reduzir a quantidade de ligante, permitindo a produção de uma argamassa mais compacta a um custo inferior. A trabalhabilidade de argamassas é outra das características influenciada pela granulometria do agregado, na medida que, para a mesma quantidade de ligante, se a dimensão máxima do agregado aumenta, será necessária menos água para obter a mesma trabalhabilidade. O aumento do teor de finos no agregado irá aumentar a relação A/L necessária para a argamassa apresentar uma dada consistência (Coutinho, 1999).

É nestes pressupostos que Feret se baseou quando elaborou o diagrama triangular de Feret. Com o auxílio do diagrama é possível relacionar a dimensão relativa dos agregados com a compacidade da argamassa obtida. Os três vértices F, M e G correspondem à designação de uma areia de grão fino, médio e grosso, respectivamente, e definem os lados f, m e g do diagrama. De modo a obter-se a proporção dos diferentes tipos de areia correspondente ao ponto de maior compacidade, que, como se verifica pela Figura 2.1, corresponde à compacidade de 0,638, traçam-se paralelas aos lados do triângulo no ponto pretendido. Analisando o diagrama, conclui-se que a composição granulométrica que apresenta a maior compacidade possível, é a que corresponde à utilização apenas de areia de grão fino e grosso, numa proporção aproximada de 1/3 de finos para 2/3 de grossos (Gomes et al, 2006).

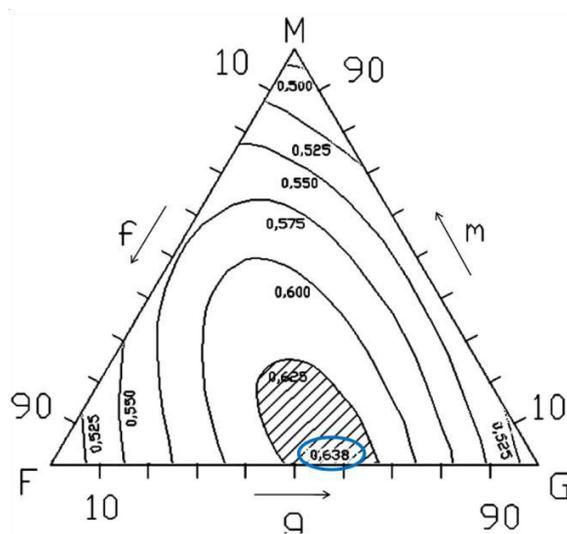


Figura 2.1- Diagrama triangular de Feret

No seu estudo, Feret enuncia ainda algumas conclusões fundamentais:

- Para uma dada quantidade de areia, a resistência da argamassa cresce com a dosagem de ligante;

- A resistência da argamassa cresce ao reduzir-se a água de amassadura para a mesma dosagem de ligante. De outra forma, a variação da quantidade de água e de ligante, na mesma proporção, não é responsável por alterações na resistência da argamassa, razão pela qual se afirma que a resistência da argamassa depende da relação a/l (água/ligante);
- Para igual dosagem de ligante, a resistência cresce quando a compactidade cresce (Cruz, 2008).

É relevante referir, ainda, que o estudo de Feret refere-se concretamente à utilização de areia como único agregado na formulação da argamassa, sendo possível, no entanto, utilizar-se o conceito geral e respectivas conclusões para o caso de utilização de outro tipo de agregados.

2.2.5.3. Traço

Existem vários métodos para formular a composição das argamassas, sendo o mais preciso aquele que consiste em indicar o peso de cada componente por cada metro cúbico de argamassa. No entanto, por este método exigir equipamentos e cuidados desajustados ao quotidiano do estaleiro, em obra são utilizados processos mais expeditos e fáceis de controlar. O método de formulação mais utilizado em estaleiro é o que tem por base o conceito de traço, definido como sendo a relação entre as proporções das quantidades de ligante e de areia que entram na composição da argamassa. Usualmente, para a sua designação geral adopta-se uma relação do tipo $1:p$, em que p identifica a proporção de areia e toma a parte de ligante igual à unidade.

Uma das mais importantes variáveis na definição do traço volumétrico é a distribuição granulométrica dos agregados, pois, como é sabido, o ligante deve preencher os espaços vazios entre agregados. Estima-se que para agregados com boa distribuição granulométrica o volume de vazios deverá ser de cerca de 33%, o que conduzirá a um traço de 1:3 (Cavaco, 2005).

Importa reter que esta prática de formulação se refere na sua generalidade a proporções em volume, embora a medição das quantidades deva ser feita em peso em operações que envolvam ou exijam maior rigor.

2.3. Cortiça

2.3.1. Introdução

Segundo Gil (2006), “a cortiça é, por definição, o parênquima suberoso originado pelo meristema súbero-felodérmico do sobreiro (*Quercus suber* L.), constituindo o revestimento do seu tronco e ramos”. Trata-se de um dos mais versáteis materiais naturais existentes, devido à sua extrema leveza, elasticidade, flexibilidade, impermeabilidade a gases e líquidos e excelentes características isolantes a nível térmico, eléctrico e acústico.

A cortiça é um material que tem acompanhado a evolução da Humanidade e que desde cedo se distinguiu em aplicações relacionadas com a construção, nomeadamente nos países mediterrânicos de onde provém. Actualmente, com o desenvolvimento de novos materiais derivados da cortiça e com as crescentes preocupações ambientais, a sua utilização em revestimentos e isolamentos estendeu-se a praticamente todo o mundo.

A localização geográfica do país faz com que Portugal possua o clima ideal para o desenvolvimento do sobreiro, não sendo de estranhar que seja o maior produtor mundial de cortiça, com mais de 50% da cortiça originária do nosso País. Faz, portanto, sentido que haja um interesse elevado no estudo do potencial que a utilização deste material pode ter na indústria da construção de outras formas que não as mais tradicionais.

2.3.2. Estrutura e propriedades da cortiça

A cortiça é composta por um agregado de células fechadas, cerca de 40 milhões por cada centímetro quadrado, agrupadas numa estrutura alveolar característica, Figura 2.2, contendo um gás usualmente considerado semelhante ao ar e cujas paredes possuem um certo grau de impermeabilização. A elevada elasticidade e compressibilidade deste material advêm do facto de as suas células encurvarem e dobrarem ao serem comprimidas, não lhe conferindo praticamente qualquer expansão lateral, havendo uma posterior recuperação devida à acção do gás comprimido no interior das células. Devido à sua estrutura interna, a cortiça possui ainda a capacidade de dissipar a energia de deformação, sendo utilizada como material antivibrático (Gil, 2006).

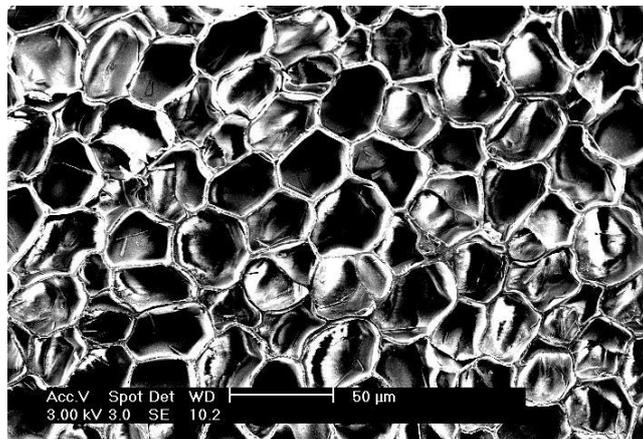


Figura 2.2 – Estrutura Alveolar da Cortiça (Gil, 2009)

O gás encontrado no interior das células ocupa entre 85 e 90% do volume total da cortiça, facto que facilmente explica a leveza do material, que possui uma massa volúmica na ordem dos 200 kg/m³ (Gil, 2006).

A composição química da cortiça explica também algumas das suas características. Uma análise aos seus compostos constituintes mais relevantes e respectivos valores médios mostra que a componente sólida da cortiça é composta por suberina (45%), lenhina (27%), polissacáridos (12%), taninos (6%) e ceróides (5%). A suberina é o componente mais abundante na composição da cortiça, sendo também o principal responsável pela sua capacidade hermética, uma vez que providencia impermeabilidade às paredes celulares, desta forma impossibilitando a saída do gás contido no interior da estrutura alveolar. A lenhina contribui para a rigidez e capacidade estrutural das paredes celulares (Gil, 2006).

As características de isolamento da cortiça devem-se ao facto de existirem estes minúsculos compartimentos (células) cheios de ar. As células de cortiça são muito mais pequenas do que as dos materiais celulares ordinários, o que contribui para justificar as excepcionais propriedades de isolamento deste material. A transferência de calor por condução depende apenas da quantidade de material sólido da estrutura das células, que é menor para a cortiça expandida termicamente (daí a utilização do aglomerado expandido de cortiça para este fim) (Gil, 2006).

Para além das suas características físicas e mecânicas, a cortiça caracteriza-se também por ser um produto natural e ecológico, não liberta cheiros nem gases nocivos e é um material que se mantém inalterável, conservando a sua eficiência por longos períodos de tempo.

2.3.3. Matérias-primas da cortiça

A cortiça é extraída do tronco e ramos do sobreiro, sob a forma de peças semi-tubulares, habitualmente no Verão, de modo a não danificar permanentemente a árvore, e com uma periodicidade legal mínima (em Portugal) de nove anos. A sua exploração começa após a árvore atingir cerca de 0,7 m de perímetro a 1,3 m do solo. A árvore não pode ser totalmente “despida” do seu revestimento suberoso, pois poderia não sobreviver a esta operação. Esta operação é efectuada manualmente com recurso a machados, como se pode observar pela Figura 2.3, existindo já processos mecânicos (Gil, 2006).



Figura 2.3 – Extração da cortiça com recurso a machados (Gil, 2006)

O primeiro descortiçamento (desbóia) produz uma cortiça chamada virgem, com uma superfície exterior muito irregular. A cortiça produzida nesta fase destina-se essencialmente à trituração e produção de aglomerados. Descortiçamentos sucessivos dão origem a cortiça com uma superfície exterior mais uniforme, designada cortiça de reprodução, ou amadia. A primeira cortiça de reprodução, ainda com algumas irregularidades, tem o nome específico de secundeira, é utilizada, tal como a virgem, sobretudo para trituração, obtenção de granulados e eventualmente, posteriormente, o fabrico de aglomerados. A partir do terceiro descortiçamento, obtém-se habitualmente cortiça de qualidade superior, que apresenta uma reduzida quantidade de fracturas e fendas, sendo utilizada quase exclusivamente na produção de rolhas. Dos despojos da poda é obtida a falca, tecido misto de cortiça virgem, entrecasco e lenho, retirada tradicionalmente com machado ou enxó a partir dos ramos podados dos sobreiros, ou com equipamento específico (Oliveira & Oliveira, 2000).

Tomando a indústria portuguesa como referência, estima-se que, em 2000, do total dos produtos corticeiros, apenas cerca de $\frac{1}{4}$ eram utilizados na construção civil, na forma de granulados, aglomerados compostos para revestimento e aglomerados expandidos de cortiça (Gil, 2006).

Nos aglomerados compostos, são utilizados granulados obtidos a partir da trituração de cortiça virgem, bocados, refugo e desperdícios de outras operações de processamento, como sejam as aparas (de broca, de recorte, etc.), rolhas defeituosas e restos de aglomerados. No fabrico do aglomerado expandido de cortiça, é utilizado um triturado mais grosseiro, obtido essencialmente por trituração de falca e de outros tipos menores de cortiça.

Estes produtos são empregues na construção de edifícios das mais diversas formas, sendo as mais correntes as que de seguida se apresentam (Gil, 2006):

- Como isolante térmico, acústico e vibrático (em paredes, tectos e pavimentos)
- Tectos falsos
- Revestimento de pisos, paredes e tectos
- Granulados para enchimento de espaços e misturas com argamassas
- Juntas isolantes e de dilatação ou compressão
- Como material antivibrático para maquinaria e isolamento térmico para frio industrial
-

2.3.4. Aglomerado e regranulado de cortiça expandido

O regranulado de cortiça expandido, também designado vulgarmente por regranulado negro de cortiça (RNC), é um subproduto corticeiro, obtido através da retrituração das partes superiores e inferiores (irregulares) dos blocos ou placas de aglomerado expandido de cortiça, sendo portanto interessante abordar o processo de produção do aglomerado expandido de cortiça, de forma a

melhor compreender a natureza e comportamento do regranulado. Pode-se observar na Figura 2.4, o aspecto do RNC.



Figura 2.4 - Tabuleiro contendo regranulado de cortiça expandido, utilizado na campanha experimental

O aglomerado de cortiça expandido é um material em que a aglutinação dos grânulos da matéria-prima se efectua exclusivamente em consequência da expansão volumétrica e da exsudação das resinas naturais da cortiça, por acção da temperatura. É assim produzido um aglomerado em cuja constituição não se utilizam quaisquer colas ou aditivos, sendo unicamente constituído por cortiça, razão pela qual também se designa por aglomerado puro de cortiça.

A indústria do aglomerado expandido utiliza a cortiça que não é usualmente processada nas restantes indústrias granuladoras/aglomeradoras, nomeadamente a falca. Embora a falca seja um material considerado de qualidade inferior, a sua utilização na produção de aglomerado revela-se positiva, uma vez que, por ser constituída em grande parte por cortiça virgem crua, possui um teor de extractivos superior ao dos restantes tipos de cortiça, que funcionam como ligantes intergranulares naturais.

A granulação inicial é efectuada, à semelhança do que é feito para outros tipos de aglomerado, através da acção de moinhos adaptados à matéria-prima e ao tamanho dos grânulos pretendidos. De seguida, procede-se à eliminação de impurezas (lenho e entrecasco), com o auxílio de separadores densimétricos (vibratórios), crivos e, eventualmente, separadores pneumáticos ou mantas rotativas. O granulado assim obtido é então ensilado e seco até se alcançar um teor de humidade ideal (Gil, 1998). A aglomeração é efectuada pelo processo do autoclave que funciona também como molde. O granulado é descarregado e depois do fecho do molde é ligeiramente comprimido. A cozedura é efectuada por insuflação de vapor de água sobreaquecido, a uma temperatura de cerca de 300-370°C. O vapor sobreaquecido atravessa a massa de grânulos e produz a exsudação das resinas da cortiça para a superfície dos grânulos e o seu aumento de volume, que, como estão confinados no autoclave, determina a sua aglutinação. Os blocos produzidos são cortados em placas de diferentes espessuras, normalmente com serras de fita, a que se segue o acerto de dimensões e esquadria, usualmente com serras de disco. As placas podem ter ainda uma ou ambas as faces maiores lixadas (Gil, 2006). É através da retrituração das partes não utilizadas destes blocos ou placas de aglomerado que se obtém o regranulado negro.

São considerados granulados ou regranulados os fragmentos de cortiça de dimensão superior a 0,25 mm e inferiores a 22,5 mm. Às partículas de dimensão inferior a 0,25mm dá-se o nome de pó de cortiça. Os regranulados expandidos de cortiça são principalmente utilizados no enchimento de paredes, terraços, coberturas e em misturas com betão e estão disponíveis numa grande variedade de granulometrias. Apresenta-se na Tabela 2.4 algumas das características deste material.

Tabela 2.4 - Características médias do regranulado expandido de cortiça (Gil, 2006)

Massa volúmica (kg/m³)	80
Coefficiente de condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,048
Módulo de elasticidade (MPa)	1,9 – 2,8
Tensão de rotura à flexão (MPa)	1,4 – 2,0

2.3.5. Estudos realizados acerca da utilização do RNC como agregado

No trabalho laboratorial que serviu de base a esta dissertação, utilizou-se regranulado negro de cortiça como agregado em argamassas para revestimento de paredes. Para tal, foi feita uma substituição parcial ou total da areia que usualmente é utilizada como agregado nesse tipo de argamassas. A substituição apenas de agregados finos, como a areia, por grânulos de cortiça é um tema raramente abordado em trabalhos de investigação, sendo normalmente dada maior atenção à substituição dos agregados grossos (brita) em betões. Estes estudos têm-se focado na utilização do RNC, como forma de aligeirar peças de betão sem grandes exigências ao nível do desempenho mecânico, ao mesmo tempo que se promove uma melhoria no conforto ambiental das habitações, através do aumento do desempenho térmico e acústico. Considerando que o material a introduzir é essencialmente o mesmo, tem interesse fazer-se a análise de outros trabalhos laboratoriais que tenham utilizado o regranulado negro como agregado, como forma de antecipar qual será o comportamento mecânico das argamassas de reboco com o mesmo material.

A característica mais óbvia que se observa nos betões ou argamassas, quando se efectua a substituição de agregados pétreos por regranulado expandido de cortiça, é a reduzida massa volúmica do betão obtido, quando comparada à do betão produzido com agregados pétreos. Este facto foi observado em diversos trabalhos laboratoriais (Branco, Reis & Tadeu 2006; Marques, 2008; Pinheiro, 2009; Medeiros, 2010), sendo facilmente explicado pelo facto de a cortiça apresentar uma massa volúmica muito inferior à dos agregados que está a substituir no betão, a brita e a areia. No estudo realizado por Branco, Reis e Tadeu (2006) verificou-se ainda que a substituição de agregado grosso por um igual volume de cortiça originava pesos mais baixos do que os obtidos com a substituição de uma percentagem equivalente de areia. A substituição de 30% do volume de brita por cortiça implicou uma redução do peso do betão na ordem dos 25%, enquanto a substituição da mesma percentagem de areia permitiu uma redução de apenas 10%. Comparativamente a outros agregados leves normalmente utilizados no fabrico de betões leves,

tais como a pedra-pomes ou a argila expandida, o regranulado de cortiça expandido é o que proporciona a maior redução de massa volúmica do betão, quando usado na substituição de um volume igual de brita, facto observado no estudo realizado por Medeiros (2010).

Outro dos resultados que tem vindo a ser obtido nos estudos desenvolvidos à volta deste tema é a redução da resistência à compressão do betão, à medida que a percentagem de cortiça na mistura é aumentada. Esta característica no comportamento do betão foi observada em todos os estudos previamente referenciados, ainda que tenham sido utilizadas diferentes composições em cada um deles, o que levou à obtenção de resultados também eles diferentes. Foi também concluído por Branco, Reis & Tadeu (2006) que a substituição de brita por cortiça originou uma maior perda de resistência, face ao betão de referência, do que quando a substituição foi feita entre a areia e a cortiça. Ao substituir 10% a 30% de areia por um volume equivalente de cortiça, a resistência do betão decresce entre 26.5 e 52.8%, enquanto o decréscimo correspondente, no caso de se efectuar a substituição de brita, varia entre 32.6 e 74.9%.

Em virtude do paralelismo encontrado nos resultados relativos à massa volúmica e à resistência à compressão, Branco, Reis, & Tadeu referem que, embora não seja possível retirar conclusões definitivas devido ao reduzido número de testes realizados, há a indicação que a resistência média do betão que contém grânulos de cortiça como material agregado se encontra relacionada de uma forma próxima com a sua densidade, através de uma relação linear, pelo menos dentro da gama de valores para a percentagem de cortiça substituída no estudo em causa, que se encontra entre os 10% e os 30% de agregado. Também no trabalho desenvolvido por Marques (2008), através da análise dos resultados relativos à massa volúmica e à resistência à compressão, foram retiradas as mesmas ilações quanto à relação entre estes dois parâmetros, desta vez em betões com percentagens de substituição de agregado entre os 30 e os 50%.

Outras das características mecânicas analisadas por Medeiros (2010) foi o módulo de elasticidade. Embora não tenha sido feita a comparação entre betões com diferentes percentagens de cortiça na sua composição, foi possível analisar o desempenho de um betão que utiliza regranulado expandido como agregado leve, comparativamente a outros betões utilizando a mesma percentagem de outros tipos de agregados leves (argila expandida e pedra pomes). Nesse estudo, determinou-se que o betão produzido com cortiça é o que está mais sujeito a deformações elásticas, apresentando a menor rigidez entre todos os betões ensaiados, sendo portanto o betão com o módulo de elasticidade mais baixo. No mesmo estudo, foi feita a análise da evolução da retracção no betão, desde a sua produção, até aos 28 dias, concluindo-se que o betão com cortiça expandida é, também ele, o que apresenta a maior retracção no final do período de estudo.

Também a Sofalca, empresa responsável pelo fornecimento do RNC no desenvolvimento desta dissertação, sugere a utilização de regranulado como agregado na produção de betões leves, a utilizar em regularização e isolamento de pavimentos. É apresentada, de seguida, a Tabela 2.5, retirada directamente do site da própria empresa, que mostra vários exemplos de betões leves

produzidos com regranulado, indicando o respectivo traço em volume e algumas características no estado endurecido.

Tabela 2.5 – Algumas características de betões leves produzidos com regranulado de cortiça expandido – retirado de <http://sofalca.pt/pdf/regranulado.pdf>

Traço em Volume			Massa Volúmica (kg/m ³)	Resistência à compressão (Mpa)	Condutibilidade Térmica (W/m ² °C)
Cimento	Areia	Regranulado de cortiça			
1	0	6	400	2	0.13
1	0	4	500	6	0.18
1	2	6	900	11	0.24
2	3	8	1100	17	0.6

Como seria de esperar, os resultados obtidos com estas formulações são semelhantes aos obtidos nos trabalhos laboratoriais previamente referidos. A utilização de uma maior quantidade de regranulado implica uma massa volúmica do betão mais baixa, assim como a redução da sua capacidade resistente.

2.4. Expectativas de desempenho

Conhecidas as características físicas e mecânicas dos materiais em causa e fazendo uma análise aos resultados obtido noutros estudos dentro do mesmo tema, será possível prever-se o desempenho mecânico de argamassas nas quais se faça a substituição de areia por regranulado negro.

2.4.1. Massa volúmica

Uma vez que a massa volúmica da cortiça é consideravelmente mais baixa que a da areia, também as argamassas que contenham cortiça vão apresentar massas volúmicas inferiores às que contenham apenas agregado pétreo na sua composição. Partindo do princípio que o regranulado negro servirá como substituto da areia, quanto maior a percentagem de cortiça na composição da argamassa, mais baixa será a massa volúmica da mesma.

2.4.2. Resistência mecânica

O agregado de uma argamassa tem uma função estrutural, influenciando de maneira determinante a resistência mecânica da mesma, conforme a sua natureza e forma. Dadas as características mecânicas da cortiça, prevê-se que a substituição parcial ou total do agregado pétreo (areia) por regranulado de cortiça irá reduzir a resistência à compressão e flexão da argamassa.

2.4.3. Aderência

A aderência ao suporte é outra das características da argamassa que deverá ser afectada pela utilização de cortiça. Esta característica é obtida através da penetração capilar da água de amassadura nos poros do suporte, arrastando consigo os elementos mais finos da argamassa. Para que a ligação seja boa, é necessário que as partículas mais finas formem com a água uma pasta capaz de penetrar facilmente no suporte, endurecendo rapidamente. Sendo assim, a aderência deverá ser superior em argamassas com maior teor de ligante (componente da mistura mais fino) e que contenham agregados mais finos, capazes de ser absorvidos pelo suporte. A quantidade de água utilizada na mistura irá também influenciar a capacidade que a pasta terá de penetrar no suporte. Dependendo da granulometria do regranulado negro utilizado na mistura, este tanto poderá influenciar positivamente como negativamente a capacidade aderente do revestimento, caso este apresente respectivamente uma granulometria mais grossa ou mais fina que a da areia. A introdução do RNC irá, previsivelmente, alterar as condições de interacção entre a argamassa e o suporte, devido ao seu elevado índice de absorção de água, o que se poderá traduzir numa maior capacidade de retenção de água na mistura, reduzindo a dessecação e promovendo a aderência.

2.4.4. Retracção e resistência à fendilhação

Uma das motivações que levaram à elaboração deste trabalho experimental foi, exactamente, o interesse em estudar o potencial de controlo da retracção/fendilhação de argamassas de revestimento que a introdução de cortiça na sua composição poderá trazer.

Por se tratar de um produto resultante da trituração de placas de aglomerado expandido de cortiça, que por sua vez resulta também da trituração da falca, é natural que o regranulado de cortiça expandido perca algumas das propriedades impermeabilizantes características da cortiça pura, apresentando, como consequência, um índice de absorção de água mais elevado. Esta permeabilidade acrescida do agregado deverá fazer com que a argamassa formulada com cortiça retenha a água de amassadura durante mais tempo, através da sua absorção pelos grânulos de cortiça, dificultando as reacções de hidratação do ligante e retardando os efeitos da retracção na mistura. Como consequência, o ritmo a que a argamassa ganhará resistência poderá ser afectado, mas, em contrapartida, a retracção por influência do fenómeno de hidratação do ligante poderá ser inferior quando comparada com uma argamassa para reboco tradicional.

Por outro lado, o superior índice de absorção de água do regranulado, quando comparado com o da areia, deverá levar a que se tenha de alterar a relação A/L de forma a obter-se uma consistência aceitável para aplicação em obra. Isto irá, previsivelmente, alterar a influência que o fenómeno de dessecação terá na retracção da argamassa, que afecta principalmente o período de vida inicial da argamassa, levando a que argamassas modificadas com cortiça sejam mais afectadas pela retracção, paralelamente ao que foi verificado por Medeiros (2010) relativamente aos betões leves. Sabendo-se que a cortiça possui um módulo de elasticidade muito inferior ao da areia, ao se

efectuar a substituição de areia por cortiça, vai-se diminuir a restrição volumétrica imposta pela areia, o que poderá levar ao aumento da retracção.

Tal como já foi referido, o estudo dos fenómenos que levam á retracção das argamassas e consequente fendilhação é bastante complexo, uma vez que depende de uma multiplicidade de factores e variáveis que muitas vezes são interdependentes, pelo que apenas após a realização dos ensaios laboratoriais correspondentes, será possível perceber de maneira mais concreta, de que forma, a utilização do regranulado negro na mistura, irá afectar o comportamento do reboco face à retracção.

2.4.5. Módulo de elasticidade

Após a previsão feita acerca da influência que o RNC terá na intensidade dos fenómenos de retracção de argamassas, resta analisar que influência o mesmo regranulado terá na capacidade da argamassa em resistir à fendilhação, por acção da retracção ou por outros fenómenos exteriores ao reboco. A propriedade mecânica que quantifica a capacidade de uma argamassa em se deformar sem que ocorra rotura é, exactamente, o módulo de elasticidade. Trata-se de uma característica fundamental no estudo da fendilhação de rebocos, sendo desejável um módulo de elasticidade, o mais baixo possível, de forma a minimizar a possibilidade de ocorrência de fendilhação. Por outro lado, se a argamassa apresentar um módulo de elasticidade muito inferior ao do suporte, poderá, como já foi visto, afectar a durabilidade da solução de revestimento.

É expectável que a evolução do módulo de elasticidade da argamassa acompanhe a da sua resistência mecânica, significando isto que será tanto maior quanto maior for a resistência à compressão da argamassa correspondente. Argamassas contendo uma maior percentagem de cortiça na sua composição devem apresentar um módulo de elasticidade mais baixo (maior elasticidade), assim como uma menor resistência mecânica.

3. Campanha experimental

3.1. Considerações gerais

Neste capítulo será feita a descrição pormenorizada da campanha experimental que teve como objectivo o estudo do comportamento mecânico de argamassas com RNC para utilização como reboco.

Foram estudadas onze argamassas contendo cortiça na sua composição em percentagens variáveis entre 40 e 100% do volume total de agregado, em que na restante percentagem de agregado foi utilizada areia. Adicionalmente, foram efectuados os mesmos ensaios a duas argamassas produzidas com recurso a areia como único agregado, que serviram como argamassas de referência. Ainda que no capítulo relativo às composições estudadas este assunto seja mais aprofundado, refira-se que nas três amassaduras com maior teor de cortiça, foi utilizado também pó de cortiça, numa mistura de agregado formada por pó de cortiça e RNC.

Foram utilizados dois tipos de mistura ligante na produção das argamassas, uma apenas de cal hidráulica (classe NHL 5) e outra bastarda de cal hidráulica e cimento Portland (classe CEM II/B-L 32,5N). A utilização destes dois tipos de ligante teve como objectivo observar o desempenho das argamassas como hipótese de revestimento de paredes em edifícios antigos, através das misturas apenas com cal hidráulica, assim como na óptica da sua utilização em construção nova, através das argamassas bastardas. Excluiu-se a hipótese de utilização do cimento como único ligante nas misturas estudadas devido à elevada resistência mecânica, rigidez e tendência para a retracção que as argamassas produzidas com este ligante normalmente apresentam e que poderiam revelar-se incompatíveis com as características físico-mecânicas do regranulado de cortiça, tão distintas das da areia, normalmente utilizada neste tipo de argamassas. Tentou-se, portanto, adequar o ligante ao agregado, de forma a potenciar a influência da cortiça nas características dos rebocos, comparativamente às argamassas de referência. Como já foi dito, para cada mistura ligante, produziu-se e ensaiou-se uma argamassa contendo areia como único agregado. Desta forma foi possível quantificar o impacto que a substituição parcial ou total da areia por regranulado teve nas características analisadas das argamassas.

Com o intuito de aproximar as argamassas estudadas às argamassas correntes, optou-se pela utilização de um traço volumétrico vulgarmente utilizado em obra. Desta forma, todas as argamassas de cal hidráulica foram produzidas com base no traço 1:3 e todas as argamassas bastardas com base no traço 1:1:6. A manutenção do traço volumétrico em todas as composições estudadas permite que seja possível observar a influência das diferentes misturas de agregado no comportamento da argamassa, sem que seja necessário considerar a influência da mistura ligante.

Considerando-se de elevada importância o estudo de argamassas que apresentem uma trabalhabilidade aproximada à das argamassas tradicionais utilizadas em obra, houve a necessidade de se efectuar um estudo prévio para determinação da relação A/L que permitisse atingir, para cada argamassa, a consistência pretendida.

3.2. Descrição do plano de ensaios

A campanha experimental realizou-se em três fases:

- **Primeira Fase** – Identificação e caracterização dos constituintes das argamassas
- **Segunda Fase** – Escolha das composições a estudar e ensaios preliminares
- **Terceira Fase** – Realização de ensaios para avaliação do comportamento das argamassas escolhidas na segunda fase.

Primeira Fase: Na primeira fase, efectuaram-se ensaios de caracterização dos materiais a utilizar nas amassaduras. Mais concretamente, foram determinadas as massas volúmicas aparentes dos agregados e dos ligantes utilizados, passo essencial para que seja possível converter o traço volumétrico, muito utilizado em obra, para uma relação de massas, possibilitando assim uma dosagem rigorosa dos materiais em laboratório. Foi também realizada a análise granulométrica dos diferentes tipos de agregado, o que permitiu compreender a influência da granulometria na estrutura porosa da mistura.

Segunda Fase: Na segunda fase, definiram-se as composições de argamassa que serão alvos de estudo. Procurou-se analisar misturas que incorporassem percentagens de cortiça variáveis, havendo sempre a preocupação de garantir uma trabalhabilidade adequada. Para tal, foi necessário determinar a curva de trabalhabilidade da argamassa em função da relação A/L, de forma a determinar-se a relação A/L correcta para a obtenção da trabalhabilidade pretendida. Isto foi conseguido através da produção de várias amassaduras de cada tipo de argamassa, recorrendo a diferentes relações A/L e realizando o ensaio de espalhamento para cada uma delas. Depois de definidas as composições a estudar, foram produzidos 3 provetes prismáticos (40x40x160 [mm]) de cada composição com o propósito de serem ensaiados à flexão e compressão, ao fim de 14 dias. Este ensaio teve o objectivo de aferir se as argamassas seriam viáveis para utilização como reboco, justificando assim a realização de outros ensaios de caracterização. Foram excluídas as composições que não apresentaram, aos 14 dias, uma resistência mecânica minimamente aceitável.

Terceira Fase: Na terceira e última fase da campanha experimental, ensaiaram-se as composições de argamassa definidas na segunda fase, tanto no estado fresco como no endurecido. Os ensaios no estado endurecido incidiram especialmente nas características mecânicas consideradas essenciais para o desempenho de um revestimento. Para o efeito, foram produzidos uma série de

provetes prismáticos 40x40x160 [mm], assim como provetes aplicados em tijolo, para recriar a sua aplicação em obra. Determinou-se a consistência e massa volúmica aparente das argamassas no estado fresco. No seu estado endurecido, todas as argamassas foram submetidas aos seguintes ensaios:

- Resistência à compressão e flexão, aos 28 dias
- Módulo de elasticidade dinâmico, aos 28 dias
- Aderência ao suporte, aos 28 dias
- Massa volúmica, aos 28 dias
- Variação dimensional (Retração), ao longo de 90 dias
- Esclerómetro pendular, aos 28 dias

3.3. Produção das argamassas e dos provetes de ensaio

3.3.1. Considerações gerais

Todos os ligantes e agregados utilizados no decorrer da campanha experimental foram armazenados dentro de recipientes plásticos (barricas) bem fechados com tampas vedantes, o que permitiu uma melhor conservação dos materiais desde o seu armazenamento até ao momento da sua utilização.

Os agregados, antes de utilizados na produção das argamassas, foram condicionados numa estufa quente à temperatura de 100 ± 5 °C e deixados posteriormente em repouso até atingirem a temperatura ambiente, homogeneizando-se assim o teor em água dos agregados, no momento da utilização.

A quantidade de cada material a utilizar em cada amassadura foi definida através de uma relação de massas, sendo todos os materiais utilizados na produção de argamassas (água, agregados e ligantes) pesados numa balança com precisão de 0,1g.

3.3.2. Produção de argamassas

A produção das argamassas foi realizada com base em procedimentos adaptados do disposto na norma NP EN 1015-2 (CEN, 1998a). Antes de se iniciar o processo de mistura de cada amassadura, todos os constituintes da argamassa foram pesados e colocados em recipientes próprios para que no momento da mistura, se encontrassem disponíveis nas proporções devidas. Utilizou-se uma misturadora mecânica, de modo a garantir condições normalizadas no decorrer do processo de produção, Figura 3.1. À semelhança de outros trabalhos realizados no laboratório do DECivil, optou-se pelo modo de funcionamento automático da máquina misturadora, sendo apenas necessário accionar o seu botão de arranque para dar início ao processo de fabrico da argamassa.

Ainda no exterior da máquina misturadora, começa-se por introduzir no recipiente misturador a água, seguida do(s) ligante(s). Coloca-se o recipiente na máquina e acciona-se o botão de arranque. A máquina inicia o seu funcionamento em movimento lento (cerca de 140 r.p.m.), mantendo esta velocidade durante 60 segundos, durante os quais são inseridos os agregados, havendo o cuidado de os adicionar pela ordem inversa à sua massa volúmica. Findos os 60 segundos iniciais, a máquina passa para movimento rápido (cerca de 285 r.p.m.), mantendo-se nessa velocidade durante 30 segundos, Figura 3.2. Ao fim desse tempo, o misturador pára durante 15 segundos, o que permite que, com o auxílio de uma raspadeira de borracha, se junte à massa principal, no centro do recipiente, o material que entretanto aderiu às paredes do recipiente por acção da rotação da colher misturadora, Figura 3.3. Finalmente, a máquina reinicia o seu movimento no seu modo mais acelerado, mantendo-se assim durante mais 60 segundos, ao fim dos quais a máquina pára e a amassadura é concluída.



Figura 3.1 - Misturadora Mecânica



Figura 3.2 - Misturadora em movimento rápido



Figura 3.3 - Procedimento de junção do material com auxílio da raspadeira

3.3.3. Preparação dos provetes prismáticos

Realizada a amassadura, preparam-se os provetes prismáticos, através do preenchimento de moldes, feitos em aço, que viabilizam a execução de três provetes prismáticos de dimensões $160 \times 40 \times 40$ [mm³]. A compactação das argamassas nos moldes foi realizada mecanicamente numa mesa de compactação, equipamento apresentado na Figura 3.4. O processo de moldagem realizou-se em duas fases, primeiro através do enchimento de metade do molde e compactação mecânica com 60 pancadas na mesa de compactação, seguido do enchimento do restante volume do molde e repetição das 60 pancadas. Refira-se que foi utilizada uma espátula metálica para distribuir uniformemente cada camada de argamassa, antes de se executar a compactação, Figura 3.5.

Após terminada a segunda fase de compactação, retira-se o molde da mesa e rasa-se a sua superfície com o auxílio de uma régua metálica, retirando-se assim o excesso de argamassa e regularizando-se a superfície exposta dos provetes. Pode-se observar o aspecto final da moldagem dos provetes através da Figura 3.6.



Figura 3.4 - Mesa de compactação



Figura 3.5 - Utilização da espátula metálica para homogeneizar as camadas de argamassa



Figura 3.6 - Aspecto dos provetes prismáticos ainda no molde, logo após a moldagem

Para a execução do ensaio de variação dimensional, foram produzidos provetes prismáticos, em tudo semelhantes aos provetes utilizados nos restantes ensaios, excepto na existência de um perno metálico em cada uma das suas extremidades. O processo de produção destes provetes é praticamente igual ao que foi descrito anteriormente, diferindo apenas na necessidade de introdução dos pernos no molde, através de orifícios específicos para o efeito, antes da introdução da argamassa no molde, Figura 3.7.



Figura 3.7 - Molde com pernos metálicos montados

3.3.4. Preparação da camada de revestimento dos tijolos

Para simular a aplicação das argamassas como reboco de paredes interiores, aplicou-se uma camada de 2 cm de argamassa sobre tijolos cerâmicos de dimensões 300 x 200 x 110 [mm]. Escolheu-se esta espessura, por ser uma espessura usualmente utilizada em obra e também por ser a adoptada noutros trabalhos de investigação. Prepararam-se dois tijolos com camada de reboco por cada tipo de argamassa, sendo, cada um deles, sujeito a um ensaio específico: arrancamento por tracção (pull-off) e esclerómetro pendular.

Para levar a cabo a produção da camada de revestimento recorreu-se a um suporte de madeira, Figura 3.8, que serviu de cofragem. Este tinha já sido utilizado em trabalhos anteriores, revelando-se uma técnica bastante aceitável para garantir uma boa aplicação da argamassa ao suporte de tijolo, com dimensões que permitem preservar não só um reboco regular como assegurar a espessura pretendida.



Figura 3.8 - Montagem do suporte de madeira



Figura 3.9 - Aplicação da argamassa com auxílio da colher de pedreiro

Foram escolhidos tijolos em bom estado, sem fissuração e com as faces bem conservadas, procedendo-se à remoção de quaisquer impurezas encontradas na face a rebocar. Devido à natureza porosa dos tijolos cerâmicos, foi também necessário humedecer a superfície do tijolo através de pulverização, a fim de evitar a excessiva absorção da água da argamassa por parte do suporte. Esta pulverização foi realizada por duas vezes, no início e fim do processo de produção da argamassa de reboco.

Com o auxílio de uma colher de pedreiro, aplica-se a argamassa contra a superfície a revestir, exercendo uma forte pressão para garantir uma boa aderência argamassa/suporte, Figura 3.9. Uma vez preenchido o molde com argamassa, com ligeiro acréscimo face ao nível pretendido (2 cm), Figura 3.10, procede-se ao acabamento com regularização da superfície. Recorrendo a uma régua metálica, remove-se o excesso de material, Figura 3.11, conferindo uma superfície lisa e regular, Figura 3.12.



Figura 3.10 - Molde preenchido com argamassa por regularizar



Figura 3.11 - Regularização da superfície do reboco usando uma régua metálica

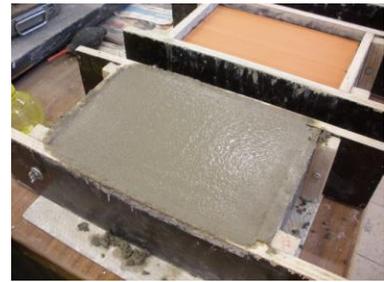


Figura 3.12 - Aspecto final da argamassa após regularização

3.4. Condições de cura dos provetes

As condições de cura dos provetes são idênticas para todas as composições estudadas, existindo apenas algumas variações entre alguns provetes destinados a ensaios distintos. Os provetes prismáticos, depois de produzidos, ficaram durante 24 horas nos moldes, em ambiente não controlado, nas condições ambientais existentes no Laboratório de Construção do laboratório do DECivil, e depois de desmoldados foram colocados durante 6 dias numa “câmara húmida”, com humidade relativa de $95 \pm 5\%$ e temperatura de 20 ± 2 °C, Figura 3.13. No final desses 6 dias, foram transferidos para uma “câmara seca” com 23 ± 2 °C de temperatura e humidade relativa de $50 \pm 5\%$, onde se mantiveram até à data do ensaio. As argamassas aplicadas em tijolos, depois de aplicadas, ficam 24 horas em ambiente não controlado e posteriormente são colocados na câmara seca até à data do ensaio. Refira-se que os provetes prismáticos destinados ao ensaio de variação dimensional, após desmoldados, foram imediatamente colocados na câmara seca, devido às especificidades do ensaio.



Figura 3.13 - Provetes prismáticos na câmara húmida

3.5. Formulações estudadas

Após os ensaios preliminares, optou-se pelo estudo aprofundado de 11 formulações distintas de argamassa com percentagem de cortiça variável entre 40 e 100% do volume de agregado, para além de 2 formulações de argamassa de referência em que o agregado é constituído na sua totalidade por areia.

Apresenta-se, de seguida, na Tabela 3.1, um quadro resumo, com todas as misturas estudadas e respectivas designações.

Tabela 3.1 - Quadro resumo com a descrição das composições estudadas

Designação da argamassa		Ligante (%)		Percentagem do volume total de agregado (%)			
		Cal hidráulica	Cimento	Areia	R1	R2	R3
CH	100A	100	-	100	-	-	-
	60A+R1	100	-	60	40	-	-
	60A+R2	100	-	60	-	40	-
	40A+R1	100	-	40	60	-	-
	40A+R2	100	-	40	-	60	-
CH+C	100A	50	50	100	-	-	-
	60A+R1	50	50	60	40	-	-
	60A+R2	50	50	60	-	40	-
	40A+R1	50	50	40	60	-	-
	40A+R2	50	50	40	-	60	-
	20A+40R1+40R3	50	50	20	40	-	40
	20A+40R2+40R3	50	50	20	-	40	40
30R1+70R3	50	50	-	30	-	70	

Foram utilizados três diferentes tipos de granulometria de RNC, denominados neste trabalho por R1, R2 e R3. Os regranulados R1 e R2 são semelhantes em termos granulométricos, embora o R2 (caracterizado pela empresa fornecedora com uma granulometria 2-6,3mm) seja mais grosseiro e com granulometria mais extensa que o R1 (caracterizado com granulometria 2-4mm), tal como se verá nos ensaios granulométricos efectuados aos agregados. O material R3 é pó de cortiça e apresenta a granulometria mais fina de entre todos os agregados utilizados no decorrer deste trabalho. Este material foi utilizado apenas nas formulações com maior teor de cortiça, compensando desta forma a carência de areia nessas formulações, desempenhando assim o papel de agregado fino, em conjunto com a areia, ou mesmo substituindo-a na sua totalidade.

Na argamassa **CH+C 30R1+70R3**, o agregado é constituído 100% por cortiça, numa mistura de 70% de pó de cortiça (agregado fino) e 30% de regranulado R1 (agregado grosso). Excluiu-se o regranulado R2 por este apresentar uma granulometria contínua, constituída por partículas finas e grossas, o que, porventura, produziria uma mistura agregado com excesso de finos, caso se efectuasse uma mistura com R3. Utilizou-se o R1 nesta argamassa porque possui uma granulometria mais limitada que R2, com 80% das suas partículas a encontrarem-se entre os 2 e os 4mm, sendo portanto preferível a sua utilização como “agregado grosso”

3.6. Ensaio de caracterização das matérias-primas

A caracterização dos constituintes das argamassas é efectuada através dos ensaios de massa volume aparente e da análise granulométrica, para o caso dos agregados. Foi adicionalmente realizado o ensaio de absorção de água, mas apenas para a areia.

3.6.1. Caracterização dos agregados

3.6.1.1. Massa volúmica aparente (Baridade)

A massa volúmica aparente, ou baridade, de agregado corresponde à massa de agregado seco que ocupa uma unidade de volume, contabilizando o volume de vazios entre as partículas de agregado.

Determinou-se esta característica de acordo com o estabelecido na norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2002). A baridade é medida, sem compactação, em provetes de capacidade e massa previamente conhecidos (Figura 3.14). Coloca-se agregado no interior do provete, até que este seja totalmente preenchido, havendo o cuidado de se rasar a superfície do provete para que o material não ocupe mais do que o volume pretendido, Figura 3.15.



Figura 3.14 - Provette utilizado no ensaio da massa volúmica aparente dos agregados



Figura 3.15 – Provette de ensaio totalmente preenchido com agregado

São efectuadas medições da massa de três provetes cheios de agregado, sendo a baridade do agregado obtida através da média dos resultados da seguinte expressão:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.1)$$

Sendo,

ρ_b a baridade, em gramas por dm^3 ;

m_2 a massa do recipiente e provete, em gramas;

m_1 a massa do recipiente vazio, em gramas;

V a capacidade do recipiente, em dm^3 .

3.6.1.2. Análise granulométrica

A análise granulométrica dos agregados foi efectuada segundo o procedimento da norma NP EN 933-2 (IPQ, 1999), com recurso à série de peneiros 0,063; 0,125; 0,250; 0,500; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00 [mm]. Os peneiros são colocados uns em cima dos outros, pela ordem indicada, com os peneiros de maior abertura a ficar no topo da pilha, Figura 3.16. A amostra de agregado em estudo foi previamente seca durante 24 horas à temperatura de 100 ± 5 °C, sendo o ensaio realizado à temperatura ambiente. A amostra é introduzida no peneiro de maior malha e coloca-se o conjunto de peneiros em vibração horizontal durante 5 minutos. O agregado vai descendo por gravidade, ficando os maiores grãos retidos nos peneiros de topo e os restantes grãos em peneiros de malha cada vez mais fechada, à medida que a dimensão do grão for diminuindo. De seguida, os peneiros são retirados individualmente e são peneirados manualmente até não se verificar passagem de grãos durante, pelo menos, um minuto, procedendo-se posteriormente a sua pesagem.



Figura 3.16 – Série de peneiros utilizada na análise granulométrica dos agregados

Sabendo-se antecipadamente a massa de cada peneiro vazio, determina-se a massa da amostra que fica retido em cada um deles. A percentagem retida em cada peneiro (R) corresponde ao quociente entre a massa obtida em cada peneiro (m_{peneiro}) pela massa total de amostra (m_{total}). Com a percentagem de material retido em cada peneiro, é possível desenhar a curva granulométrica do agregado.

O RNC do tipo R3 (pó de cortiça) apresenta uma reduzida massa e dimensão das suas partículas, pelo que se optou por não se realizar o ensaio a este agregado. As suas propriedades levam a que, durante a peneiração, parte do material fique preso nas paredes dos peneiros, por efeito de cargas electrostáticas, para além de se perder parte do material durante a manipulação dos peneiros, por efeito da extrema leveza e ínfima dimensão das suas partículas. No entanto, peneirou-se manualmente a cortiça R3 com recurso ao peneiro de 0,250 mm e verificou-se que a totalidade do material passou através da malha, o que confirma a classificação do material R3 como sendo um “pó de cortiça”, segundo a norma NP-114.

3.6.1.3. Absorção de água e massa volúmica

O presente ensaio foi realizado com base no disposto na norma NP EN 1097-6 (IPQ, 2003), segundo o método do picnómetro, tendo como objectivo a determinação da massa volúmica e da absorção de água da areia em análise. Para tal, determinou-se a massa volúmica da areia saturada com a superfície seca, a massa volúmica das partículas de areia secas em estufa, a massa volúmica do material impermeável das partículas e, por fim, a absorção de água da areia.

O ensaio consiste na imersão do provete (de massa superior a 1kg, como determina a norma) no picnómetro, agitando-se cuidadosamente o mesmo de modo a eliminar o ar ocluído, ficando depois este conjunto em banho-maria durante aproximadamente 24 horas. Após este período de repouso, o picnómetro foi retirado do banho-maria e voltou a remover-se o ar ocluído. Concluída esta operação, adicionou-se água no picnómetro até transbordar e, depois de secar a superfície exterior do picnómetro, efectuou-se a pesagem (M2).

A esta sequência seguiu-se a decantação da maioria da água que cobria o provete e o esvaziamento do picnómetro sobre um tabuleiro. O picnómetro voltou a encher-se, mas apenas com água, e procedeu-se à pesagem (M3). O provete, já colocado sobre o tabuleiro, foi deixado numa zona ventilada para que a humidade superficial dos agregados evapore. Quando o provete saturado fica com superfície seca, voltou-se a efectuar uma pesagem (M1), Figura 3.17. Por fim, secou-se a areia em estufa à temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até se obter massa constante e regista-se esse valor (M4).



Figura 3.17 - Secagem da superfície da areia no ensaio de absorção de água

As massas volúmicas dos agregados foram calculadas através das seguintes expressões:

$$\rho_a = \frac{M4}{[M4 - (M2 - M3)]/\rho_w} \quad (3.2)$$

$$\rho_{rd} = \frac{M4}{[M1 - (M2 - M3)]/\rho_w} \quad (3.3)$$

$$\rho_{ssd} = \frac{M1}{[M4 - (M2 - M3)]/\rho_w} \quad (3.4)$$

Já o cálculo da absorção de água é realizado pela aplicação da fórmula que se segue:

$$WA_{24} = \frac{M1 - M4}{M4} \times 100 \quad [\%] \quad (3.5)$$

Sendo,

ρ_a a massa volúmica do material impermeável das partículas (g/dm^3);

ρ_{rd} a massa volúmica das partículas secas em estufa (g/dm^3);

ρ_{ssd} a massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (g/dm^3);

ρ_w a massa volúmica da água (g/dm^3);

WA_{24} a absorção de água após imersão durante 24h (%);

M1 a massa do agregado saturado com superfície seca (g);

M2 a massa do picnómetro contendo o provete imerso na água e saturado (g);

M3 a massa do picnómetro cheio de água (g);

M4 a massa do provete de ensaio seco em estufa (g).

Este ensaio foi apenas efectuado para caracterizar a areia, uma vez que a sua elevada massa volúmica facilita a execução do ensaio, sendo apenas necessária a utilização de um picnómetro, um tabuleiro e uma balança de precisão. A leveza dos regranulados de cortiça dificulta a sua imersão em água (as partículas flutuam em água), pelo que seria necessário recorrer a equipamento adicional, como forma de garantir a sua completa imersão. Infelizmente, esse equipamento não se encontrava disponível no laboratório, pelo que se optou pela não realização do ensaio a estes agregados.

A estrutura porosa da cortiça torna o conhecimento da sua absorção de água bastante relevante. Ainda que no seu estado inalterado os poros da cortiça se encontrem isolados do exterior através de paredes impermeabilizantes, este material terá uma clara tendência para absorver água, caso se verifique a rotura dessas paredes, o que ocorre na produção dos regranulados de cortiça. Posto isto, será feita a análise de outros estudos em que se tenha estudado a absorção de água de regranulados de cortiça, como forma de prever a capacidade absorvente dos regranulados utilizados neste trabalho.

3.6.2. Caracterização dos ligantes

3.6.2.1. Massa volúmica aparente (Baridade)

A baridade dos ligantes foi determinada de forma semelhante à utilizada para o caso dos agregados. Para se replicar o procedimento adoptado em obra, utilizou-se um recipiente com 3 dm^3 de capacidade que foi preenchido na sua totalidade com o ligante em estudo, sem que houvesse

qualquer tipo de compactação. De seguida, o conjunto foi pesado e a baridade calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$\rho_{\text{ligante}} = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.6)$$

Sendo,

ρ_{ligante} - baridade, em gramas por litro;

m_2 - massa do recipiente e provete, em gramas;

m_1 - massa do recipiente vazio, em gramas;

V - capacidade do recipiente, em litros.

Repetiu-se o processo três vezes e fez-se a média dos resultados, determinando-se assim a massa volúmica aparente do ligante.

3.7. Ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

3.7.1. Consistência por espalhamento

A consistência de uma argamassa é uma medida da sua fluidez, fornecendo uma indicação da sua deformabilidade no momento da sua produção e aplicação e é expressa em percentagem. Determinou-se a consistência de todas as amassaduras produzidas através do ensaio de espalhamento, segundo a norma EN 1015-3 (CEN, 1999a).

Neste ensaio, realizado logo após a produção da argamassa, são introduzidas num molde tronco-cónico, previamente centrado no disco da mesa de espalhamento, duas camadas de argamassa compactadas individualmente com 15 pancadas do pilão, Figura 3.18. Depois de compactada a segunda camada, alisa-se o topo superior do molde, retirando o excesso de argamassa com auxílio da colher de pedreiro e limpa-se convenientemente o molde e o prato à sua volta. Passados aproximadamente 15 segundos, retira-se cuidadosamente o molde na vertical e submete-se a amostra à acção de 25 pancadas aplicadas em aproximadamente 15 segundos, no disco da mesa de espalhamento.



Figura 3.18 - Compactação das duas camadas de argamassa no molde tronco-cónico

Finalmente, mede-se o diâmetro da amostra segundo três direcções diferentes, com o auxílio de uma craveira, determinando-se dessa forma o diâmetro médio atingido após o ensaio (D_{med}). Na Figura 3.19 pode observar-se o aspecto da amostra depois de aplicadas as 25 pancadas.



Figura 3.19 - Amostra de argamassa após ter sido submetida ao ensaio

O espalhamento é o incremento de diâmetro obtido pela amostra após ter sido submetido ao ensaio, sendo calculado através da seguinte fórmula, considerando-se que o diâmetro inicial do provete é de 100 mm:

$$Espalhamento = \frac{D_{med} - 100}{100} \times 100 [\%] \quad (3.7)$$

Como já foi referido, este ensaio foi usado como ferramenta para determinar a relação A/L a utilizar em cada uma das composições estudadas de modo a apresentarem a consistência pretendida. Foi também realizado para caracterizar todas as amassaduras produzidas.

3.7.2. Massa volúmica aparente

A avaliação da massa volúmica aparente das argamassas no estado fresco foi realizada com base no procedimento descrito na norma EN 1015-6 (CEN, 1998b), diferindo desta apenas no método utilizado para compactar a amostra no interior do recipiente de medição.

De acordo com o descrito na norma, após a preparação da argamassa, enche-se até metade o recipiente com capacidade de 1 dm³ e massa previamente conhecida. De seguida, procede-se à compactação da argamassa através de 15 pancadas uniformemente distribuídas com auxílio de um varão de compactação. Volta-se a encher o recipiente, desta vez na sua totalidade, havendo o cuidado de utilizar um ligeiro excesso de argamassa, e procede-se à compactação desta segunda camada. Com o auxílio de uma régua, alisa-se a superfície da argamassa pelo rebordo do recipiente e retira-se o excesso de argamassa, pesando-se finalmente o recipiente com a argamassa compactada no seu interior.



Figura 3.20 - Alisamento da superfície da argamassa e pesagem do conjunto "recipiente+argamassa"

A massa volúmica aparente da argamassa ($\rho_{argamassa}$) é obtida através da divisão entre a massa de argamassa contida no recipiente e o volume do mesmo.

$$\rho_{argamassa} = \frac{m_2 - m_1}{V} [g/dm^3] \quad (3.8)$$

Sendo,

m₂ - massa do recipiente cheio de argamassa, em gramas;

m₁ - massa do recipiente vazio, em gramas;

V - capacidade do recipiente, em dm³.

3.8. Ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido

Este estudo foca-se essencialmente na análise das características mecânicas das várias composições de argamassa RNC propostas, pelo que os provetes foram submetidos apenas a ensaios de caracterização mecânica, com excepção do ensaio de variação dimensional, que poderá ser considerado um ensaio físico. As argamassas estudadas foram sujeitas aos seguintes ensaios, no seu estado endurecido:

- Resistência à compressão e flexão
- Módulo de Elasticidade Dinâmico

- Aderência ao Suporte
- Massa Volúmica
- Variação Dimensional (Retracção)
- Esclerómetro Pendular

Apresenta-se na Tabela 3.2 um resumo que visa esclarecer da melhor maneira possível quantos provetes de cada argamassa foram produzidos e para que ensaio se destinavam.

Tabela 3.2 - Número de provetes e ensaios a realizar para cada tipo de argamassa

Provetes produzidos	Ensaio realizado
3 provetes prismáticos (6 meios provetes)	Resistência à flexão e compressão aos 14 dias
3 provetes prismáticos (6 meios provetes)	Resistência à flexão e compressão aos 28 dias
6 provetes prismáticos	Massa volúmica aparente aos 28 dias
	Módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias
3 provetes prismáticos com pernos metálicos	Variação dimensional ao longo de 90 dias (retracção)
1 tijolo com aplicação de argamassa	Arrancamento por tracção aos 28 dias (<i>Pull Off</i>)
1 tijolo com aplicação de argamassa	Rigidez Superficial (esclerómetro pendular) aos 28 dias

Foram então produzidos um total de quinze provetes prismáticos (três deles com pernos metálicos aplicados nas suas extremidades) e dois tijolos com aplicação de argamassa, para cada tipo de argamassa.

Ao longo do trabalho experimental produziram-se 195 provetes prismáticos e aplicou-se argamassa em 26 tijolos.

3.8.1. Resistência à flexão e compressão

A determinação da resistência à compressão e flexão foi realizada com base na norma europeia EN 1015-11 (CEN, 1999b). Tratando-se de um ensaio destrutivo, foi necessária a produção de três provetes prismáticos de cada argamassa para cada idade de ensaio.

O ensaio consiste na colocação do provete sobre dois apoios cilíndricos da máquina de ensaio, Figura 3.21, sendo posteriormente aplicada uma força gradualmente crescente a meio vão, a taxa constante, até que ocorra a rotura. A força de rotura por flexão do provete corresponde à máxima força registada pela máquina antes da rotura, sendo registada para posterior cálculo da tensão de rotura à flexão através da expressão (3.9).

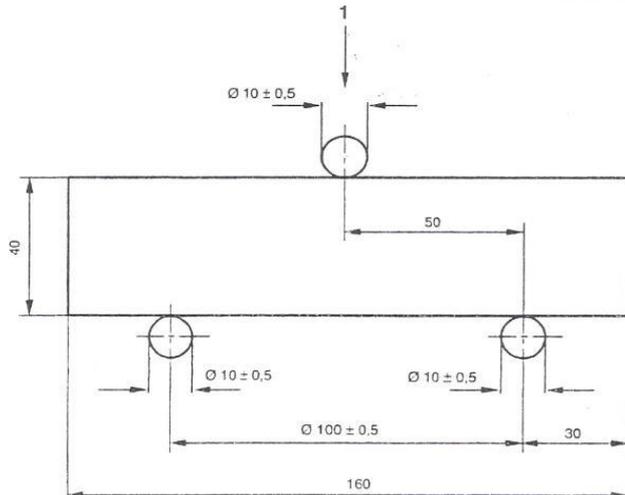


Figura 3.21 – Máquina de ensaio com provete pronto a ser ensaiado à flexão, à esquerda, e esquema de colocação do provete, à direita (imagem retirada da norma EN 1015 – 11:1999)

$$f_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{d_1 \times d_2^2} \text{ [MPa]} \quad (3.9)$$

Sendo,

f_f a tensão de rotura à flexão;

F_f a carga aplicada a meio-vão na ruptura à flexão, em Newtons;

l a distância entre os apoios cilíndricos, neste caso 100 mm;

d_1 e d_2 as dimensões das arestas dos topos do provete utilizado, neste caso 40 mm

A avaliação da resistência à compressão é efectuada com os meios-provetes resultantes do ensaio à flexão, Figura 3.22. Finalizado o ensaio de flexão, centra-se cuidadosamente cada meio-provete no prato inferior do equipamento de medição. Desce-se o prato superior da máquina de compressão até estabelecer contacto com a face superior do provete e, de seguida, é aplicada uma carga gradualmente crescente, a taxa constante, sobre a superfície do provete, até que este atinja a rotura. Com a força de rotura do provete é possível calcular a sua tensão de rotura à compressão (f_c).

$$f_c = \frac{F_c}{A} \text{ [MPa]} \quad (3.10)$$

Sendo,

f_c a tensão de rotura à compressão;

F_c a carga aplicada na ruptura à compressão, em Newtons (N);

A a área da zona comprimida, ou seja, $40 \times 40 = 1600 \text{ mm}^2$.

Por fim, calcula-se a média dos três ensaios, para o caso da flexão, e dos seis ensaios, para o caso da compressão, obtendo-se assim as tensões de rotura à flexão e compressão, na idade respectiva, de cada argamassa.



Figura 3.22 - Ensaio de compressão

Como já foi referido no início deste capítulo, este foi o ensaio utilizado para determinar se todas as composições ensaiadas apresentavam uma capacidade resistente mínima que justificasse o seu estudo como alternativa de revestimento. Para tal, ensaiaram-se as argamassas aos 14 dias, para além do ensaio aos 28 dias, preconizado na norma.

3.8.2. Ensaio de arrancamento por tracção – *Pull Off*

Para se efectuar a análise da compatibilidade das argamassas de reboco com o suporte, realizou-se o ensaio de arrancamento por tracção. O método adoptado segue o disposto na norma EN 1015 – 12 (CEN, 2000) e consiste na extracção de uma pastilha metálica, com máquina *pull-off*, previamente colada ao revestimento através de uma cola epóxida. A máquina de ensaios mede a força necessária para proceder ao arrancamento da pastilha e, sabendo-se a área que a pastilha ocupa na superfície do reboco, determina-se a resistência ao arrancamento do reboco em questão, ou seja, a máxima tensão que é possível aplicar ao revestimento. Para garantir que o arrancamento ocorra apenas sob a área da pastilha, é previamente criado um rasgo no seu contorno, com uma profundidade superior à espessura do revestimento.

Idealmente deveriam ter sido utilizadas apenas pastilhas de secção circulares ($D=50\text{mm}$), uma vez que são as recomendadas pela norma. No entanto, devido ao desgaste da broca de coroa diamantada disponível no laboratório e ao elevado custo de substituição da mesma, não foi possível realizar os entalhes circulares na camada de argamassa aplicada em tijolo. Em alternativa, foram utilizadas pastilhas quadrangulares de dimensões $50 \times 50 \text{ [mm}^2\text{]}$, sendo os entalhes rectangulares executados com uma rebarbadora de disco diamantado. Mesmo não sendo o recomendado, é também este o procedimento mais utilizado quando se pretende fazer a análise *in situ* da aderência de um revestimento (Flores-Colen, Brito & Branco, 2007) pelo que é expectável a obtenção de valores aproximados dos que se obteriam com a utilização de pastilhas circulares. O estudo realizado por Soares (2011) indica, no entanto, que os valores para a tensão de aderência obtidos em carotes quadrangulares $50 \times 50 \text{ [mm}^2\text{]}$ são, em média, superiores aos medidos em carotes

circulares de 50 mm de diâmetro, pelo que se terá esse facto em consideração, caso haja a necessidade de comparar os resultados obtidos neste trabalho, com outros, da bibliografia.

Começa-se por regularizar a superfície da camada de argamassa aplicada no tijolo com recurso a uma lixa. De seguida, com recurso à rebarbadora, executam-se os rasgos rectangulares, três por cada argamassa, nos locais previamente assinalados no tijolo. Optou-se pela colagem de apenas três pastilhas por argamassa, centradas no tijolo, de modo a minimizar a influência que a zona de rebordo do revestimento poderá ter na aderência da argamassa, aproveitando-se assim a zona central onde o revestimento deverá ser mais homogéneo.

Após a execução dos entalhes, limpa-se a superfície do reboco com um jacto de ar, de modo a eliminar quaisquer impurezas resultantes dos processos de corte, e inicia-se a colagem das pastilhas metálicas com uma cola epóxida de dois componentes, Figura 3.23. Após 48 horas, procede-se ao arrancamento com um equipamento da marca *Controls* (modelo 58-CO215/T), Figura 3.24, por intermédio de uma carga axial (100 N/s) aplicada à pastilha metálica colada na superfície do reboco, sendo registado o valor da força de rotura em Newton (N) e a tipologia de rotura.



Figura 3.23 - Aspecto final das pastilhas após colagem



Figura 3.24 - Aparelho de arrancamento (máquina de *pull-off*)

A tensão máxima de aderência é o quociente entre a carga medida pelo aparelho de ensaio no momento em que o revestimento deixa de apresentar resistência e a área testada, segundo a expressão:

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \text{ [MPa]} \quad (3.11)$$

Sendo,

σ_a a tensão de aderência;

F_a a força de rotura lida no aparelho de ensaio, em Newtons (N);

A a área de contacto da pastilha com a argamassa, ou seja, $50 \times 50 = 2500 \text{ mm}^2$

O valor da tensão de aderência da argamassa corresponde à média das três medições efectuadas.

3.8.3. Massa volúmica aparente

A determinação da massa volúmica das argamassas em estudo realizou-se através de um método expedito que consiste na medição das dimensões dos prismas e respectiva pesagem. Utilizando uma craveira, mede-se a largura e a espessura em ambos os extremos e no centro dos provetes prismáticos, sendo a medida final de cada prisma a média das medições nesses três pontos. O comprimento é medido apenas uma vez na longitudinal de cada prisma. Com estas três medidas, calcula-se o volume do prisma, o que, após a sua pesagem, permite determinar a massa volúmica aparente.

Este ensaio é efectuado imediatamente antes do ensaio do módulo de elasticidade dinâmico.

3.8.4. Módulo de elasticidade dinâmico

Determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico através do procedimento descrito na norma francesa NF B10-511 (AFNOR, 1975). Trata-se de um ensaio não destrutivo que consiste na determinação da frequência de ressonância de provetes prismáticos, através de uma vibração incutida longitudinalmente ao provete.

O provete é fixado ao aparelho de medição, Figura 3.25, através da sua parte central, imprimindo-se a vibração numa das suas extremidades, sendo essa vibração recebida por um sensor colocado na outra extremidade do provete, depois de ter percorrido todo o seu comprimento. Na Figura 3.26 pode-se observar o correcto posicionamento do provete prismático no aparelho. O aparelho transforma a vibração mecânica sofrida pelo provete num sinal eléctrico, que se traduz num espectro de frequências, Figura 3.27. A partir da observação do gráfico de frequências associado a cada provete é possível determinar a frequência fundamental de ressonância (F) de cada um deles, que corresponde à frequência mais baixa para a qual se obtém uma amplitude de oscilação máxima.

Após os provetes terem sido medidos e pesados, de acordo com o ponto 3.8.3., e a sua frequência de ressonância determinada, calcula-se o módulo de elasticidade dinâmico a partir da seguinte fórmula:

$$E_d = 4L^2 \cdot F^2 \cdot \rho \cdot 10^{-6} [MPa] \quad (3.12)$$

Sendo,

E_d o módulo de elasticidade dinâmico;

L o comprimento do provete, em metros [m];

F a frequência de ressonância longitudinal, em Hertz (Hz);

ρ a massa volúmica aparente, em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3).



Figura 3.25 - Aparelho utilizado na medição do módulo de elasticidade dinâmico

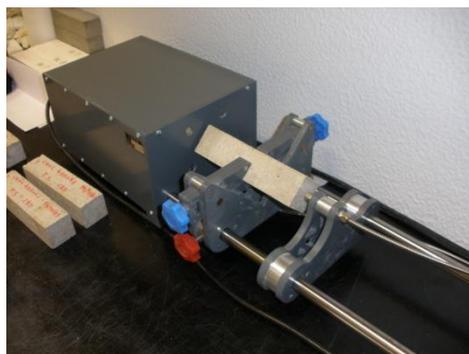


Figura 3.26 - Pormenor de colocação do provete no aparelho

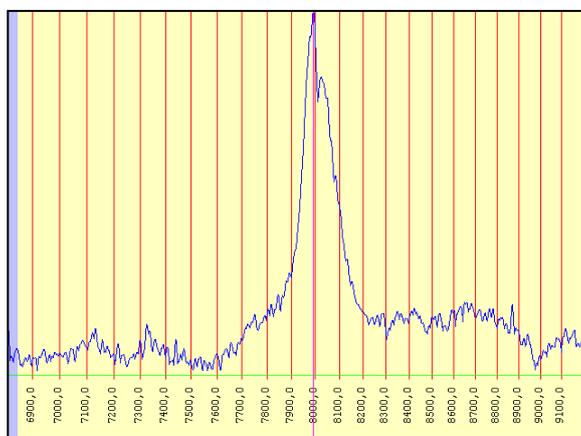


Figura 3.27 - Gráfico de frequências onde se observa o pico de oscilação a que corresponde a frequência de ressonância do provete

O módulo de elasticidade dinâmico de cada argamassa é obtido através da média dos resultados obtidos dos respectivos provetes. Foram ensaiados seis provetes prismáticos (160mm x 40mm x 40mm) de cada argamassa aos 28 dias, em vez dos usuais três provetes utilizados nos restantes ensaios. Uma vez que a estrutura interna dos provetes de ensaio com cortiça deverá ser menos homogênea quando comparada com a de argamassas tradicionais apenas com areia, também os resultados obtidos quanto à frequência de ressonância poderão apresentar desvios consideráveis. De modo a minimizar este efeito e como forma de potenciar a obtenção de resultados mais fiáveis, tomou-se a opção de se expandir o tamanho da amostra.

3.8.5. Variação dimensional – Retracção

A retracção numa argamassa consiste numa alteração do seu volume, devido a reacções entre os componentes da argamassa e à perda de água por secagem, por exposição a um ambiente com humidade relativa inferior a 100%. É este fenómeno que se pretende analisar através da medição do comprimento de provetes prismáticos, desde a sua desmoldagem e durante a sua secagem sob condições especificadas. A metodologia utilizada segue o disposto na Especificação LNEC E 398

(LNEC, 1993) e consiste na produção e medição de três provetes prismáticos de secção quadrada e dimensões $160 \times 40 \times 40$ [mm³], para cada tipo de argamassa, dotados de pernos metálicos nas suas extremidades, Figura 3.28, que permitem medir, com rigor, o seu comprimento em diversas idades, através de um equipamento de precisão próprio, Figura 3.29.



Figura 3.28 - Provetes prismáticos com respectivos pernos metálicos nas extremidades



Figura 3.29 - Aparelho de medição da retração

Avaliou-se então o comprimento e a massa de cada um dos três provetes de cada argamassa logo após desmoldagem e até aos 91 dias de idade. Efectuaram-se medições a várias idades, havendo especial atenção em acompanhar diariamente a retração dos provetes durante a primeira semana, período no qual se deverá observar este fenómeno com maior intensidade. A partir do sétimo dia passaram-se a efectuar medições semanais, nomeadamente aos 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84 e, finalmente, aos 91 dias.

A medição do comprimento dos provetes é feita inserindo sempre o topo superior em primeiro lugar, ou seja, a extremidade que ficará em contacto com parte de cima do aparelho de medição, Figura 3.30. Depois de o provete estar colocado em posição, este é rodado sobre o seu eixo longitudinal, Figura 3.31, até se obter o maior valor no mostrador do aparelho, sendo esse valor registado. De seguida, inverte-se o posicionamento dos topos do provete e torna-se a registar o maior valor obtido. Repete-se este processo três vezes, até se obterem seis registos por provete (três por cada topo).



Figura 3.30 - Introdução do topo do provete no aparelho de medição



Figura 3.31 - Rotação longitudinal do provete

A extensão de retracção, ao fim de um determinado período de vida do provete, é obtida pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_{cs} = \frac{d_f - d_i}{d_i} \quad (3.13)$$

Sendo,

ε_{cs} a extensão de retracção;

d_i a distância entre os pontos de referência no início do ensaio, em milímetros

d_f a distância entre os pontos de referência no fim do período especificado de ensaio, em milímetros

O valor da retracção em determinada idade, de cada argamassa, é o que resulta da média das medições efectuadas nos três provetes.

3.8.6. Rigidez superficial – Ensaio do esclerómetro pendular

Pretende-se, através deste ensaio, avaliar a dureza superficial das argamassas produzidas, informação que se poderá revelar útil para aferir as propriedades mecânicas do material na zona superficial do reboco.

O método utilizado consiste na produção de uma reacção elástica pelo impulso de uma massa conhecida, que choca contra o material sobre uma superfície de contacto dada. É possível medir a quantidade de energia recuperada no ressalto da massa, o que permite obter um índice de dureza da superfície ensaiada (valor de ressalto) sobre uma escala graduada acoplada ao aparelho. Quanto mais brando for o material, maior é a quantidade de energia que ele absorve e menor é a altura do ressalto (Magalhães, Veiga & Costa, 2003).

O ensaio foi efectuado numa camada de reboco com 2 cm aplicada em tijolo, com recurso a um esclerómetro pendular do tipo PT. Este tipo de esclerómetro, pela menor energia e maior área de impacto relativamente a outros modelos, é o mais indicado para materiais porosos com baixa resistência, como é o caso dos revestimentos de parede com argamassas de reboco (Flores-Colen, 2009).

Ensaiou-se um tijolo com camada de reboco, para cada tipo de argamassa, efectuando-se um total de 9 medições em diferentes zonas do reboco. Marcou-se um conjunto principal de pontos de ensaio (1,2,3,4 e 5) e outro secundário (1',2',3' e 4'), intercalada com o conjunto principal, tal como se pode observar pela Figura 3.32. O esclerómetro foi primeiro aplicado sobre o conjunto principal de pontos e só depois, sobre o conjunto secundário. De modo a garantir a estabilidade do tijolo no momento do ensaio, este foi colocado na horizontal e encostado a um suporte rígido, neste caso, uma parede, Figura 3.33.

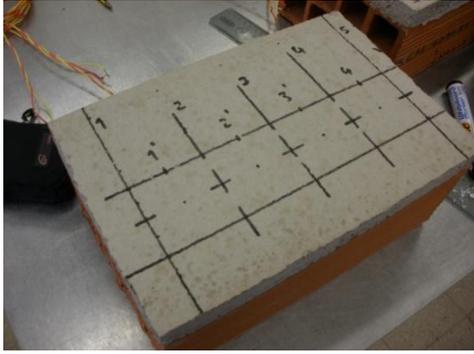


Figura 3.32 - Marcação dos pontos de ensaio



Figura 3.33 - Colocação correcta do tijolo

De seguida, colocou-se o esclerómetro na vertical sobre a superfície a ensaiar, havendo o cuidado de o pressionar bem contra o revestimento, garantindo assim o bom contacto entre o equipamento e o revestimento Figura 3.34. Accionou-se o aparelho, que solta um pêndulo contra o provete e regista-se o valor do ressalto que este sofre, através da leitura da escala do aparelho, Figura 3.35.

Os resultados obtidos para o ressalto no conjunto de pontos secundário só serão considerados no cálculo do ressalto médio da argamassa, caso não se obtenham valores que indiquem que a superfície do revestimento nos pontos secundários tenha sido afectada pelo impacto do pêndulo, no decorrer do ensaio no conjunto de pontos principal.



Figura 3.34 - Equipamento em posição de iniciar o ensaio



Figura 3.35 - Leitura do ressalto na escala graduada do aparelho

Importa referir que existem diversos factores que podem influenciar os resultados obtidos neste ensaio. Todos os parâmetros ligados à constituição do reboco, tais como o tipo e quantidade de ligante, a quantidade de água usada na amassadura ou a natureza do agregado vão afectar a resistência superficial. A espessura da camada de reboco poderá ser condicionante, na medida em que, para pequenas espessuras (até 5 cm), a dureza do suporte pode ter influência (Mendonça, 2007). Também a rugosidade do reboco será um factor a ter em conta, assim como a temperatura (do provete e equipamento) e a existência de humidade superficial, na medida em que superfícies secas originam maiores valores de ressalto (Brito, 1987). Embora a norma NP EN 12504-2 (IPQ, 2001) recomende o alisamento prévio, por abrasão, da superfície a ensaiar, optou-se pela não

execução dessa operação, já que afecta fortemente o aspecto estético do revestimento, razão pela qual é um procedimento raramente utilizado em análises *in situ* de fachadas.

4. Apresentação e análise dos resultados

4.1. Considerações iniciais

Neste capítulo, apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios efectuados no decorrer da campanha experimental. Através da análise desses resultados, pretende-se caracterizar as argamassas com teor de cortiça, havendo o cuidado de correlacionar o seu comportamento com as características dos materiais que serviram de matéria-prima. O desempenho observado nas argamassas produzidas com percentagem variável de RNC será comparado com desempenho das argamassas de referência, o que permitirá retirar ilações quanto à viabilidade das formulações estudadas. A granulometria e quantidade de cortiça utilizada em cada argamassa serão igualmente aspectos a ter em conta no momento de apreciação dos resultados.

Adicionalmente, são apresentados os resultados do procedimento que levou à adopção das diferentes relações A/L para cada composição estudada.

4.2. Caracterização dos constituintes das argamassas

As características dos materiais utilizados na produção de argamassas estão intimamente ligadas às propriedades exibidas pelas mesmas, pelo que se torna essencial realizar um estudo prévio sobre estes materiais. Neste ponto, avalia-se as suas características mais relevantes, dando-se especial ênfase às do agregado, uma vez que este será o único componente variável entre todas as composições de argamassa estudadas.

4.2.1. Caracterização dos agregados

4.2.1.1. Massa volúmica aparente (Baridade)

A determinação da baridade dos agregados permite a avaliação da influência do agregado sobre a massa volúmica das argamassas produzidas. Para além disso, é um passo fundamental para a conversão do traço em volume para traço em massa. Apresenta-se, na Tabela 4.1, as baridades obtidas através do procedimento descrito anteriormente.

Tabela 4.1 - Baridade dos agregados

Agregado	Baridade [kg/m³]
Areia de rio	1549.2
Regranulado R1	84.2
Regranulado R2	86.3
Regranulado R3	115.4

Como seria de esperar, a areia apresenta uma baridade muito superior à dos restantes agregados de cortiça. Os regranulados R1 e R2 têm baridades praticamente idênticas, o que era expectável, tendo em conta a natureza similar dos dois agregados. O pó de cortiça R3 é o agregado de cortiça com a baridade mais elevada, por força da granulometria mais fina que apresenta, face a R1 e R2.

4.2.1.2. Absorção de água e massa volúmica da areia

Apresenta-se na Tabela 4.2 os resultados obtidos no decorrer do ensaio de absorção de água, para o caso da areia. Foi calculada a massa volúmica impermeável (ρ_a), a massa volúmica das partículas secas em estufa (ρ_{rd}), a massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca (ρ_{ssd}) e a absorção de água ao fim de 24 horas de imersão (WA_{24h}).

Tabela 4.2 - Resultados do ensaio de absorção de água e massa volúmica da areia

Areia de rio	
ρ_a [kg/m ³]	2766,7
ρ_{rd} [kg/m ³]	2727,6
ρ_{ssd} [kg/m ³]	2741,7
WA_{24h} [%]	0,52

Como foi referido no capítulo anterior, este ensaio não foi realizado nos restantes agregados à base de cortiça. No entanto, sabe-se que nos estudos realizados por Marques (2008), Pinheiro (2009) e Medeiros (2010) foram obtidos para a absorção de regranulados de cortiça valores muito superiores aos observados para a areia de rio.

No estudo efectuado por Marques (2008), utilizaram-se dois tipos de RNC na produção de betões leves, com classe dimensional 2-9 mm e 9-15 mm. Foram obtidos índices de absorção de água de cerca de 67% e 35% para o primeiro e segundo tipo, respectivamente, o que se traduz num aumento da absorção de água significativa, com a redução da dimensão diametral do regranulado. Isto é explicado pela redução do número de poros internamente fechados, quando se passa da classe 9-15 para a 2-9, o que possibilita a penetração de água nos poros abertos para o exterior, que são em muito maior número no regranulado com classe dimensional inferior (2-9 mm) (Marques, 2008). Este facto leva a crer que, para o RNC, a absorção de água será tanto maior quanto menor for a dimensão diametral média do regranulado.

Embora não se apresentem resultados concretos, ao aplicar-se este conhecimento no presente estudo, é possível colocar a hipótese que os regranulados R1 e R2 apresentam absorções de água semelhantes, com o R1 a apresentar, eventualmente, a absorção de água mais elevada dos dois, devido à sua dimensão diametral ser mais baixa. O pó de cortiça, R3, deve apresentar um índice de absorção bastante superior a R1 e R2 uma vez que a sua granulometria muito fina tem como

consequência a quase extinção de poros internamente fechados na estrutura interna das suas partículas, o que propicia a infiltração de água.

4.2.1.3. Análise granulométrica

Efectuou-se a análise granulométrica da areia de rio, do regranulado do tipo R1 e do regranulado do tipo R2, sendo o pó de cortiça, R3, excluído deste ensaio, pelas razões previamente referidas.

Areia de rio

Os resultados da análise granulométrica da areia de rio apresentam-se de seguida, na Tabela 4.3. Com estes dados é possível determinar a dimensão máxima ($D_{máx}$) e mínima ($D_{mín}$) do agregado, assim como o seu módulo de finura (MF), Tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Resultados da análise granulométrica da areia

Abertura do peneiro [mm]	Material passado acumulado [%]
8,0	100,00
4,0	100,00
2,0	99,99
1,0	98,55
0,500	73,75
0,250	20,23
0,125	0,76
0,063	0,02
Refugo	0,00

Tabela 4.4 - Características geométricas da areia de rio

$D_{mín}$ [mm]	0,125
$D_{máx}$ [mm]	1,0
MF	3,067

Com base na Tabela 4.3, apresenta-se na Figura 4.1 a curva granulométrica deste agregado.

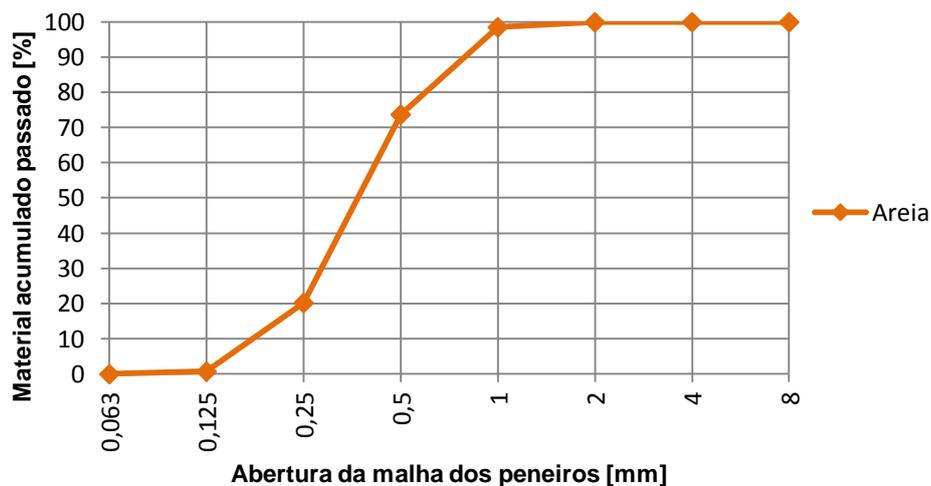


Figura 4.1 - Curva granulométrica da areia

Regranulado negro de cortiça (RNC)

A análise granulométrica das duas granulometrias de regranulado negro ensaiadas (R1 e R2), assim como as características geométricas desses agregados, representam-se de seguida, respectivamente na Tabela 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5 - Resultados da análise granulométrica do RNC

Abertura do peneiro [mm]	Material passado acumulado [%]	
	Regranulado R1	Regranulado R2
16,0	100,00	100,00
8,0	100,00	100,00
4,0	99,81	79,23
2,0	22,87	43,12
1,0	1,64	12,62
0,5	1,07	1,40
0,25	0,38	0,18
0,125	0,13	0,00
0,063	0,06	0,00
Refugo	0,00	0,00

Tabela 4.6 - Características geométricas do RNC

	R1	R2
D_{min} [mm]	1,0	0,5
D_{máx} [mm]	4,0	8,0
MF	5.740	5.635

Na figura seguinte, apresenta-se a curva granulométrica das duas granulometrias de RNC.

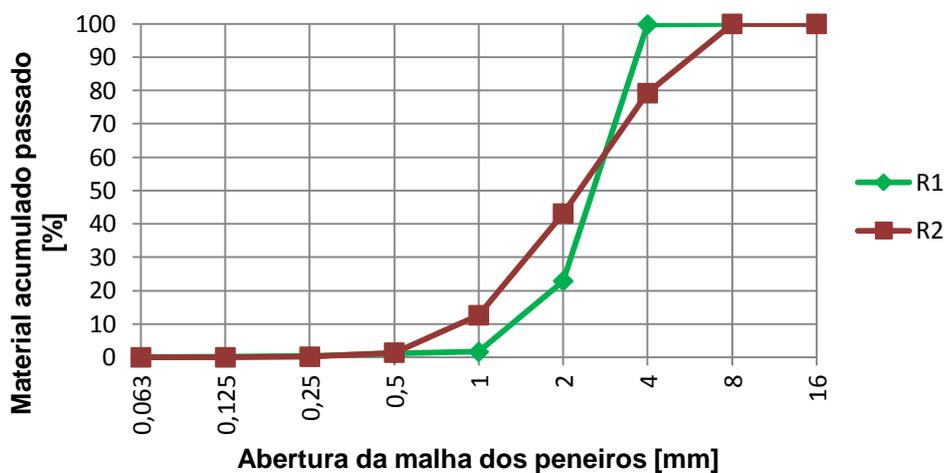


Figura 4.2 - Curvas granulométricas do RNC

Comparando a Figura 4.1 com a Figura 4.2, percebe-se que, dos três agregados sujeitos a análise granulométrica, a areia é o que exibe a granulometria mais fina, apresentando maioritariamente partículas de dimensões inferiores a 1 mm. Embora não tenha sido feita a sua análise granulométrica completa, sabe-se que, de todos os agregados utilizados, o material R3 é o mais fino, uma vez que todas as suas partículas têm dimensão inferior a 0,25 mm, facto constatado através de cuidadosa peneiração através do peneiro com a malha dessas dimensões.

Analisando a Figura 4.2, percebe-se que a cortiça R2 tem uma granulometria mais extensa que a R1, apresentando uma melhor distribuição de partículas por todas as dimensões. Esta característica poderá levar a que argamassas produzidas com o agregado R2 demonstrem melhor compacidade e resistência do que argamassas produzidas com R1, reduzindo também o risco de segregação (Coutinho J. d., 1999). As dimensões das partículas do agregado R1 encontram-se, na sua maioria, entre os 2 e os 4 mm, o que justifica o elevado declive da curva granulométrica.

Embora a dimensão máxima do agregado R2 seja superior à do R1, este último exibe um módulo de finura ligeiramente maior, uma vez que R2, por apresentar uma granulometria mais extensa, contém também mais material fino que R1, o que confirma as ilações retiradas da análise da curva granulométrica.

4.2.2. Caracterização dos ligantes

4.2.2.1. Massa volúmica aparente (Baridade)

Apresenta-se, na tabela seguinte, os resultados obtidos para a baridade dos ligantes utilizados no decorrer do trabalho experimental.

Tabela 4.7 - Baridade dos ligantes

Ligante	Baridade [kg/m ³]
Cal hidráulica	971,6
Cimento	1202,1

4.3. Ensaio de determinação da relação A/L

Como já foi dito anteriormente, todas as composições de argamassa foram sucessivamente submetidas ao ensaio de consistência por espalhamento, utilizando várias quantidades de água na sua amassadura, até se atingir a relação água/ligante a que corresponde a consistência pretendida. Definiu-se como objectivo a obtenção de um valor de espalhamento de 65 ± 3 %, por se considerar esse nível de trabalhabilidade o ideal para aplicação em obra. Para além disso, é um valor de espalhamento usualmente utilizado noutras dissertações dentro do mesmo tema, tais como Martins (2008), Cruz (2008) e Mendonça (2007).

4.3.1. Argamassas de cal hidráulica

Apresentam-se, de seguida, nas Tabelas 4.8 a 4.12, os resultados obtidos para as argamassas de cal hidráulica, após a aplicação do procedimento descrito. Com base nos resultados do ensaio de espalhamento, foi possível traçar as curvas de consistência das argamassas e, através da sua análise, determinar-se a relação A/L de cada argamassa que respeita a condição de consistência imposta, estando estas curvas representadas nas Figuras 4.3 a 4.7.

Tabela 4.8 - Resultados dos ensaios de consistência argamassa CH 100A

CH 100A			
A/L	0,9	0,95	1,0
Consistência [%]	52,4	66,6	77,1
Desvio-Padrão [%]	4,2	2,1	1,0

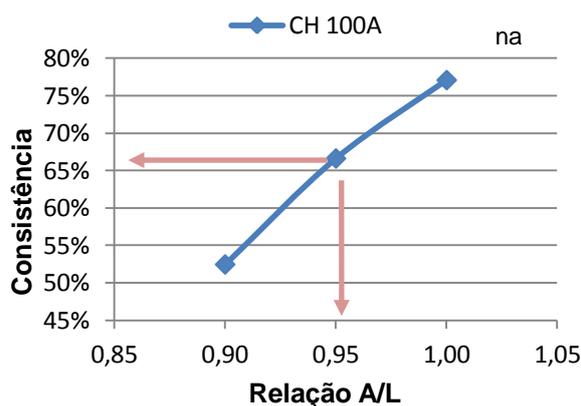


Figura 4.3 - Curva de consistência da argamassa CH 100A

Tabela 4.9 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 60A+R1

CH 60A+R1			
A/L	0,75	0,8	0,95
Consistência [%]	54,6	64,2	118,1
Desvio Padrão [%]	3,79	1,2	4,8

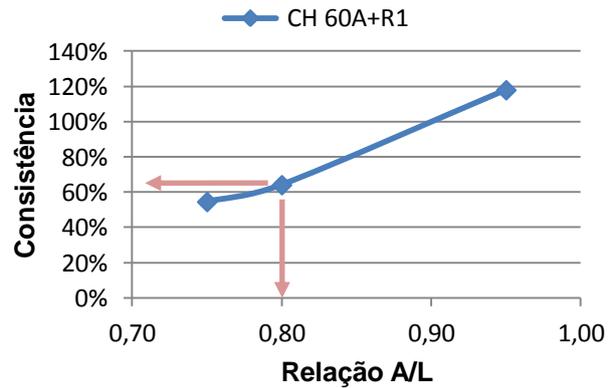


Figura 4.4 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R1

Tabela 4.10 - Resultados dos ensaios de consistência argamassa CH 60A+R2

CH 60A+R2		
A/L	0,8	0,83
Consistência [%]	57,7	66,3
Desvio Padrão [%]	4,3	0,9

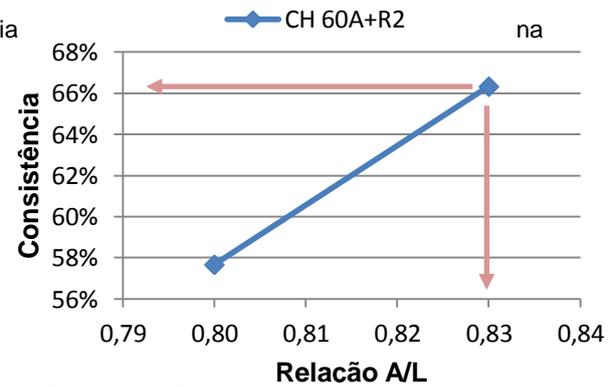


Figura 4.5 - Curva de consistência da argamassa CH 60A+R2

Tabela 4.11 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R1

CH 40A+R1			
A/L	0,75	0,77	0,8
Consistência [%]	60,4	65,7	71,1
Desvio Padrão [%]	2,5	1,9	0,5

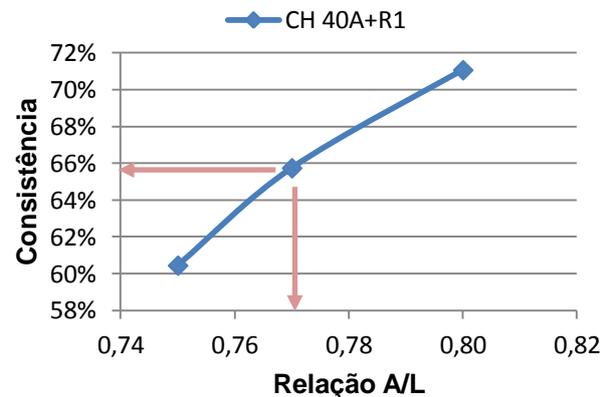


Figura 4.6 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R1

Tabela 4.12 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH 40A+R2

CH 40A+R2		
A/L	0,78	0,8
Consistência [%]	65,9	73,7
Desvio Padrão [%]	1,2	4,9

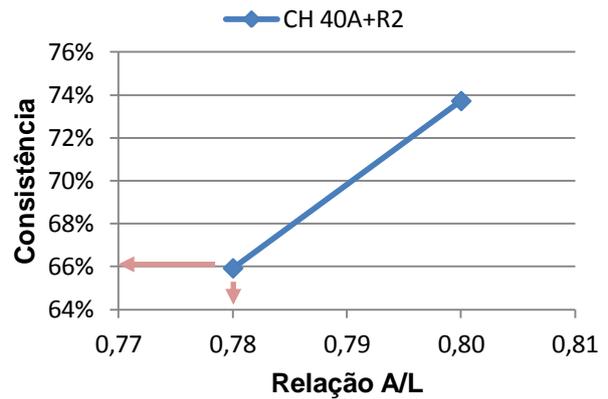


Figura 4.7 - Curva de consistência da argamassa CH 40A+R2

Apresenta-se resumidamente, na Tabela 4.13, as relações A/L adoptadas na produção de cada uma das argamassas de cal hidráulica.

Tabela 4.13 - Relações A/L adoptadas nas argamassas de cal hidráulica

Cal Hidráulica (CH)					
Argamassa	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
Relação A/L	0,95	0,80	0,83	0,77	0,78

Constata-se imediatamente que a argamassa de referência, CH 100A, necessita de uma maior quantidade de água para apresentar a mesma consistência que as restantes argamassas de cal hidráulica, que contêm cortiça na sua composição. Isto pode ser explicado pela diferença de agregado utilizado, uma vez que a argamassa de referência contém apenas areia na sua composição, dando origem a uma granulometria mais fina, o que se traduz numa maior necessidade de água de amassadura.

Nas restantes argamassas, observa-se que quando se passa de 40% para 60% de teor de RNC no agregado, a trabalhabilidade aumenta, sendo necessária menos água para o mesmo valor no ensaio de espalhamento. Este resultado é esperado, já que se aumenta a quantidade de agregado grosso, através do aumento da percentagem de RNC, e diminui-se o agregado fino, neste caso, a areia.

Comparando a influência das duas granulometrias de cortiça utilizadas, verifica-se que a utilização de regranulado R2 faz baixar ligeiramente a relação A/L, face aos resultados obtidos com a utilização de R1. O facto de a dimensão máxima do agregado de R2 ser superior à de R1, o que implica a existência de partículas de agregado de maiores dimensões, deverá ser a explicação para este facto.

4.3.2. Argamassas bastardas de cal hidráulica e cimento

A determinação da relação A/L das argamassas bastardas foi efectuada de forma idêntica à das argamassas de cal hidráulica, sendo apresentados, de seguida, os resultados obtidos da aplicação do ensaio de espalhamento para as diferentes argamassas, fazendo variar a relação A/L.

Tabela 4.14 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 100A

CH+C 100A			
A/L	0,79	0,80	0,90
Consistência [%]	65,7	67,4	83,0
Desvio Padrão [%]	0,1	3,2	3,9

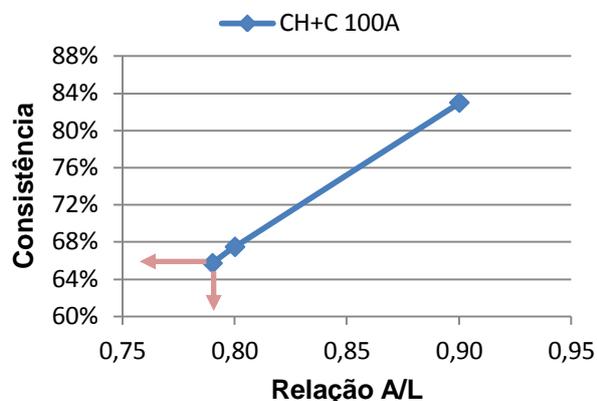


Figura 4.8 - Curva de consistência da argamassa CH+C 100A

Tabela 4.15 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R1

CH+C 60A+R1		
A/L	0,65	0,70
Consistência [%]	64,0	71,7
Desvio Padrão [%]	1,0	3,6

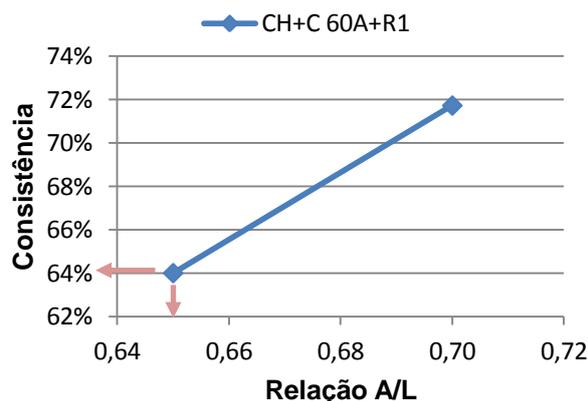


Figura 4.9 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R1

Tabela 4.16 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 60A+R2

CH+C 60A+R2		
A/L	0,65	0,68
Consistência [%]	64,5	78,0
Desvio Padrão [%]	3,2	0,9

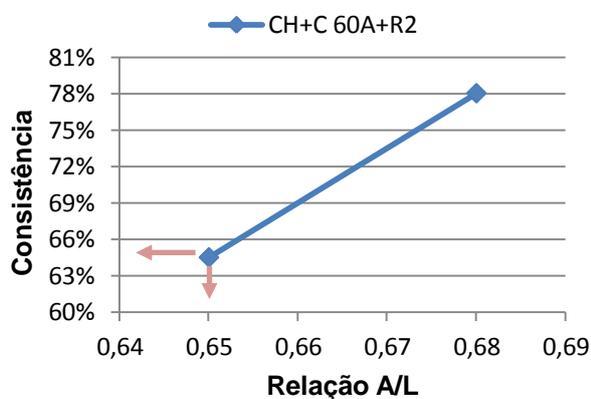


Figura 4.10 - Curva de consistência da argamassa CH+C 60A+R2

Tabela 4.17 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R1

CH+C 40A+R1			
A/L	0,6	0,62	0,63
Consistência [%]	58,5	67,8	70,4
Desvio Padrão [%]	1,3	1,8	2,2

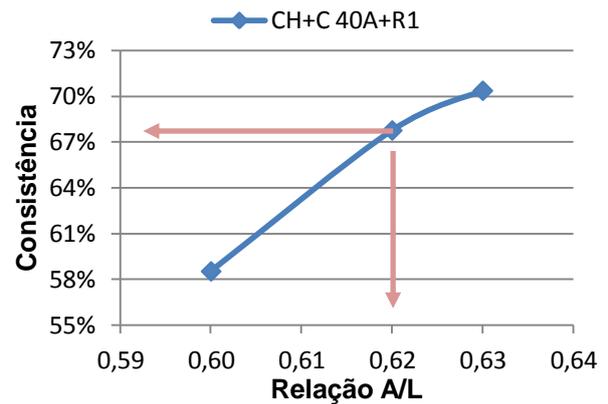


Figura 4.11 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R1

Tabela 4.18 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 40A+R2

CH+C 40A+R2				
A/L	0,62	0,63	0,64	0,68
Consistência [%]	54,6	64,8	73,7	105,9
Desvio Padrão [%]	4,1	2,5	4,3	1,3

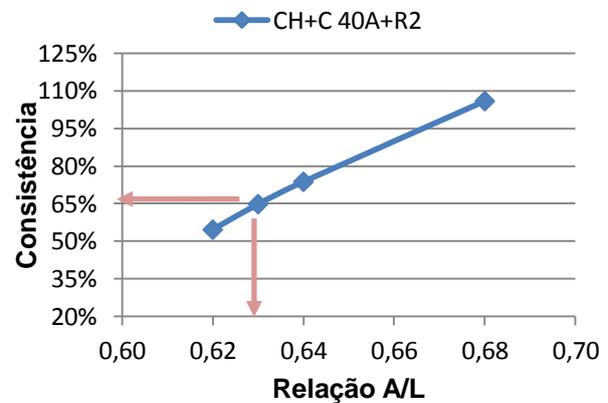


Figura 4.12 - Curva de consistência da argamassa CH+C 40A+R2

Nas tabelas 4.14 a 4.18 estão apresentados os resultados obtidos para as argamassas bastardas contendo a mesma mistura de agregado que as argamassas de cal hidráulica, previamente estudadas. A partir delas, traçam-se os gráficos representados nas Figuras 4.8 a 4.12.

A única diferença entre as argamassas CH e CH+C, com teor de cortiça entre 0 e 60 %, está na natureza da mistura ligante, pelo que as diferenças entre as relações A/L adoptadas para a mesma consistência, em argamassas com a mesma mistura de agregado, devem-se a diferentes exigências de água para a hidratação do ligante.

À semelhança do que se tinha observado para as argamassas de cal hidráulica, é também a argamassa de referência, sem qualquer conteúdo de cortiça, a que necessita de maior quantidade de água. As argamassas com 40 e 60% do agregado constituído por RNC revelaram praticamente a mesma necessidade de água de amassadura para obtenção consistência pretendida, independentemente da utilização de R1 ou R2. No entanto, as argamassas produzidas com R2 demonstraram uma maior sensibilidade ao aumento da água de amassadura, dando origem a valores de espalhamento superiores, tal como se pode observar, comparando a Figura 4.9 (R1)

com a Figura 4.10 (R2) e a Figura 4.11 (R1) com a Figura 4.12 (R2). Como esperado, a relação A/L baixa quando se aumenta o teor de cortiça no agregado, de 40% para 60%, fenômeno idêntico ao observado para as argamassas de cal hidráulica.

Produziram-se também argamassas de cal hidráulica e cimento em que apenas 20% da mistura de agregados era composta por areia. Tal como já referido anteriormente, nos casos em que se reduz significativamente o teor de areia, recorreu-se ao agregado R3. Com a introdução do pó de cortiça R3 pretende-se manter um teor elevado de finos, de forma a não se alterar significativamente a compacidade da argamassa. Os resultados obtidos para a determinação da relação A/L dessas argamassas são os expostos na Tabela 4.19 e na Tabela 4.20. As suas curvas de consistência são as representadas na Figura 4.13 e na Figura 4.14.

Tabela 4.19 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R1+40R3

CH+C 20A+40R1+40R3			
A/L	0,75	0,8	0,85
Consistência [%]	31,1	47,4	66,3
Desvio Padrão [%]	1,1	4,1	1,9

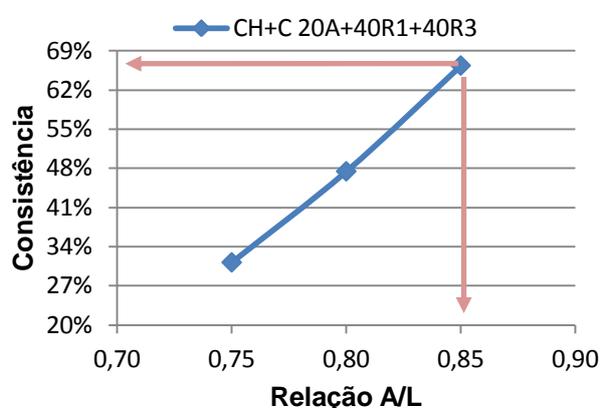


Figura 4.13 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R1+40R3

Tabela 4.20 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 20A+40R2+40R3

CH+C 20A+40R2+40R3			
A/L	0,85	0,9	0,94
Consistência [%]	33,2	54,7	65,2
Desvio Padrão [%]	1,4	1,55	0,96

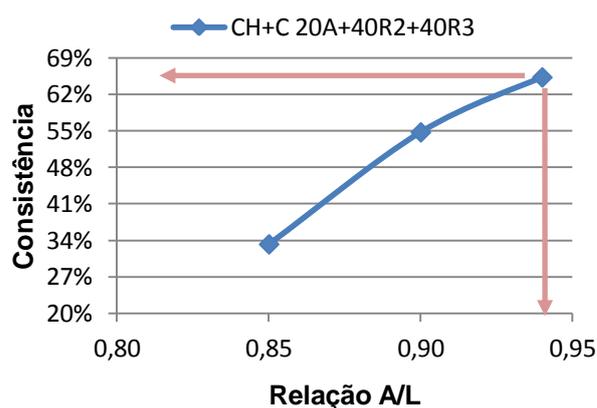


Figura 4.14 - Curva de consistência da argamassa CH+C 20A+40R2+40R3

Contrariamente à tendência observada anteriormente, ao aumentar-se a percentagem de RNC no agregado de 60% para 80%, é necessário aumentar a relação A/L para manter a consistência pretendida. Isto pode ser explicado pela introdução do agregado R3 que possui um índice de

absorção de água bastante superior ao da areia, o que provocará uma maior retenção de água no interior do agregado, impedindo que esta seja utilizada para a hidratação da argamassa.

Também a utilização do regranulado R2 em vez de R1 traz consequências no que toca à necessidade de água de amassadura, já que a argamassa produzida com recurso a esse agregado necessitou de uma maior relação A/L para ter a mesma consistência que a argamassa com R1. A maior quantidade de partículas finas de R2 poderá estar na base da explicação desta ocorrência.

Produziu-se apenas uma argamassa com agregado constituído 100% por cortiça. Para tal, usou-se uma mistura de 70% de pó de cortiça e 30% de regranulado R1. Apresenta-se, na Tabela 4.21 e na Figura 4.15, respectivamente, os resultados do ensaio de espalhamento e a curva de consistência da argamassa.

Tabela 4.21 - Resultados dos ensaios de consistência na argamassa CH+C 30R1+70R3

CH+C 30R1+70R3				
A/L	1,1	1,14	1,16	1,23
Consistência [%]	42,5	58,4	64,7	75,6
Desvio Padrão [%]	2,47	1,51	1,44	0,55

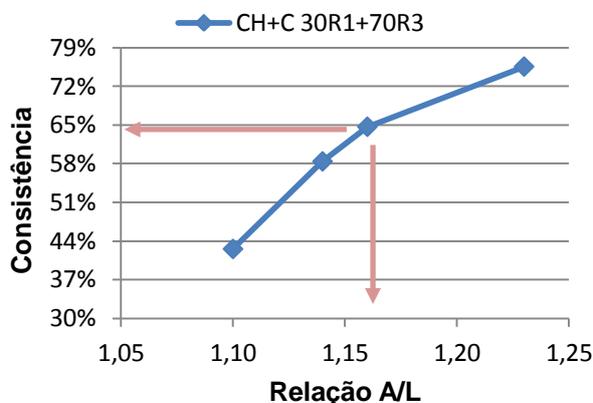


Figura 4.15 - Curva de consistência da argamassa CH+C 30R1+70R3

A análise dos resultados obtidos para esta argamassa mostra que foi necessária uma relação A/L de 1,16 para se obter a consistência pretendida. Este valor é bastante superior ao utilizado nas restantes argamassas, em que não foi necessário, em nenhum dos casos, ultrapassar os 0,95. O facto de se tratar da única argamassa com teor de cortiça no agregado de 100% é a explicação para estes resultados destoantes. Ao retirar-se completamente a areia (pouco absorvente), substituindo-a por pó de cortiça (muito absorvente e com partículas mais finas), originou-se um incremento da absorção de água do agregado e uma maior necessidade de água de amassadura devido à finura dos materiais, dando origem a uma relação A/L elevada. Resume-se, na Tabela 4.22, as relações A/L adoptadas para a produção das argamassas bastardas.

Tabela 4.22 - Relações A/L adoptadas para as argamassas bastardas

Cal Hidráulica e Cimento (CH+C)								
Argamassa	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	70R3+30R1
Relação A/L	0,79	0,65	0,65	0,62	0,63	0,85	0,94	1,16

4.4. Ensaio preliminar de resistência à flexão e compressão

Depois de determinada a relação A/L, realizou-se um ensaio preliminar, às argamassas no estado endurecido, como forma de avaliar a influência da introdução de cortiça nas características mecânicas das argamassas. Para tal, produziram-se três provetes prismáticos de cada composição para submeter ao ensaio de flexão e compressão, numa idade anterior à recomendada pela norma, neste caso aos 14 dias, de modo a não retardar-se em demasia o início dos restantes ensaios. Com base nos resultados obtidos neste ensaio, aferiu-se a viabilidade para a utilização como reboco, das composições de argamassa propostas. Na hipótese de alguma argamassa apresentar uma resistência à compressão abaixo da exigida pela classe CS I da Norma Europeia EN 998-1, excluiu-se essa argamassa do resto dos ensaios.

Os resultados do ensaio, nas argamassas de cal hidráulica, são apresentados na Figura 4.16.

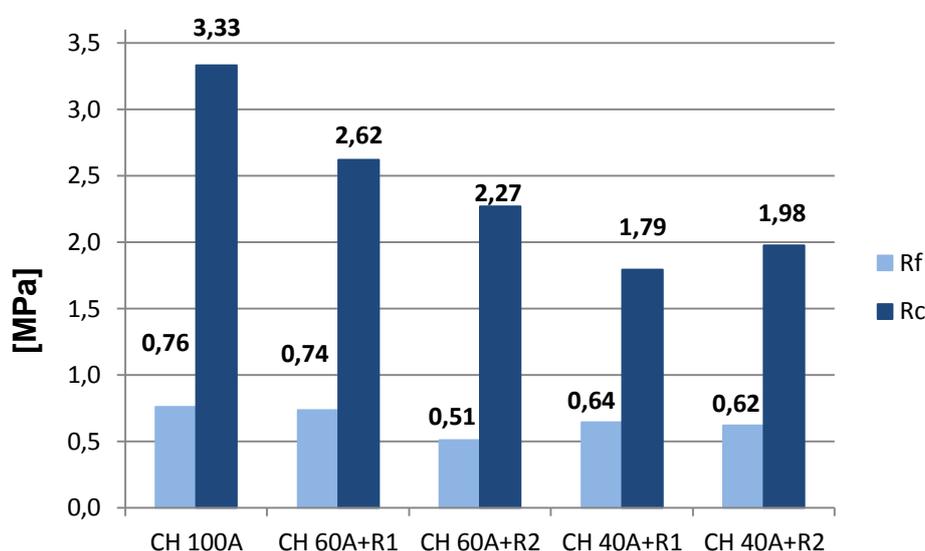


Figura 4.16 - Tensões de rotura à flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas de cal hidráulica

Como esperado, o aumento da percentagem de cortiça nas argamassas é acompanhado por uma perda de resistência à flexão e compressão. Ainda assim, o valor mais baixo obtido para a resistência à compressão, nestas argamassas, foi de cerca de 1,8MPa na argamassa CH 40A+R1, acima dos 0,4MPa exigidos pela NP 998-1 para a classe de menor resistência. Optou-se por não se analisar composições de argamassa de cal hidráulica cuja percentagem de cortiça no agregado excedesse os 60%, uma vez que a baixa resistência do ligante, aliada ao alto teor de material leve, poderia levar a valores para a resistência à compressão abaixo do limite mínimo exigido para a classe mais baixa, CS I.

Os resultados do ensaio, nas argamassas bastardas, são os apresentados na Figura 4.17.

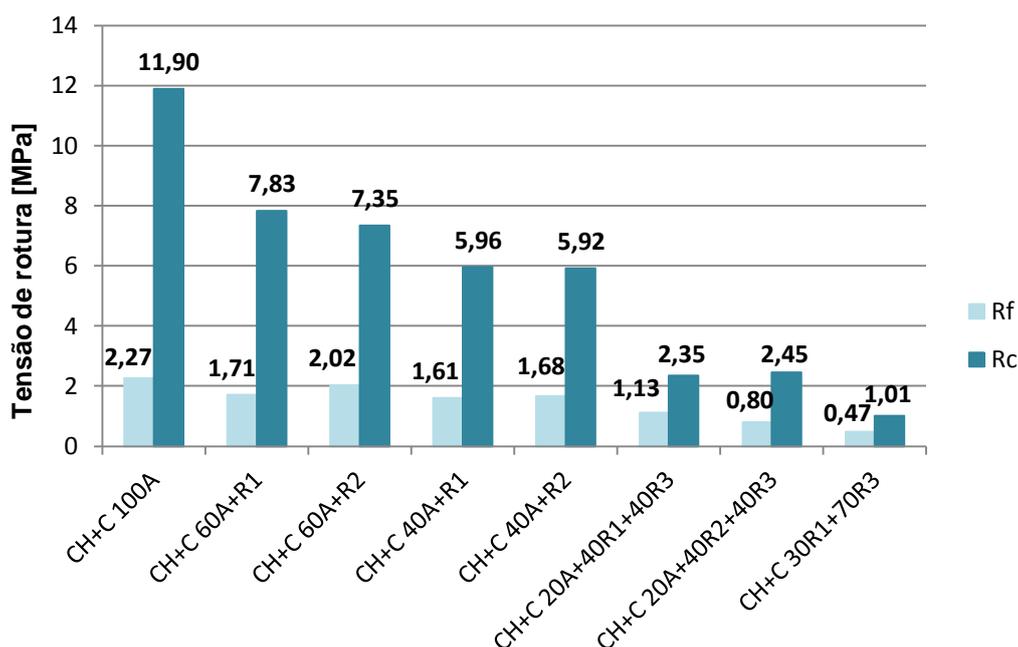


Figura 4.17 - Tensões de ruptura à flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas bastardas

As argamassas CH+C apresentam, para a mesma percentagem de cortiça no agregado, resistências mecânicas bastante superiores às de ligante único de cal hidráulica. Isto é expectável devido à substituição de metade do volume de cal hidráulica por cimento, o que irá conferir maior capacidade resistente às argamassas.

Nas misturas em que se utilizou 60% de RNC na mistura de agregado, obteve-se valores da tensão de ruptura à compressão de cerca de 6MPa, suficientes para enquadrar essas argamassas na classe de resistência à compressão CS III, segundo a EN 998-1. Desta forma, decidiu-se aumentar a percentagem de cortiça no agregado, diminuindo o teor de areia, com o fim de avaliar até que ponto seria possível obter valores para a resistência mecânica dentro do limite imposto pela norma. Observando a Figura 4.17, constata-se que o valor mais baixo de Rc foi o da argamassa CH+C 30R1+70R3, em que o agregado é unicamente composto por cortiça, com o valor de 1MPa, considerando-se este, ainda assim, um valor aceitável.

Tanto as argamassas de referência como as argamassas com cortiça, apresentaram, aos 14 dias, uma resistência á compressão razoável, pelo que se optou por submeter a totalidade das formulações aos restantes ensaios de caracterização mecânica.

4.5. Caracterização das argamassas no estado fresco

4.5.1. Consistência por espalhamento

Já depois de determinada a relação A/L de cada argamassa, foi necessário produzir uma nova amassadura de cada uma delas para avaliar a sua massa volúmica aparente (MVA) no estado

fresco. Aproveitou-se, então, para medir novamente a sua consistência, efectuando-se assim a confirmação de que não houve erros na determinação A/L e que, posteriormente, todas as amassaduras produzidas vão ter a consistência pretendida. Apresenta-se, na Tabela 4.23 e Tabela 4.24, os resultados obtidos para as argamassas CH e CH+C, respectivamente.

Tabela 4.23 - Consistência das argamassas de cal hidráulica

CH					
Argamassa	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
A/L	0,95	0,80	0,83	0,77	0,78
Consistência [%]	63,9	62,2	64,5	64,6	67,5
Desvio padrão [%]	4,0	2,8	1,3	0,4	0,7

Tabela 4.24 - Consistência das argamassas bastardas

CH+C								
Argamassa	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+ 40R3	20A+40R2+ 40R3	70R3+30R1
A/L	0,79	0,65	0,65	0,62	0,63	0,85	0,94	1,16
Consistência [%]	65,7	62,4	63,5	67,8	64,8	63,2	66,2	67,1
DP [%]	0,1	2,1	0,6	1,7	2,1	1,3	5,0	1,1

Analisando os resultados, percebe-se que todas argamassas apresentam uma consistência por espalhamento entre os 62% e os 68%, intervalo definido inicialmente para a consistência que as argamassas deveriam apresentar no seu estado fresco. Note-se que os resultados obtidos não foram exactamente iguais aos dos ensaios de determinação da relação A/L, facto que poderá ser explicado por pequenas variações no método de produção das amassaduras e no procedimento de ensaio, sempre sujeitos ao erro humano.

4.5.2. Massa volúmica aparente

Determinou-se a MVA das argamassas no estado fresco segundo o procedimento descrito no capítulo anterior. Apresenta-se, na Tabela 4.25 e na Tabela 4.26, os resultados obtidos para a massa volúmica aparente de cada uma das argamassas, assim como a sua variação percentual, relativamente à argamassa de referência, que contém apenas areia (100A).

Tabela 4.25 - MVA das argamassas de cal hidráulica no estado fresco

CH					
Argamassa	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2
A/L	0,95	0,80	0,83	0,77	0,78
MVA [kg/m ³]	1982.7	1623.7	1666.1	1469.4	1479.3
Δ MVA	-	-18.1%	-16.0%	-25.9%	-25.4%

Tabela 4.26 - MVA das argamassas bastardas no estado fresco

CH+C								
Argamassa	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+ 40R3	20A+40R2+ 40R3	70R3+30R1
A/L	0,79	0,65	0,65	0,62	0,63	0,85	0,94	1,16
MVA	2106.2	1687.1	1716.1	1499.4	1449	1159	1133.4	889.5
ΔMVA	-	-19.9%	-18.5%	-28.8%	-31.2%	-45.0%	-46.2%	-57.8%

Analisando as tabelas, nota-se que o aumento do teor de cortiça no agregado é acompanhado por uma clara redução da MVA das argamassas do estado fresco. Para melhor se compreender a tendência de evolução da MVA com o teor de cortiça e, também, de que forma o tipo de agregado influencia esta característica, fez-se a representação gráfica da evolução da MVA de acordo com a percentagem de cortiça presente na mistura de agregado.

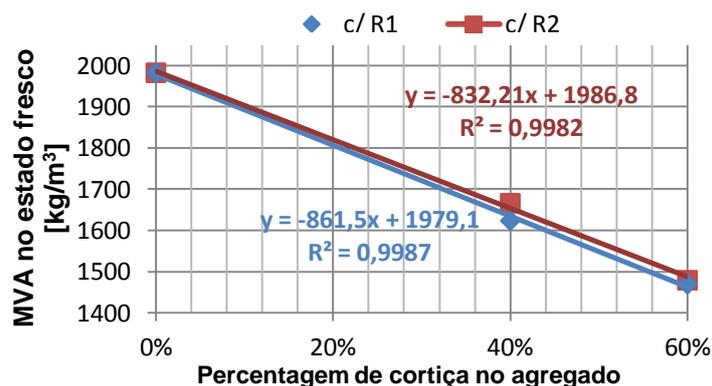


Figura 4.18 - Relação entre a MVA das argamassas de cal hidráulica e a % de RNC no agregado

Da análise da Figura 4.18, verifica-se que a MVA das argamassas de cal hidráulica diminui de forma praticamente linear, com o aumento da percentagem de cortiça na mistura de agregado. Nas argamassas com regranulado R1 obtiveram-se massas volúmicas ligeiramente mais baixas que nas com regranulado R2, com a mesma taxa de substituição de cortiça por areia. Isto pode ser explicado pela maior relação A/L utilizada na produção das argamassas CH com R2, levando ao aumento da sua massa volúmica no estado fresco.

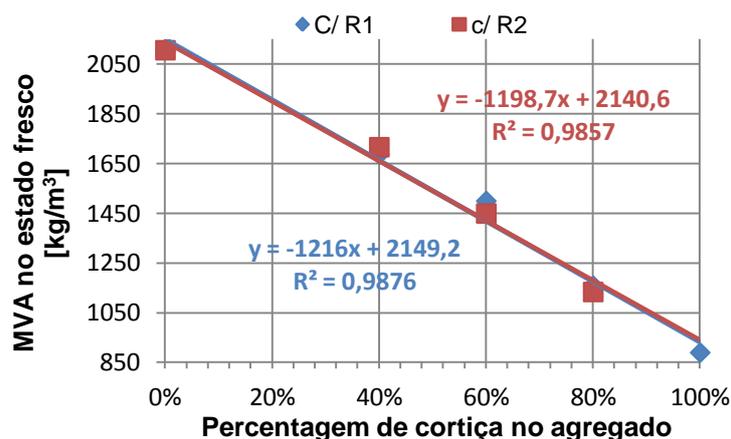


Figura 4.19 - Relação entre a MVA das argamassas bastardas e a % de RNC no agregado

À semelhança do que acontece com as argamassas de cal hidráulica, também as argamassas bastardas demonstram uma relação praticamente linear entre a sua MVA e a taxa de substituição de cortiça na mistura de agregado, como se constata na Figura 4.19.

Comparando com as argamassas de cal hidráulica, as argamassas bastardas exibem uma maior redução de massa volúmica face à argamassa de referência, para a mesma taxa de substituição de areia, demonstrando uma redução de 20% contra 18%, na mistura agregado 60A+R1, ou de 31,2% contra 25,4%, na mistura 40A+R2, por exemplo.

4.6. Caracterização das argamassas no estado endurecido

4.6.1. Massa volúmica aparente

Determinou-se a massa volúmica aparente (MVA) das argamassas no estado endurecido através do procedimento descrito em 3.8.3, sendo o ensaio realizado aos 28 dias de idade. Utilizaram-se os seis provetes prismáticos que posteriormente foram também sujeitos ao ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.27, sendo também indicada a variação percentual da MVA conseguida em cada argamassa com cortiça, relativamente à argamassa de referência.

Tal como no estado fresco, as argamassas endurecidas apresentam uma redução da massa volúmica tanto maior quanto mais cortiça existir na mistura de agregado. Esta relação parece ser linear enquanto se utiliza apenas areia e um tipo de regranulado de cortiça (R1 ou R2), como agregado, ou seja, até à taxa de substituição de areia por cortiça, atingir os 60%.

Tabela 4.27 - Massa volúmica aparente aos 28 dias

Argamassa		MVA [kg/m ³]	ΔMVA (%)
CH	100A	1884	-
	60A+R1	1495.5	-20.62
	60A+R2	1436.5	-23.75
	40A+R1	1251.5	-33.57
	40A+R2	1186.5	-37.02
CH+C	100A	1942.5	-
	60A+R1	1590	-18.15
	60A+R2	1541.5	-20.64
	40A+R1	1342	-30.91
	40A+R2	1295.5	-33.31
	20A+40R1+40R3	969	-50.12
	20A+40R2+40R3	918	-52.74
	30R1+70R3	600	-69.11

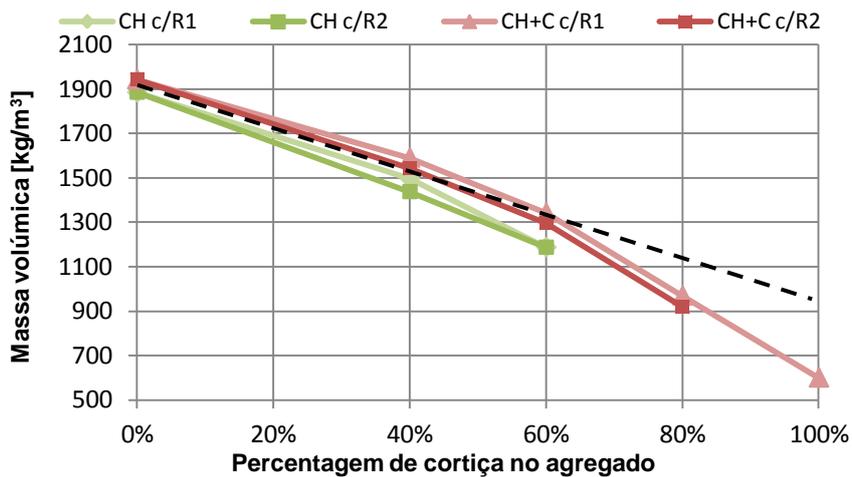


Figura 4.20 - Relação entre a MVA das argamassas e a % de cortiça no agregado

Como se percebe pela análise da Figura 4.20, quando se efectua o incremento de cortiça de 60% para 80% do agregado, a MVA das argamassas bastardas sofre um decréscimo mais acentuado do que o observado para taxas de substituição de cortiça inferiores, o que se traduz num maior declive do gráfico da Figura 4.20. Isto poderá ser um indício de que nas argamassas com mais de 60% de cortiça no agregado, a redução da massa volúmica ficará não só a dever-se à reduzida massa volúmica dos agregados utilizados, como também à redução da compacidade das argamassas obtidas, devido à introdução do material R3 e ao aumento da relação A/L.

Comparando o tipo de agregado, repara-se que a utilização de R2 em detrimento de R1 deu origem a argamassas mais leves, para todas as taxas de substituição de cortiça. Ainda que a baridade dos dois materiais seja praticamente a mesma, a maior necessidade de água das argamassas com R2

terá levado à formação de um maior número de espaços vazios na estrutura interna da argamassa no estado endurecido, por evaporação da água em excesso, reduzindo assim a massa volúmica.

4.6.2. Resistência à flexão e compressão

Apresenta-se, na Tabela 4.28, os resultados do ensaio de flexão e compressão realizado a provetes prismáticos, aos 28 dias de idade, acompanhados dos respectivos desvios-padrão e coeficiente de ductilidade (Rf/Rc).

Tabela 4.28 - Resultados do ensaio de flexão e compressão aos 28 dias

Argamassa		Flexão (Rf)		Compressão (Rc)		Ductilidade
		Média [MPa]	DP [MPa]	Média [MPa]	DP [MPa]	Rf/Rc [-]
CH	100A	0.41	0.06	3.25	0.08	0,13
	60A+R1	0.73	0.09	2.58	0.14	0,28
	60A+R2	0.53	0.08	2.60	0.17	0,21
	40A+R1	0.58	0.03	2.36	0.15	0,25
	40A+R2	0.74	0.04	2.17	0.16	0,34
CH+C	100A	2.90	0.12	11.19	1.46	0,26
	60A+R1	2.57	0.08	9.01	1.09	0,29
	60A+R2	2.55	0.31	9.23	0.48	0,28
	40A+R1	2.41	0.13	7.40	0.32	0,33
	40A+R2	2.15	0.03	7.43	0.35	0,29
	20A+40R1+40R3	1.12	0.07	2.35	0.37	0,48
	20A+40R2+40R3	0.83	0.28	2.75	0.35	0,30
30R1+70R3	0.49	0.03	1.26	0.09	0,39	

No geral, os resultados aos 28 dias seguem a mesma tendência observada nos resultados obtidos aos 14 dias, em que as resistências diminuem com o aumento da taxa de incorporação de cortiça. A representação gráfica das resistências mecânicas é feita na Figura 4.21 e Figura 4.22.

Observa-se, no entanto, resultados no ensaio à flexão das argamassas de cal hidráulica que vão contra o esperado, uma vez que as formulações com teor de cortiça melhoraram o seu desempenho relativamente à argamassa de referência. Uma possível explicação para tal é a de que na argamassa de referência (CH 100A), por possuir apenas areia, necessitando assim de uma relação A/L superior às restantes argamassas, haja um excesso de poros na zona de interface ligante/agregado, provocado pela evaporação da água em excesso, o que dificulta a ligação do ligante com a areia. À semelhança do que refere Pina (2009), relativamente à introdução de polímeros, é possível que nas argamassas modificadas com RNC haja uma melhoria na resistência da ligação da pasta de ligante e o agregado, não só devido à redução da relação A/L adoptada, mas também porque o RNC pode funcionar como agente de cura interno, impedindo que a água contida no interior das partículas de cortiça evapore rapidamente, contribuindo para a redução da retracção por secagem e conseqüente formação de microfissuras, o que melhora a resistência a

esforços de tracção das argamassas. Esta melhoria poderá também ser explicada pelo carácter absorvente do RNC, que, ao absorver água contendo parte do ligante dissolvido, irá promover a aderência entre a pasta de ligante e o agregado, através da cristalização do ligante e consequente ligação ao regranulado (Coutinho, 1988).

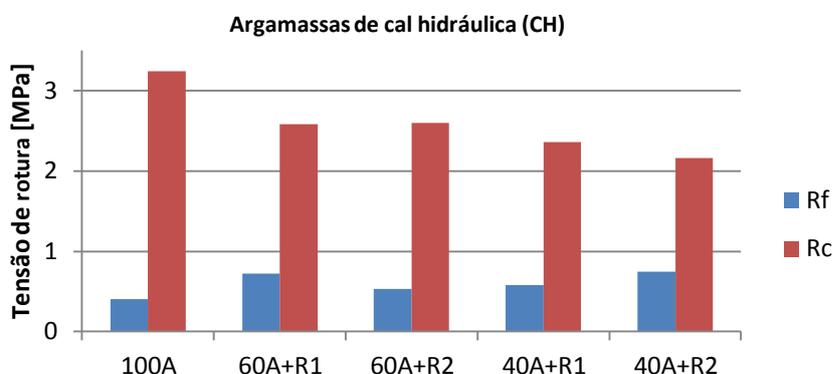


Figura 4.21 - Resistência à tracção for flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas de cal hidráulica

Já no ensaio de resistência à compressão, ao contrário do que acontece com a flexão, verificou-se a redução da capacidade resistente das argamassas ao aumentar-se o teor de cortiça. Esta divergência de resultados entre as resistências à tracção por flexão e as resistências à compressão das argamassas CH pode ser explicada pelas diferenças no mecanismo de rotura dos dois ensaios, uma vez que a resistência à compressão é menos sensível à resistência da ligação pasta-agregado (Pina, 2009).

O menor valor para a resistência à compressão nestas argamassas foi o da argamassa 40A+R2, em que se substituiu 60% do volume de areia por regranulado R2, obtendo-se cerca de 2,2 MPa, ou seja, 68% da resistência da argamassa de referência. Quanto às resistências à tracção por flexão, o menor valor foi, como já se viu, o da argamassa de referência, com 0,41 MPa, obtendo-se o valor máximo de 0,74 MPa na argamassa 40A+R2, o que corresponde a um incremento de 82% relativamente à argamassa de referência.

Não foi possível retirar conclusões sobre a influência do tipo de RNC nas resistências das argamassas de ligante único, uma vez que não se observa uma tendência clara no comportamento das argamassas com incorporação de R1, face à incorporação de R2.

Nas argamassas de cal hidráulica e cimento não se observaram resultados divergentes no que toca às tensões de rotura à flexão e compressão, sendo claro que ambas diminuem quando se aumenta a taxa de substituição de areia por cortiça, no agregado, tal como se pode observar na Figura 4.22. Nestas argamassas, a zona de transição pasta-agregado deverá ser menos porosa que nas argamassas de cal hidráulica equivalentes, por força da menor relação A/L utilizada, pelo que a mistura de referência não será tão afectada quanto à sua resistência a tensões de tracção, no ensaio de flexão. Por outro lado, ao se utilizar cimento, para além da cal hidráulica, aumenta-se a resistência das ligações entre a mistura ligante e o agregado. Desta forma, nas argamassas

bastardas, o agregado tem um papel mais relevante no suporte das tensões induzidas por flexão e compressão, do que nas argamassas de cal hidráulica, o que explica que a resistência mecânica da argamassa acompanhe a resistência mecânica do agregado, tanto menor quanto maior a percentagem de cortiça.

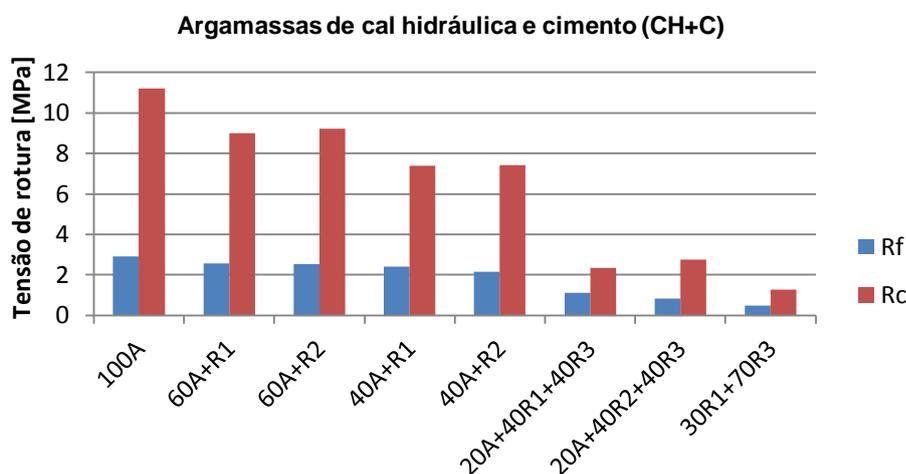


Figura 4.22 - Resistência à tracção for flexão (Rf) e compressão (Rc) das argamassas de ligante misto

Já foi visto que o aumento do teor de cortiça do agregado, nas argamassas CH, contribuiu para uma melhoria do seu desempenho à tracção por flexão. Embora tal não se verifique nas argamassas CH+C, possivelmente pelas razões avançadas, a resistência à tracção por flexão destas argamassas aparenta não ser muito sensível à introdução de cortiça. Analisando apenas as misturas de agregado utilizadas em ambos os tipos de argamassa, ou seja, até à taxa de substituição de 60%, observa-se que o pior valor para a resistência à flexão das argamassas de ligante misto, foi o de 2,15 MPa, na argamassa 40A+R2, o que corresponde a uma perda de apenas 26% da resistência, face à argamassa de referência. Quanto à resistência à compressão, a argamassa com pior desempenho foi a 40A+R1, com uma perda de 34%, face à argamassa de referência.

A análise da Figura 4.24 evidencia que a relação entre as resistências mecânicas das argamassas bastardas e a quantidade de cortiça na mistura é praticamente linear, até se atingir a taxa de 60% de substituição de areia por cortiça. Quando se aumenta para os 80% o volume de cortiça no agregado, introduzindo-se na argamassa o material R3, juntamente com R1 ou R2 e areia, nota-se um decréscimo acentuado da capacidade resistente das argamassas, evidenciado pelo elevado declive do gráfico da Figura 4.24, no troço compreendido entre os 60% e os 80%. Este fenómeno tinha sido já observado na análise da massa volúmica das argamassas, sendo possivelmente provocado pela introdução do material R3 na mistura e pela necessidade de aumentar a relação A/L como forma de manter a mesma consistência.

Como esperado, a argamassa em que se efectua a substituição total de areia por uma mistura de regranulado e pó de cortiça foi a que demonstrou pior desempenho quando sujeita a solicitações

mecânicas, tanto de flexão (17% da resistência da argamassa de referência) como de compressão (11% da resistência da argamassa de referência).

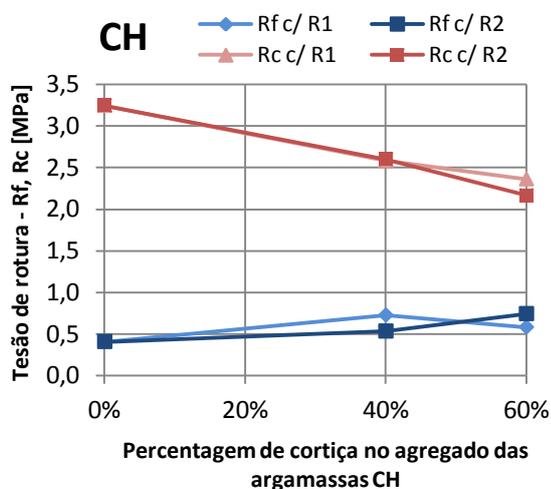


Figura 4.23 - Relação entre as resistências à flexão (Rf) e compressão (Rc) e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica (CH)

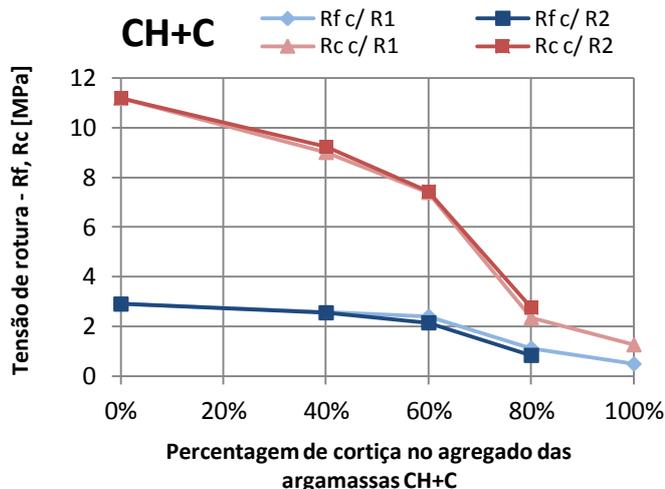


Figura 4.24 - Relação entre as resistências à flexão (Rf) e compressão (Rc) e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica e cimento (CH+C)

No geral, não se encontraram grandes diferenças entre os resultados alcançados com R1 e R2, obtendo-se sempre valores muito próximos para as resistências mecânicas, embora se note uma tendência para as argamassas bastardas com R1 apresentarem uma resistência à flexão ligeiramente superior à das argamassas com R2, para a mesma percentagem de cortiça. Já a resistência à compressão das argamassas produzidas com R1 é, em média, inferior à das argamassas com R2. Esta relação inversamente proporcional das tensões resistentes das argamassas poderá indicar que a introdução de R1 na mistura dará origem a argamassas com maior capacidade de deformação que as produzidas com R2. De facto, a razão entre a resistência à tracção e a resistência à compressão é um indicador da ductilidade do material, já que a variação entre a rotura por tracção e a rotura por compressão se deve, principalmente, à fragilidade (Veiga, 1998).

A relação Rf/Rc traduz, de certa forma, o coeficiente de ductilidade da argamassa, permitindo comparar as argamassas quanto à capacidade destas se deformarem sob solicitações mecânicas. No quadro da Tabela 4.29, estão indicados os coeficientes de ductilidade das argamassas produzidas.

Tabela 4.29 - Coeficientes de ductilidade das argamassas

Argamassa	CH					CH+C							
	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	100A	60A+R1	60A+R2	40A+R1	40A+R2	20A+40R1+40R3	20A+40R2+40R3	30R1+70R3
Ductilidade (Rf/Rc)	0.13	0.28	0.21	0.25	0.34	0.26	0.29	0.28	0.33	0.29	0.48	0.30	0.39

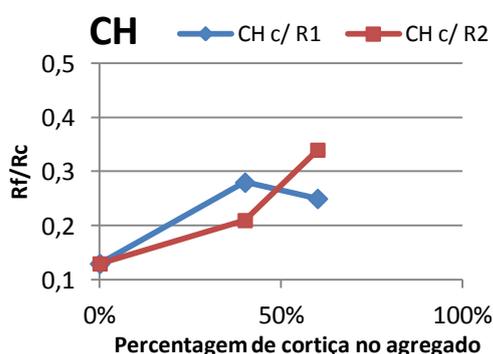


Figura 4.26 - Relação entre o coeficiente de ductilidade e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica (CH)

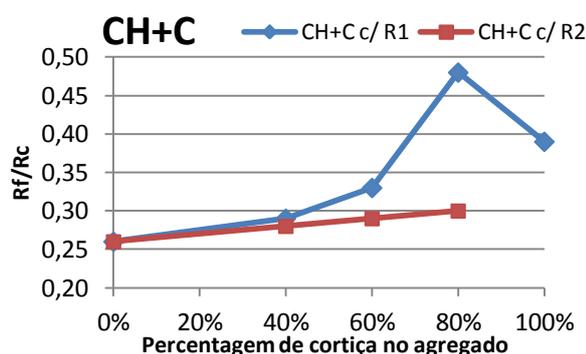


Figura 4.25 - Relação entre o coeficiente de ductilidade e a % de cortiça no agregado, nas argamassas de cal hidráulica e cimento (CH+C)

Na Figura 4.26 e na Figura 4.25, está representada a relação entre o coeficiente de ductilidade e a percentagem de cortiça nas argamassas. Tanto nas argamassas de cal hidráulica, como nas bastardas, observou-se que, na maioria dos casos, o aumento do teor de cortiça no agregado deu origem a argamassas mais dúcteis. As únicas exceções foram na argamassa de cal hidráulica com 60% de R1, em que se obteve um coeficiente de ductilidade inferior à argamassa com 40% de R1 e na argamassa com 100% de cortiça no agregado, em que o seu coeficiente de ductilidade é inferior ao da argamassa com 80% de cortiça, produzida com recurso ao regranulado R1.

Da análise da Figura 4.25, percebe-se que as argamassas bastardas com R1 são, em média, mais dúcteis que as argamassas com R2, para a mesma taxa de substituição de cortiça.

Uma vez que o ensaio de flexão e compressão foi também realizado aos 14 dias, como forma de análise preliminar das resistências das argamassas, faz sentido efectuar-se a comparação entre os resultados obtidos aos 14 e aos 28 dias. Apresenta-se na Figura 4.27 e Figura 4.28, esta comparação relativamente às argamassas de ligante único e misto, respectivamente.

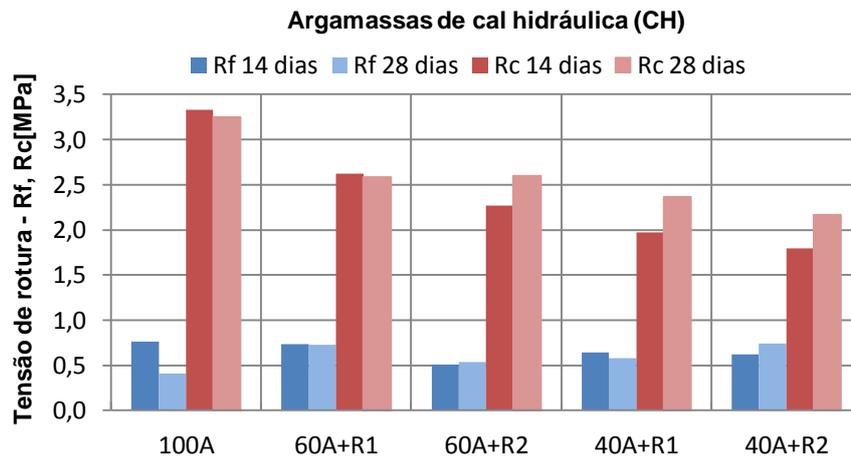


Figura 4.27 - Evolução com a idade das resistências mecânicas das argamassas CH

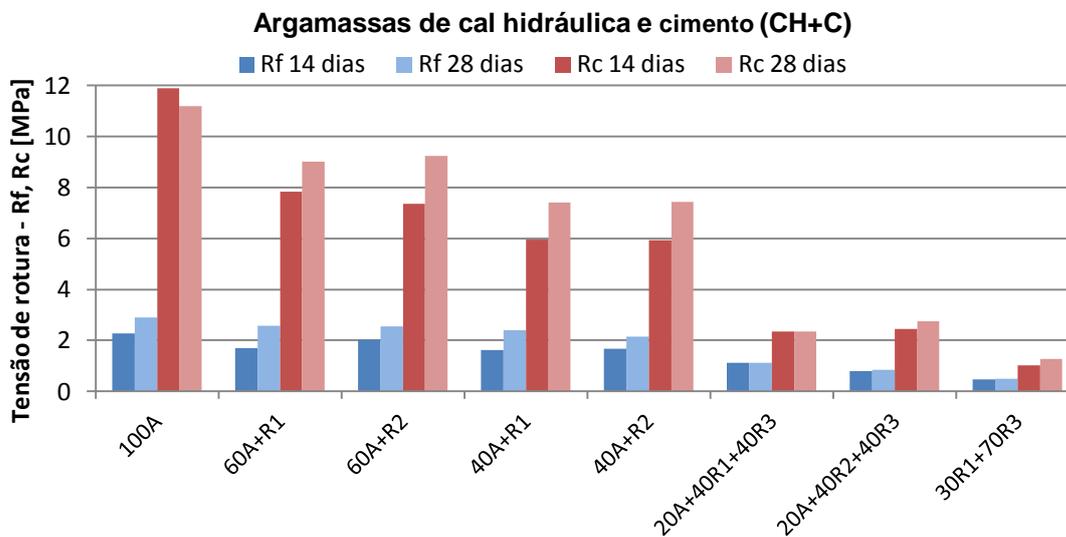


Figura 4.28 - Evolução com a idade das resistências mecânicas das argamassas CH+C

De uma forma geral, constatou-se que as argamassas com cortiça foram mais beneficiadas com o evoluir da idade dos provetes que as argamassas de referência.

Começando pela análise da evolução das resistências das argamassas de referências, verificou-se uma perda de resistência dos 14 para os 28 dias, tanto à flexão como à compressão, na argamassa de cal hidráulica que contém apenas areia. Este é um fenómeno anteriormente observado em trabalhos de investigação em que se estuda a evolução das resistências no tempo de argamassas de cal hidráulica natural. Já Penas (2008) tinha constatado perdas de resistência a partir dos 28 dias, embora as argamassas tivessem sido produzidas com uma maior relação A/L que as estudadas na actual dissertação. Também Veiga & Carvalho (1994), ao estudarem argamassas de cal hidráulica natural de traço 1:4, observam uma diminuição das resistências à flexão e compressão dos 7 para os 28 dias de idade. Estes resultados levam a crer que a perda de resistência registada na argamassa CH 100A se deve às próprias características da argamassa e não a erros induzidos no procedimento experimental ou na amassadura da mistura.

Nas argamassas de cal hidráulica modificadas com cortiça, as resistências à tracção por flexão mantiveram-se praticamente inalteradas entre os 14 e os 28 dias, notando-se mesmo um aumento da resistência à compressão na idade mais avançada, como se pode observar na Figura 4.27. Isto poderá ser explicado pela tendência do RNC em armazenar água durante o período de vida inicial da argamassa, libertando-a lentamente ao longo do tempo e criando condições propícias à reacção de carbonatação. Desta forma, a porosidade da argamassa diminui ao longo do tempo, aumentando assim a sua resistência mecânica, principalmente a resistência à compressão, mais sensível ao aumento de compacidade.

Nas argamassas com mistura de cal hidráulica e cimento, os resultados obtidos foram semelhantes aos observados nas argamassas de ligante único, em que a argamassa menos beneficiada pelo avançar da idade de cura foi igualmente a argamassa de referência. Ainda assim, notou-se a melhoria da resistência à tracção por flexão da argamassa CH+C 100A, entre os 14 e os 28 dias. Já a resistência à compressão diminuiu ligeiramente.

Como se vê pela Figura 4.28, houve um aumento significativo da resistência à flexão e compressão das argamassas com substituição de areia por RNC, com o evoluir da idade, chegando a ser apurado, nalgumas argamassas, um valor de resistência à compressão aos 28 dias, 25% superior ao que foi medido aos 14 dias. No ensaio à flexão, obteve-se, no máximo, uma melhoria de 33% entre os 14 e os 28 dias. A justificação para esta melhoria poderá ser a mesma que nas argamassas de cal hidráulica. O regranulado de cortiça, ao impedir a evaporação de água nas idades iniciais da argamassa, poderá criar condições para que as resistências mecânicas melhorem em idades mais tardias, através do processo de carbonatação na componente de cal hidráulica da matriz de ligante e do processo de hidratação de silicatos na componente de cimento da matriz.

4.6.3. Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico (E) é bastante susceptível a erros e em que vários factores podem influenciar a obtenção de bons resultados. Para além da colocação e posicionamento do provete no aparelho de medição, também aspectos relacionados com a compactação da argamassa e com a natureza do agregado poderão influenciar os resultados. Como forma garantir uma maior fiabilidade nos resultados obtidos, submeteram-se ao ensaio seis provetes prismáticos, de cada tipo de argamassa, estando os resultados apresentados na Tabela 4.30.

De acordo com o esperado, as argamassas de referência são as que apresentam maior módulo de elasticidade dentro de cada um dos dois grupos de argamassas. Por possuírem apenas agregados pétreos na sua constituição, demonstram uma maior dificuldade em resistir a deformações antes de atingirem a rotura.

Tabela 4.30 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas em estudo

Argamassa		Módulo de elasticidade (E)	
		Média [MPa]	DP [MPa]
CH	100A	3157	228
	60A+R1	2660	262
	60A+R2	2320	140
	40A+R1	1365	106
	40A+R2	1929	169
CH+C	100A	14793	247
	60A+R1	10138	317
	60A+R2	9809	200
	40A+R1	7269	102
	40A+R2	6759	338
	20A+40R1+40R3	2016	74
	20A+40R2+40R3	1984	284
	30R1+70R3	657	31

Da análise da Figura 4.29, nota-se uma redução do módulo de elasticidade das argamassas com a introdução de agregado à base de cortiça na sua composição, tanto maior quanto maior o volume de cortiça na mistura de agregado. Esta característica foi evidenciada tanto nas argamassas de cal hidráulica como nas de ligante misto, cal hidráulica+cimento. Observando a mesma figura, é fácil constatar que o módulo de elasticidade das várias formulações estudadas se apresenta em patamares, de acordo com a percentagem de substituição de cortiça.

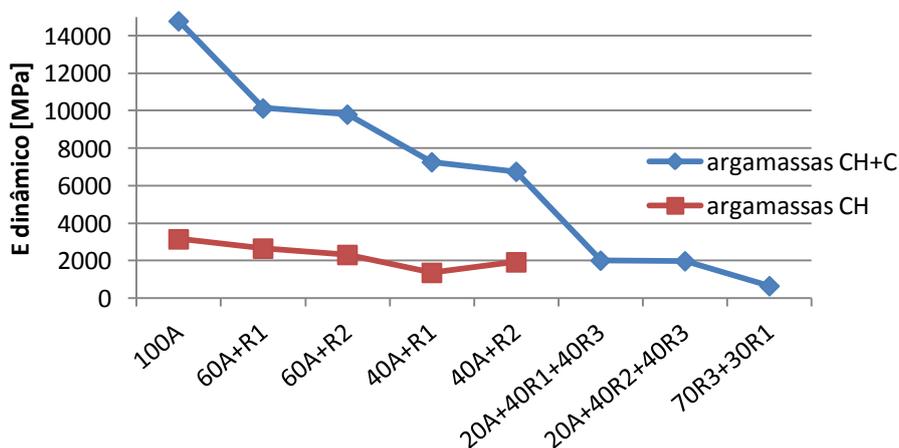


Figura 4.29 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas CH e CH+C

Comparando a influência das duas granulometrias de RNC utilizadas em argamassas com a mesma percentagem de cortiça, parece haver uma tendência para as argamassas com R1 apresentarem os maiores valores de E. Tal só não foi observado nas argamassas de cal hidráulica com 60% de RNC, em que se obteve um maior valor na argamassa com R2. No ensaio de resistência à flexão e compressão, também se tinham obtido resultados algo irregulares nas

argamassas de cal hidráulica, o que leva a crer que estas argamassas são especialmente sensíveis às variações que ocorrem no processo de amassadura e compactação de diferentes misturas, o que dificulta a comparação do desempenho entre as argamassas com R1 e R2.

Nas argamassas de ligante misto com 80% de cortiça os valores obtidos com R1 e R2 são tão próximos que não se pode aferir de forma inequívoca qual das duas granulometrias de RNC dará origem a argamassas com maior elasticidade.

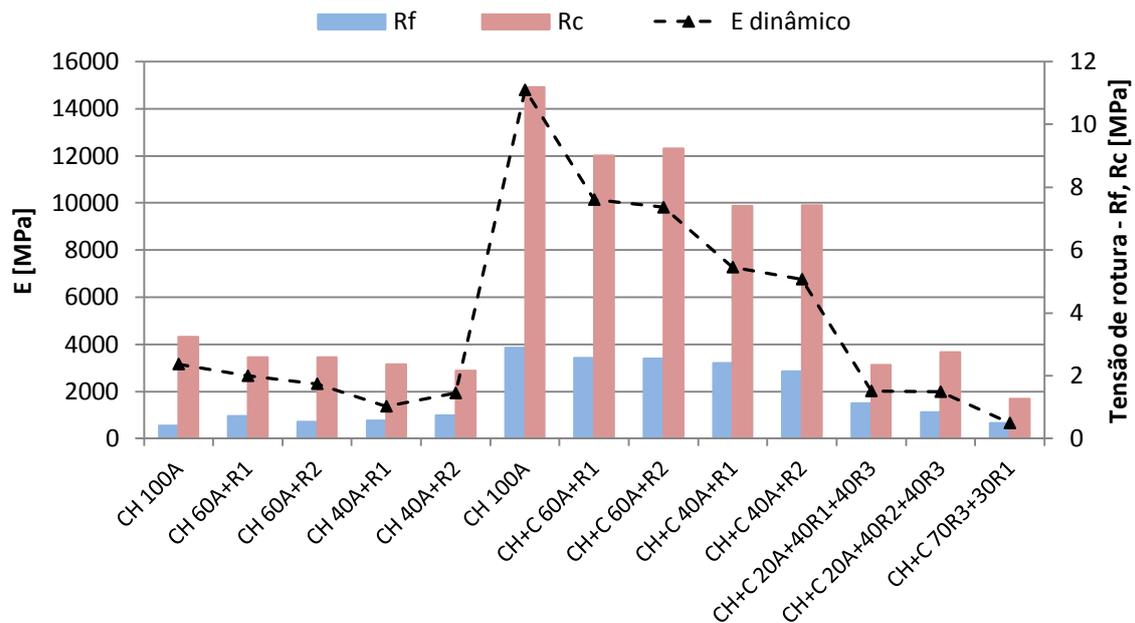


Figura 4.30 - Tensão de ruptura à tração por flexão e compressão e módulo de elasticidade aos 28 dias

No gráfico da Figura 4.30, representa-se a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e as resistências mecânicas de todas as argamassas estudadas. Nota-se, antes de mais, que as argamassas de ligante único apresentam, como esperado, um módulo de elasticidade bastante inferior ao das argamassas de ligante misto equivalentes. Comparando as resistências mecânicas das argamassas com o seu módulo de elasticidade, constata-se que este último acompanha a evolução das primeiras, na medida que argamassas menos resistentes evidenciam um E mais baixo.

Esta ligação entre as resistências mecânicas, principalmente à compressão, e o módulo de elasticidade torna-se ainda mais evidente, se forem comparadas argamassas produzidas com diferentes misturas ligante e que demonstrem semelhante capacidade resistente. Observa-se que as argamassas de cal hidráulica têm uma resistência à compressão equiparável à determinada para as argamassas bastardas com 80% de cortiça no agregado, demonstrando também um módulo de elasticidade na mesma ordem de grandeza

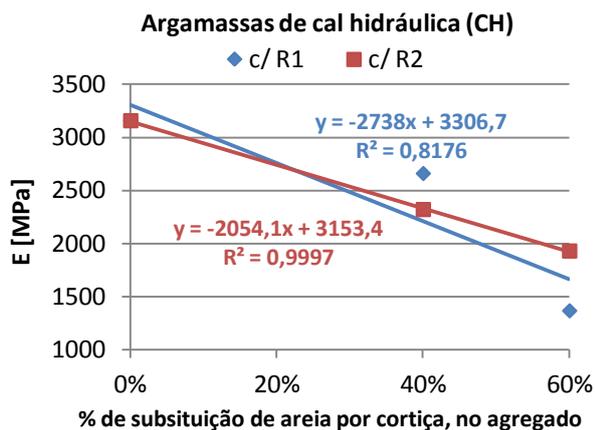


Figura 4.31 – Relação entre o E e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH

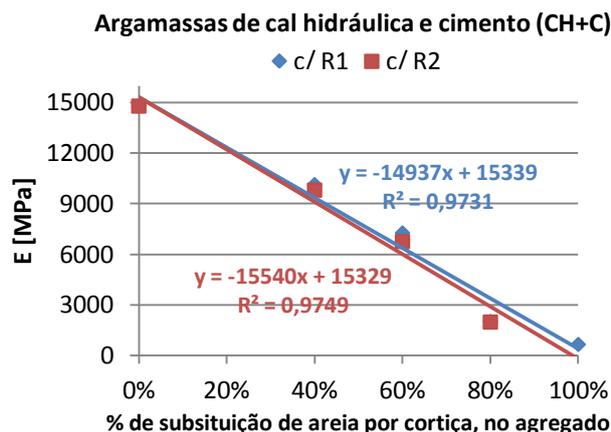


Figura 4.32 – Relação entre o E e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH+C

Na Figura 4.31, verifica-se que a evolução do módulo de elasticidade das argamassas de ligante único segue uma tendência linear, diminuindo com o aumento do volume de cortiça no agregado, sendo apresentadas na mesma figura as expressões das rectas que melhor se ajustam aos valores observados, assim como o seu coeficiente de determinação, R^2 . Refira-se que se obtiveram valores algo dispersos nas argamassas CH com R1, comparativamente às com R2, o que significa que estas argamassas são as que pior se adaptam a um modelo de regressão linear, por força de eventuais erros cometidos no processo de amassadura e compactação.

Nas argamassas de ligante misto, é ainda mais óbvio que a relação entre o E e a percentagem de cortiça do agregado é linear, uma vez que os valores obtidos, tanto nas argamassas com R1 como nas com R2, apresentam uma reduzida dispersão e adaptam-se perfeitamente a um modelo de regressão linear, como se observa na Figura 4.32. Volta-se a referir que nestas argamassas mediram-se valores mais elevados de E nas argamassas com R1, embora a diferença, comparativamente a argamassas com R2, seja mínima.

4.6.4. Ensaio de arrancamento por tracção (*Pull-off*)

No geral, a preparação do ensaio decorreu sem problemas, mantendo-se a argamassa aderente ao tijolo durante e após a utilização da rebarbadora para criar os rasgos no reboco.

No momento de extracção da pastilha metálica, registou-se a tipologia de rotura do reboco, que pode ser de três tipos:

- **Adesiva (A)**, em que a rotura se dá no interface entre a argamassa e o suporte (a tensão obtida é a tensão de aderência da argamassa).
- **Coesiva pela argamassa (CA)**, em que a rotura se dá por cedência do reboco (a tensão obtida é inferior à tensão de aderência da argamassa).
- **Coesiva pelo suporte (CS)**, em que a rotura se dá por cedência do suporte (a tensão obtida é inferior à tensão de aderência).

Nos ensaios efectuados, a tipologia de rotura dos provetes foi de tipo adesivo ou coesivo pela argamassa, não sendo registado qualquer ensaio em que a amostra cedesse por rotura do suporte. Caso o arrancamento da pastilha se dê por cedência da cola que liga a pastilha à argamassa, o ensaio é considerado inválido.

Apresentam-se, na Tabela 4.31, os valores médios da tensão de aderência de cada argamassa e respectiva tipologia de rotura.

Tabela 4.31 - Tensões de aderência e tipologias de rotura

Argamassa		Tensão de aderência		Tipo de rotura
		Média [MPa]	DP [MPa]	
CH	100A	0.10	0.02	A
	60A+R1	0.13	0.02	A
	60A+R2	0.27	0.02	CA
	40A+R1	0.23	0.03	CA
	40A+R2	0.20	0.03	1/3 A + 2/3 CA
CH+C	100A	0.32	0.02	A
	60A+R1	0.51	0.13	1/2 A + 1/2 CA
	60A+R2	0.50	0.11	A
	40A+R1	0.43	0.07	A
	40A+R2	0.39	0.05	A
	20A+40R1+40R3	0.36	0.04	CA
	20A+40R2+40R3	0.27	0.02	CA
	30R1+70R3	0.23	0.01	CA

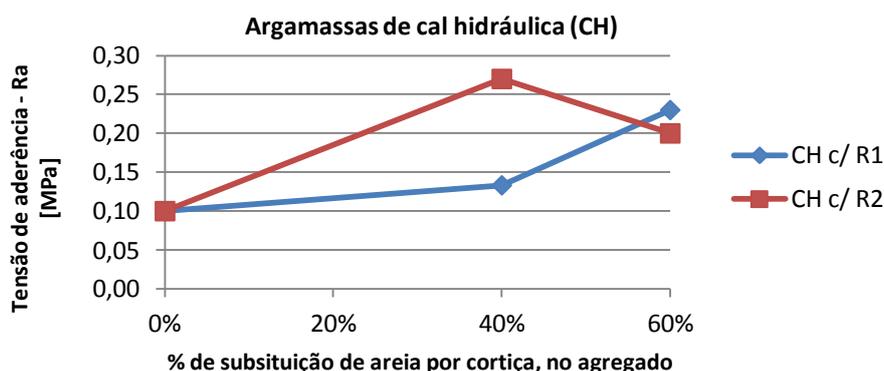


Figura 4.33 - Relação entre a aderência e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH

A argamassa que apresentou a maior dificuldade de ligação ao suporte foi a argamassa de referência de ligante único, em que se mediu uma tensão de aderência de 0,1 MPa, sendo a rotura do tipo adesivo. Neste tipo de argamassas, em que o ligante é a cal hidráulica, a introdução de RNC como substituto da areia teve como consequência a melhoria da capacidade aderente dos rebocos, obtendo-se valores de aderência superiores aos da argamassa de referência, tanto nas argamassas com taxa de substituição de 40% como nas de 60%. A rápida perda de água de amassadura, por

evaporação ou absorção através do suporte, poderá ser a causa para a baixa aderência da argamassa CH 100A, uma vez que promove a dessecação rápida do revestimento, o que dificulta a hidratação dos constituintes da argamassa e origina uma interface pulverulenta (Veiga, 1998). Nas argamassas com RNC este aspecto deverá ser melhorado, uma vez que a cortiça retém água nos seus poros, impedindo-a de ser facilmente absorvida pelo suporte.

Na Figura 4.33, mais uma vez se observa a irregularidade do comportamento demonstrado pelas argamassas de ligante único, em que não é clara a influência que cada tipo de RNC tem nas características mecânicas das argamassas. Nas argamassas modificadas com 40% de cortiça, em detrimento da areia, a mistura com o regranulado R2 é a que revela melhor aderência, 0,27 MPa, através de rotura coesiva. Já na taxa dos 60% de substituição, é a argamassa com R1 a mais aderente ao suporte, com 0,23 MPa de tensão de aderência e rotura coesiva. O facto de estes rebocos terem cedido pela própria argamassa, por acção dos esforços de tracção aplicados durante o ensaio, significa que as argamassas são menos coesivas que adesivas, sendo a sua real tensão de aderência superior ao valor obtido do ensaio.

Refira-se que na argamassa CH 40A+R2, duas das três carotes do provete foram arrancadas devido à cedência do reboco, enquanto a última carote exibiu rotura adesiva, sendo necessária menos força para a arrancar, Figura 4.34. Isto indica que a zona do reboco de que foi extraída a última carote foi mal comprimida no momento de aplicação da argamassa, afectando a capacidade de aderência da mesma.



Figura 4.34 - Provete de ensaio da argamassa CH 40A+R2 depois da execução do ensaio

As argamassas de ligante misto apresentam, devido à influência do cimento, uma capacidade de aderência superior às argamassas de cal hidráulica com a mesma mistura de agregado. Nota-se também, nestas argamassas, um aumento da tensão de aderência (R_a), comparando com a da mistura de referência, quando se substitui 40% e 60% da areia por RNC. Já nas argamassas com 80% de substituição, a R_a é equiparável à da argamassa de referência, diminuindo relativamente a esta, na taxa de substituição de 100%.

De facto, a evolução da aderência das argamassas com o aumento do teor de cortiça segue uma tendência polinomial, tal como se pode observar na Figura 4.35, em que as argamassas com 40% de RNC em volume de agregado são as que demonstram melhor desempenho. Tal como nas argamassas CH, a explicação para a melhoria do desempenho das argamassas com cortiça estará

no carácter absorvente das partículas deste material, que acaba por fomentar condições para o desenvolvimento da aderência entre o suporte e o reboco, ao reter a água da mistura. A perda de aderência nas argamassas com 60% de RNC no agregado, comparativamente às misturas com 40%, deverá ser explicada pela menor quantidade de água de amassadura utilizada nas primeiras.

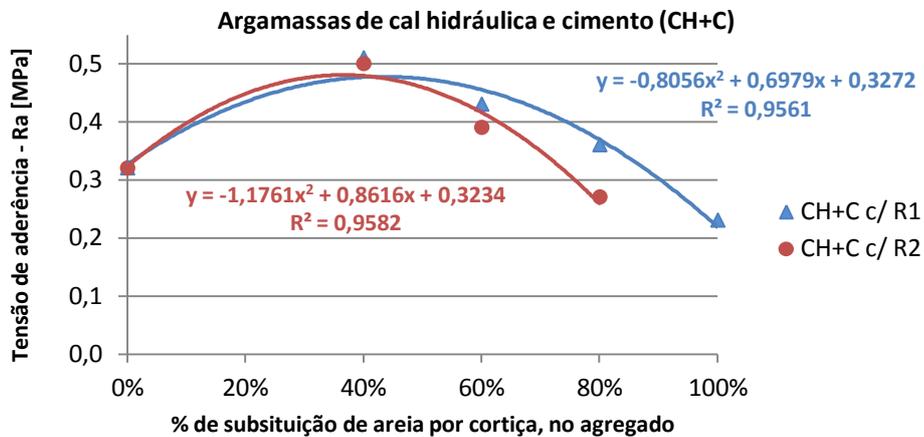


Figura 4.35 - Relação entre a aderência e a % de cortiça no volume de agregado nas argamassas CH+C

Tanto a argamassa de referência como as argamassas com percentagem de cortiça no agregado até 60% apresentaram rotura adesiva, indicando que a tensão de aderência real da argamassa é a que foi determinada pelo ensaio de arrancamento. Apenas na argamassa CH+C 60A+R1 se observou rotura mista, em que parte das carotes foi arrancada pela interface reboco/tijolo, cedendo o resto da carote pelo reboco. Isto poderá indicar que a tensão de aderência desta argamassa está muito próxima da sua resistência à tracção pura.

Nas argamassas em que 80% e 100% do volume de agregado é constituído por cortiça, introduz-se, como se sabe, o pó de cortiça (R3) na mistura de agregado. Seria expectável que a finura deste material lhe permitisse penetrar nos poros do suporte, juntamente com a água que arrasta as partículas mais finas da mistura, contribuindo para o preenchimento desses poros de ligação e melhorando a aderência da argamassa. No entanto, os valores obtidos para a tensão de aderência destas argamassas foram inferiores às de argamassas com teor de cortiça inferior, dando-se a rotura por coesão. Este resultado é coerente com as características das argamassas, uma vez que a elevada relação A/L adoptada e o aumento da quantidade de cortiça deram origem a argamassas mais fracas, cuja resistência à tracção acaba por ser inferior à sua capacidade aderente.

Comparando o desempenho das argamassas do ponto de vista do tipo de RNC utilizado, verifica-se que a presença de R2, face a R1, penaliza ligeiramente a capacidade de aderência a um suporte cerâmico, neste caso, o tijolo. Isto poderá ser explicado pelo inferior índice de absorção de água do material R2, comparativamente a R1, que leva a que a argamassa sofra uma maior perda de água para o exterior antes de existirem condições para a ligação com o substrato

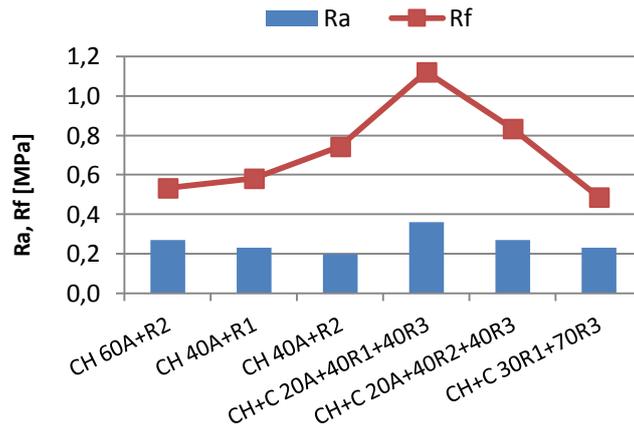


Figura 4.36 - Comparação entre a tensão de aderência (Ra) e a resistência à tracção por flexão (Rf) nas argamassas em que a rotura é coesiva

Compara-se, na Figura 4.36, a tensão de aderência obtida no presente ensaio e a resistência à tracção por flexão, das argamassas em que se observou rotura coesiva. Nestes casos em que a rotura se dá por coesão, o valor obtido do ensaio estará, na realidade, próximo do valor que se obteria num ensaio de tracção pura, pelo que faz sentido comparar este resultado com o da resistência à tracção por flexão. Confrontando ambos os resultados, constata-se que nas argamassas CH as duas tensões evoluem em sentido contrário, em que a argamassa que regista maior tensão aderência é a que apresenta a menor resistência à flexão e vice-versa. Já nas argamassas CH+C, os valores são mais coerentes, uma vez que as argamassas com maior resistência à flexão são também aquelas que demonstraram maior capacidade aderente. À semelhança do que se tinha já constatado em ensaios anteriores, são as argamassas de ligante misto as que apresentam maior consistência nos resultados, o que facilita a sua interpretação.

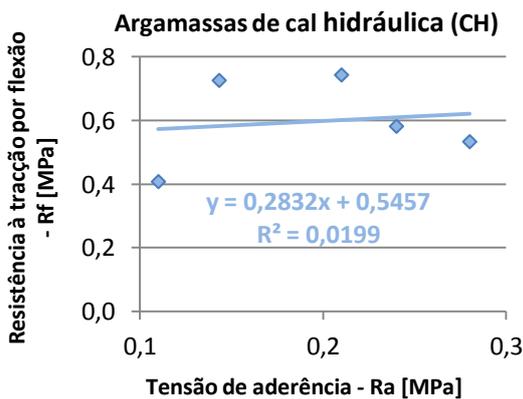


Figura 4.37 - Relação entre a tensão de aderência (Ra) e a resistência à tracção por flexão (Rf) das argamassas CH

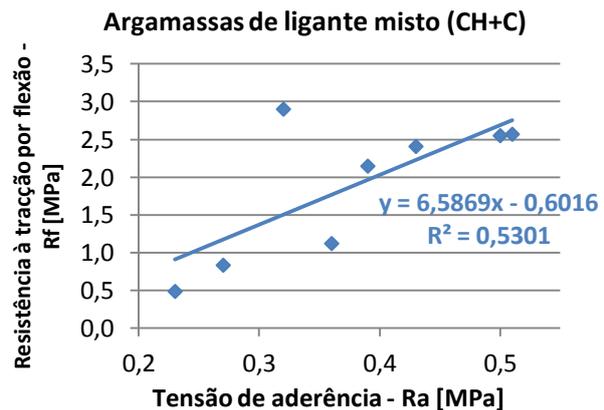


Figura 4.38 - Relação entre a tensão de aderência (Ra) e a resistência à tracção por flexão (Rf) das argamassas CH+C

Apresenta-se na Figura 4.37 a dispersão dos resultados obtidos nas argamassas de cal hidráulica, não se observando uma ligação clara entre os resultados do ensaio de aderência e os resultados do ensaio de flexão. Pelo contrário, nas argamassas de ligante misto observa-se uma tendência da

tensão de aderência em acompanhar a evolução da resistência à flexão, como se pode ver pela Figura 4.38. Note-se que no tratamento destes dados foram incluídas também as argamassas que exibiram rotura adesiva no ensaio de *pull-off*, pelo que nesses casos não é expectável que a aderência acompanhe a resistência à tracção por flexão, o que influenciará o coeficiente de determinação das regressões lineares.

Regra geral, a tensão de rotura de flexão é superior à tensão de rotura por tracção simples, tal como se verificou nos ensaios efectuados. A razão mais plausível para tal é a circunstância de, em tracção pura, todo o volume da peça estar sujeito à mesma tensão máxima, de modo que a probabilidade da existência de um elemento mais fraco é mais elevada (Coutinho, 1988).

4.6.5. Esclerómetro pendular

Como refere Galvão (2009), este é um ensaio cujos resultados nem sempre são de fácil interpretação, dadas as múltiplas condicionantes que o podem afectar. Regra geral, em argamassas tradicionais, é expectável que os valores de ressalto acompanhem as resistências mecânicas, em que valores de ressaltos baixos indicam materiais pouco resistentes. Porém, esta avaliação deve ser apenas qualitativa, o que torna este ensaio indicado apenas para análises comparativas.

Apresenta-se, na Tabela 4.32, os valores de ressalto médio das argamassas em estudo e respectivo desvio padrão.

Tabela 4.32 - Ressaltos obtidos do ensaio do esclerómetro pendular

Argamassa		Ressalto	
		Médio	DP
CH	100A	42.6	4.7
	60A+R1	35.6	4.3
	60A+R2	35.7	4.0
	40A+R1	39.4	6.4
	40A+R2	39.4	5.1
CH+C	100A	60.1	9.5
	60A+R1	52.1	6.8
	60A+R2	52.6	6.6
	40A+R1	43.2	6.0
	40A+R2	40.6	5.1
	20A+40R1+40R3	39.6	1.7
	20A+40R2+40R3	45.4	2.6
30R1+70R3	53.7	2.6	

Tal como esperado, dentro de cada um dos dois grupos de argamassa, foi no ensaio à mistura de referência que se registou o maior valor de ressalto. Segundo o conceito do ensaio, estas argamassas deverão exibir as maiores resistências mecânicas, o que se confirma uma vez que são também as que possuem maiores resistências à compressão (Rc).

Para melhor estabelecer essa relação entre o ressalto obtido e a resistência mecânica das argamassas, faz-se a representação gráfica destes resultados na Figura 4.39 e na Figura 4.40.

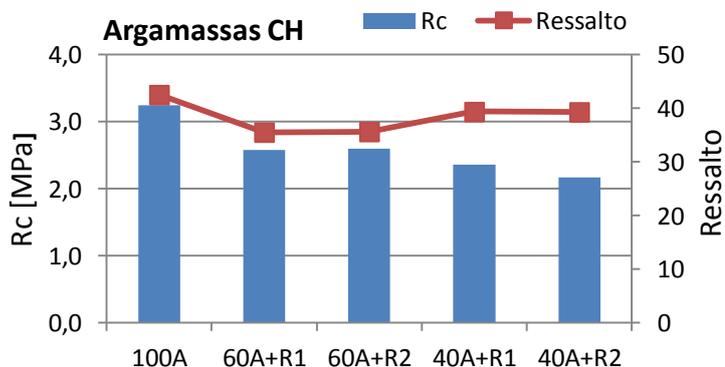


Figura 4.39 - Ressonância e resistência à compressão (Rc) das argamassas CH

Nas argamassas CH com percentagem de substituição de 40% do volume de areia por RNC, obteve-se um valor do ressalto inferior ao da argamassa de referência, o que vai de encontro ao facto dessas argamassas apresentarem menores resistências mecânicas. No entanto, nas argamassas com percentagem de substituição de 60% o valor do ressalto sobe, comparativamente às de 40%, embora a resistência à compressão seja mais baixa.

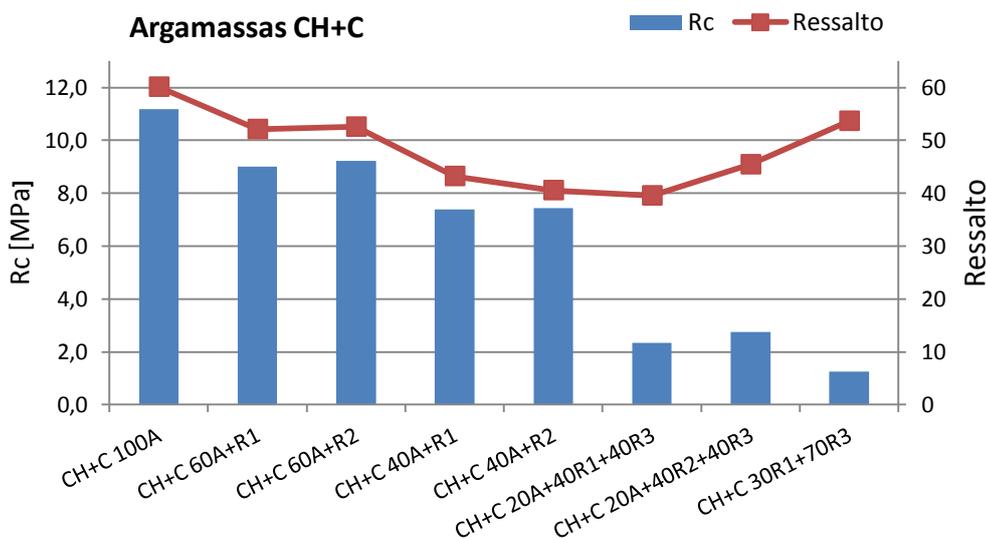


Figura 4.40 - Ressonância e resistência à compressão (Rc) das argamassas CH+C

Este fenómeno foi novamente registado na análise de resultados das argamassas de ligante misto, em que o ressalto diminuiu com o aumento da percentagem de cortiça na mistura até ao patamar dos 60% de substituição, acompanhando a resistência à compressão das argamassas, mas aumenta, a partir desse patamar, com o incremento da percentagem de cortiça para os 80% e 100%, embora a resistência à compressão continue a diminuir.

Estes valores indicam que, embora as argamassas de reboco com maior teor de cortiça apresentem resistências mecânicas inferiores, a sua camada superficial permite que o esclerómetro recupere parte da energia imposta pelo choque do pêndulo no reboco, compensando a energia dissipada

devido à menor coesão da argamassa. A maior reacção elástica obtida nestes casos não será resultante da dureza da superfície do reboco, mas sim da natureza do seu principal agregado, o RNC, cuja reduzido módulo de elasticidade (na ordem dos 2MPa) irá fornecer à zona superficial da argamassa uma maior capacidade de se deformar sem ceder e voltar à sua forma inicial, conservando assim mais energia e imprimindo um maior ressalto ao pêndulo.

Nas argamassas com 40% de cortiça este efeito não é verificado uma vez que a quantidade de cortiça não deverá ainda ser suficiente para compensar a perda de coesão da argamassa. No caso dos rebocos com menor quantidade de RNC, a dissipação de energia dá-se através da deformação plástica do material menos resistente da mistura, localizado junto aos vazios, na zona superficial do reboco, dando origem a um menor valor de ressalto. Ao aumentar-se o teor de cortiça, em detrimento de material pétreo, esta perda de energia é limitada, devido à maior concentração de partículas de cortiça presente na superfície do reboco que vão servir como que de uma “mola”, conservando a energia do esclerómetro pendular e aumentando o valor do ressalto.

Importa referir que o efeito elástico das argamassas com maior volume de cortiça poderá estar exageradamente representado neste ensaio, devido à eventual segregação das partículas de cortiça. Devido à sua reduzida massa volúmica, os grânulos de cortiça poderão ter a tendência de ascender à superfície da camada de reboco, aumentando aí a sua concentração, o que poderá influenciar os valores do ensaio. O facto de se utilizarem granulometrias de RNC relativamente grosseiras, em que a maioria das partículas apresenta diâmetros entre os 2 e os 4 mm, pode também ter contribuído para este efeito.

Relativamente ao tipo de cortiça utilizada, não se observou, neste ensaio, uma tendência clara nos resultados obtidas com R1 e R2, o que demonstra que o factor determinante será o volume de cortiça e não a sua granulometria. Apenas nas argamassas CH+C com 80% de substituição se obtiveram valores de ressalto notoriamente diferentes, em que a argamassa com R2 apresentou o maior valor de ressalto.

4.6.6. Variação dimensional (ensaio de retracção)

Não se tratando de uma característica mecânica dos rebocos, a retracção é, como já foi visto, um fenómeno físico de enorme relevância para a caracterização de argamassas de revestimento, tendo sido feito o seu estudo em todas as composições de argamassa, ao longo de 90 dias.

Os provetes foram também pesados ao longo do período de ensaio, sendo possível analisar a progressiva perda de massa das argamassas.

A retracção é principalmente causada pela perda de água por secagem, fenómeno também designado por dessecação, que ocorre sobretudo no período de vida inicial da argamassa. Por esta razão, determinou-se a variação dimensional (ϵ_{cs}) dos provetes de ensaio todos os dias ao longo da primeira semana, observando-se assim a dinâmica de secagem das diferentes composições de argamassa durante este período, considerado crítico para a retracção de rebocos.

De modo a melhor poder-se comparar a retracção das diferentes argamassas ao longo do seu período inicial de vida, apresenta-se na Figura 4.41 e na Figura 4.42 a análise da retracção nos primeiros 14 dias, das argamassas de cal hidráulica (CH) e de ligante misto (CH+C), respectivamente.

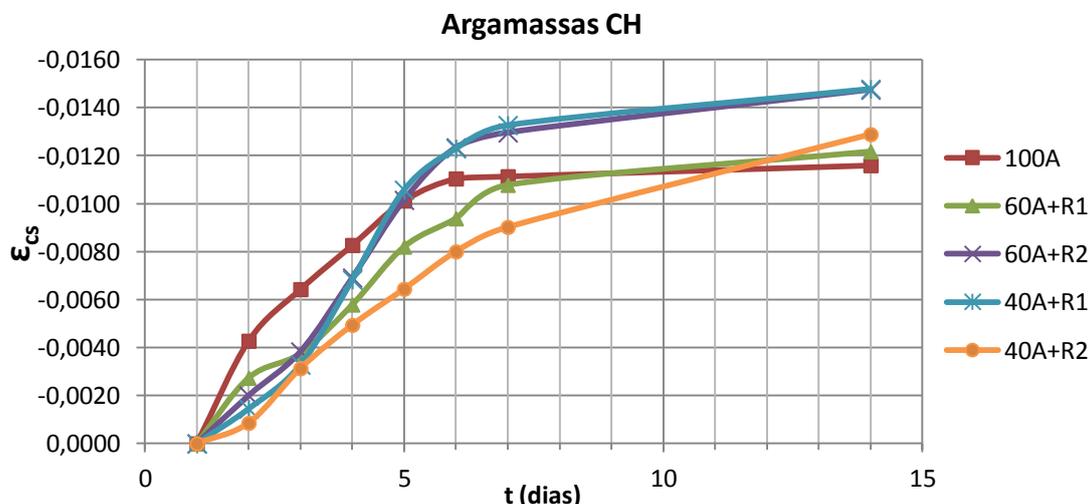


Figura 4.41 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH ao longo dos primeiros 14 dias

Pela análise do gráfico, percebe-se que nas argamassas de ligante único a mistura de referência é a que mais retrai nos primeiros quatro dias de medições, possivelmente devido à maior quantidade de água utilizada na sua amassadura, que, ao evaporar, irá provocar maior perda de volume inicial e, conseqüentemente, maior retracção que nas restantes argamassas em que usou uma menor relação A/L. A partir do quarto dia, a retracção da argamassa de referência parece ter tendência para estabilizar, enquanto as argamassas com RNC continuam a retrair a um ritmo considerável. Na medição efectuada aos 14 dias verifica-se que todas as argamassas com RNC retraíram já mais que a argamassa de referência.

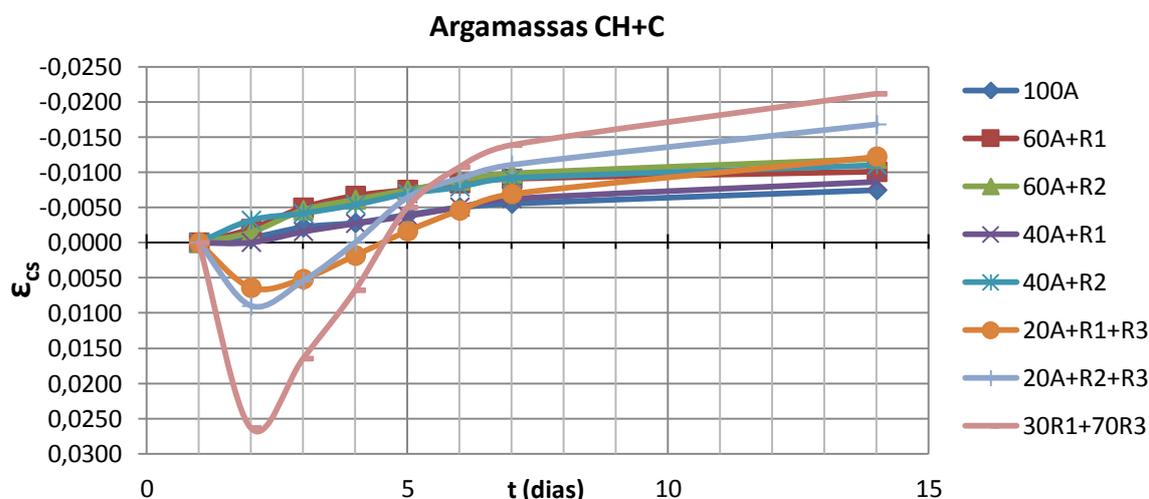


Figura 4.42 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH+C ao longo dos primeiros 14 dias

Através do gráfico Figura 4.42 percebe-se que as argamassas CH+C com taxa de substituição de 80% e 100% expandiram logo após a sua desmoldagem (dia 1), facto comprovado pela medição de uma variação dimensional positiva no dia seguinte (dia 2). Este fenómeno verificou-se apenas nas argamassas com maior percentagem de cortiça, sendo explicado pela combinação de dois factores: a elevada relação A/L adoptada nestas argamassas e a substituição de grande parte do volume de areia, por cortiça. Ao se retirar a restrição de volume imposta pelo molde dos provetes prismáticos, estas argamassas terão a tendência de expandir, por acção da elevada quantidade de água que é absorvida pelas partículas de cortiça durante o primeiro dia de cura. Uma vez que existe pouca ou nenhuma areia para limitar esta variação dimensional, os provetes aumentam o seu comprimento ao longo do primeiro dia após desmoldagem. A expansão foi apenas observada no primeiro dia após desmoldagem, verificando-se retracção desde aí até ao final dos 90 dias de ensaio.

Nas restantes argamassas de ligante misto observou-se apenas o fenómeno de retracção, à semelhança das argamassas de cal hidráulica. É igualmente a argamassa de referência a que apresenta aos 14 dias a menor extensão de retracção. Note-se que as argamassas em que se verificou a expansão inicial, são as que indiciam maior retracção aos 14 dias. As restantes misturas com taxas de substituição intermédias (40% e 60%), demonstraram ao longo dos primeiros 14 dias uma retracção superior à da argamassa de referência, mas inferior às argamassas com taxas de substituição mais altas.

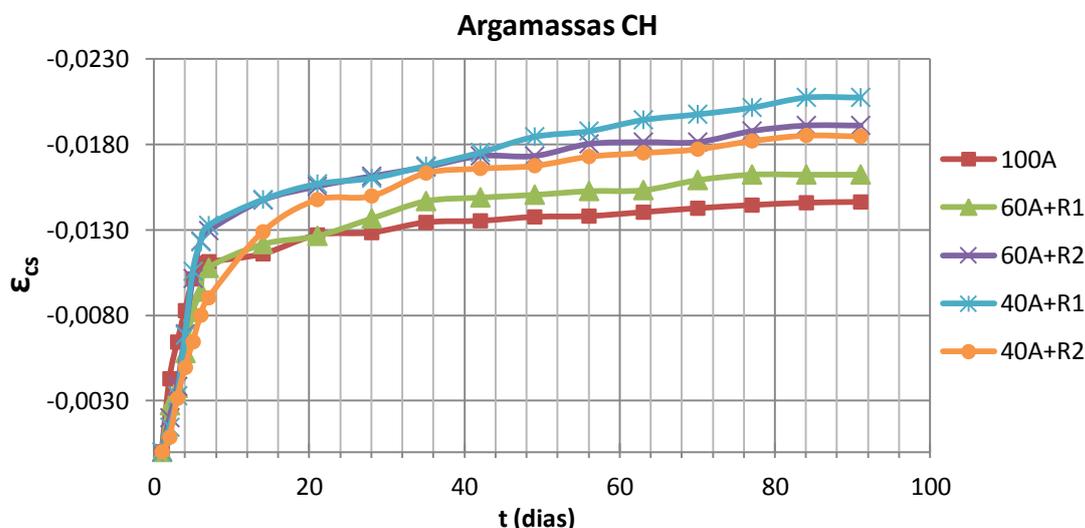


Figura 4.43 - Análise da extensão da retracção nas argamassas CH ao longo de 90 dias

Pode-se observar na Figura 4.43 a evolução da retracção das argamassas de cal hidráulica, ao longo dos 90 dias de ensaios. No seguimento do constatado aos 14 dias de idade, a argamassa de referência foi a que apresentou a menor extensão de retracção ao fim dos 3 meses de ensaio. A argamassa que mais retraiu foi a 40A+R1, com 60% de RNC do tipo R1.

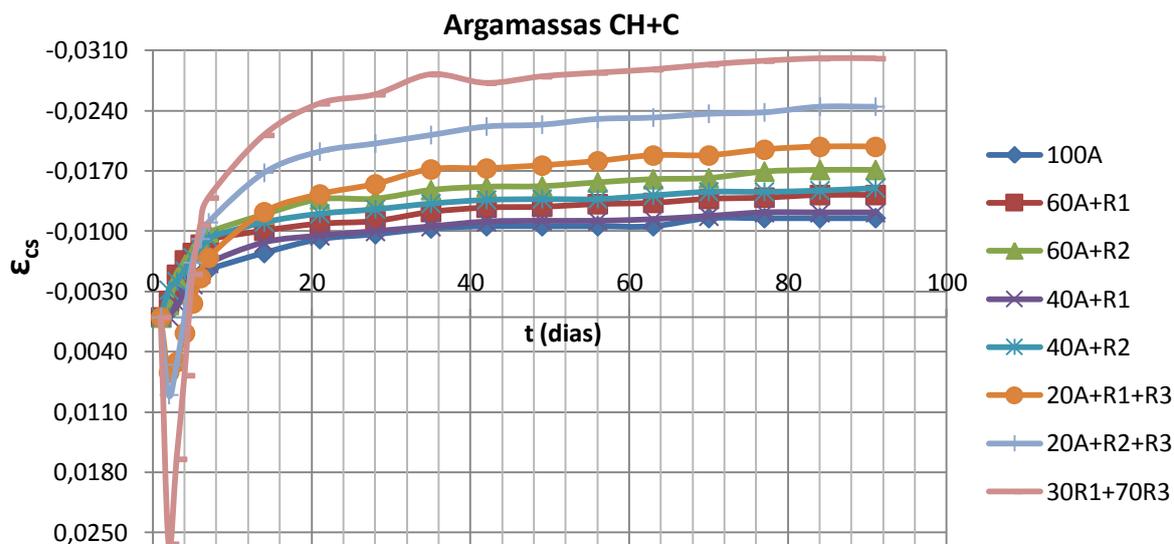


Figura 4.44 - Análise da extensão da retração nas argamassas CH+C ao longo de 90 dias

Como esperado, nas argamassas de ligante misto, a argamassa de referência foi a que apresentou menor retração ao fim de 90 dias, como se vê pela análise da Figura 4.44.

As argamassas com teor de cortiça de 80% e 100%, para além terem sofrido expansão após desmoldagem, foram as que mais retraíram no final dos três meses de ensaio. As causas que levaram à sua expansão são as mesmas que explicam a sua elevada retração, nomeadamente a elevada relação A/L e a substituição de um elemento limitador da retração, neste caso a areia, por RNC, cujo baixo módulo de elasticidade se traduz numa menor restrição interna e conduz a uma maior retração

Analisando o gráfico da Figura 4.44 é também possível constatar, que nas argamassas CH+C com a mesma taxa de incorporação de cortiça, a mistura com R2 exibiu sempre maior retração do que com R1. Uma possível explicação para isto estará no facto de o material R2 exibir um módulo de finura inferior a R1 que se traduz numa maior quantidade de partículas finas de cortiça que penalizam o desempenho das argamassas face à retração. Ao se ter utilizado relações A/L nas argamassas R2 sempre superiores às com R1, por força das diferenças de granulometria dos dois materiais, contribuiu-se também para o aumento da retração nessas argamassas.

Curiosamente, as argamassas CH+C com 60% de substituição de volume de areia por RNC retraíram, em média, menos que as argamassas com 40% da mesma substituição, apresentando a mistura 40A+R1 uma retração idêntica à mistura de referência. Isto poderá ser explicado pela menor relação A/L utilizada nestas argamassas, levando a que haja menos água para evaporar o que diminui a tendência dos provetes em perder volume, comparativamente às argamassas com 40% de RNC.

Embora não tenha sido observado qualquer fissuração nas camadas de reboco aplicadas em tijolos para realização dos ensaios de *pull-off* e do esclerómetro pendular, admite-se que este será um fenómeno com propensão para ocorrer na sequência da eventual aplicação em obra de argamassas modificadas com alto teor de cortiça, principalmente no período inicial de vida do reboco, em que se dá grande parte da perda de água da argamassa.

Nas figuras 4.45 e 4.46 está representada a variação de massa ao longo do tempo das argamassas de cal hidráulica e de ligante misto, respectivamente.

Analisando os gráficos, verifica-se que a maior perda de massa ocorre durante os primeiros sete dias, o mesmo período em que se verifica grande parte da redução da extensão dos provetes, comprovando a influência directa que a secagem tem sobre a retracção de rebocos.

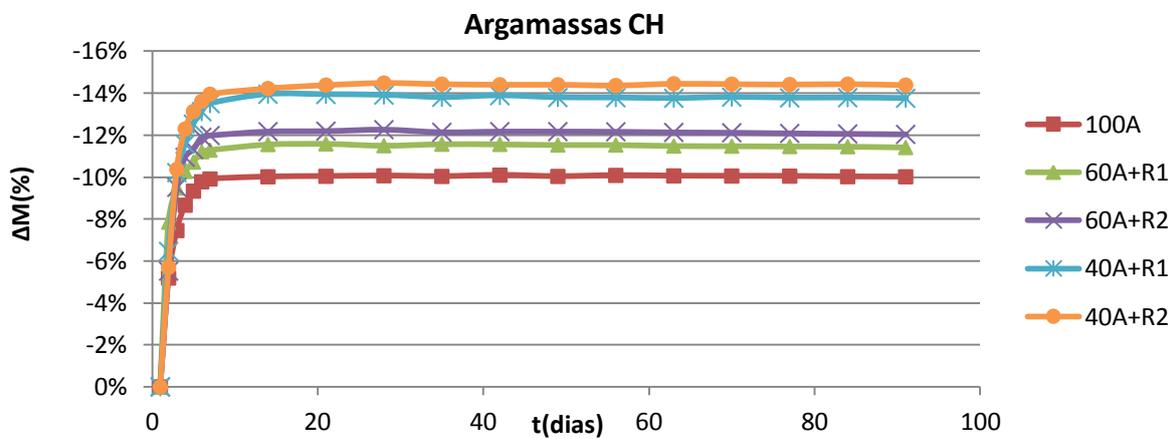


Figura 4.45 - Variação da massa das argamassas CH ao longo do tempo

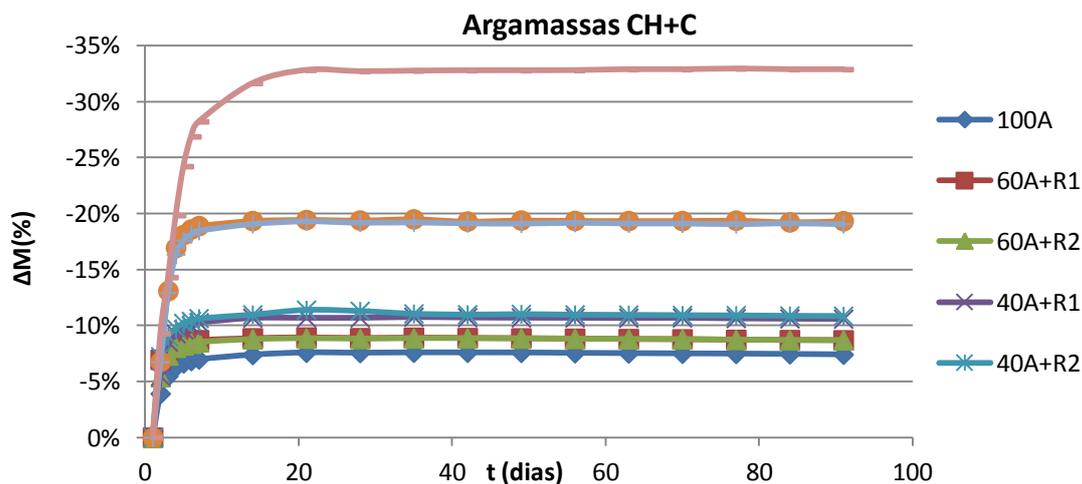


Figura 4.46 - Variação da massa das argamassas CH+C ao longo do tempo

Em ambos os tipos de argamassa verificou-se, ao fim dos 90 dias, uma percentagem de perda de massa tanto maior quanto maior o conteúdo de cortiça no agregado. Mesmo nas argamassas com 40% e 60% de RNC, em que se utilizou uma relação A/L consideravelmente mais baixa que na mistura de referência, a percentagem de perda de massa é superior, uma vez que a redução da

massa do agregado faz aumentar a contribuição da massa de água na massa total da mistura. A evaporação dessa água de amassadura traduz-se numa redução de massa mais significativa que na mistura de referência.

Nas argamassas de ligante misto com 80% e 100% de volume de cortiça no agregado, a perda de massa é ainda mais expressiva, por força da substituição de uma maior quantidade de areia por cortiça, reduzindo a massa de agregado, e do incremento da relação A/L. Mediram-se perdas de massa aos 90 dias na ordem dos 19% nas misturas com 80% de cortiça e na ordem dos 33% na mistura com 100% de cortiça no agregado.

4.7. Síntese de resultados

Foram efectuados ensaios que permitiram caracterizar as argamassas quanto às suas principais propriedades mecânicas, sendo feito, neste subcapítulo, o resumo dos resultados obtidos.

4.7.1. Impacto da introdução do RNC

Na Tabela 4.33, é feita uma análise comparativa entre cada argamassa com incorporação de cortiça e a respectiva mistura de referência, relativamente às características analisadas no estado endurecido no decorrer do trabalho experimental, sendo apresentada a variação percentual entre o valor obtido para a argamassa em causa e o valor da argamassa de referência. Como auxílio visual, essa variação percentual é acompanhada por um fundo de cor esverdeada, caso se note uma melhoria do desempenho das argamassas com cortiça, ou de cor avermelhada, caso se verifique um pior desempenho.

Tabela 4.33 - Características mecânicas das argamassas com cortiça comparadas às das misturas de referência

Argamassa		Δ MVA	Δ Rf	Δ Rc	Δ E	Δ Ra	Δ ϵ_{cs}
CH	100A (referência)	-	-	-	-	-	-
	60A+R1	-20.6%	+78.0%	-20.5%	-15.8%	+33.2%	+11.0%
	60A+R2	-23.8%	+30.8%	-20.0%	-26.5%	+170.0%	+30.6%
	40A+R1	-33.6%	+42.6%	-27.2%	-56.8%	+130.0%	+41.9%
	40A+R2	-37.0%	+82.2%	-33.3%	-38.9%	+100.0%	+26.3%
CH+C	100A (referência)	-	-	-	-	-	-
	60A+R1	-18.1%	-11.5%	-19.5%	-31.5%	+59.4%	+23.3%
	60A+R2	-20.6%	-12.1%	-17.5%	-33.7%	+56.3%	+48.5%
	40A+R1	-30.9%	-17.0%	-33.9%	-50.9%	+34.4%	+5.4%
	40A+R2	-33.3%	-26.0%	-33.6%	-54.3%	+21.9%	+30.3%
	20A+40R1+40R3	-50.1%	-61.4%	-79.0%	-86.4%	+12.5%	+71.8%
	20A+40R2+40R3	-52.7%	-71.3%	-75.4%	-86.6%	-15.6%	+112.3%
30R1+70R3	-69.1%	-83.2%	-88.7%	-95.6%	-28.1%	+160.7%	

A massa volúmica aparente (MVA) das argamassas analisadas diminuiu com o aumento da percentagem de cortiça incluída na mistura, sendo esta redução da MVA mais significativa nas argamassas de ligante único. A utilização de RNC do tipo R2 deu origem a argamassas mais leves comparativamente às produzidas com R1.

As resistências mecânicas, como esperado, são, no geral, prejudicadas ao introduzir-se cortiça na mistura. Ainda assim, verificaram-se melhorias na resistência à flexão (R_f) das argamassas de cal hidráulica, chegando a haver um incremento de 82% na mistura com incorporação de 60% de material R2. Nas argamassas de ligante misto a resistência à flexão diminuiu com a introdução de cortiça, embora não seja tão afectada como a resistência à compressão (R_c). As perdas de resistência à compressão nas argamassas, tanto de cal hidráulica como de ligante misto, são equiparáveis para taxas de substituição até 60%, verificando-se uma perda de resistência entre os 18% e os 20%, nas misturas com 40% de RNC, e entre 27% e 34%, nas misturas com 60% de RNC. Ao aumentar-se a taxa de substituição de cortiça para os 80% de volume de agregado, observa-se uma queda acentuada da resistência à compressão das argamassas de ligante misto, registando-se uma perda de cerca de 79% na mistura com R1 e de 75% na mistura com R2, relativamente à argamassa de controlo (CH+C 100A), facto explicado pela introdução do material R3 e pelo aumento da relação A/L da mistura. Na argamassa CH+C 30R1+70R3, em que 100% do agregado é constituído por cortiça, houve uma perda de 89% da sua resistência à compressão.

As argamassas com incorporação de R2 apresentam uma resistência à compressão ligeiramente superior, assim como uma resistência à flexão ligeiramente inferior às argamassas com R1, indiciando que as argamassas produzidas com recurso ao material R1 são mais dúcteis que as produzidas com R2.

O módulo de elasticidade (E) das argamassas estudadas diminuiu de forma praticamente linear, acompanhando o incremento da quantidade de cortiça presente na mistura. A variação do tipo de cortiça na mistura deu origem a valores de E dinâmico superiores nas argamassas de ligante misto com R1, principalmente nas taxas de substituição mais baixas (40% e 60%), significando isto que, nessas argamassas, o ganho de elasticidade relativamente à mistura de referência é inferior ao obtido com recurso ao material R2. Nas argamassas de cal hidráulica com substituição de 40% da areia por RNC, obteve-se também um valor do E dinâmico superior com a utilização de R1, enquanto nos casos em que substituiu 60% da areia por RNC, foi a mistura com R2 a que deu origem a uma argamassa menos elástica. Esta inconsistência de resultados nas argamassas de cal hidráulica foi observada em vários ensaios, o que leva a crer que estas argamassas são especialmente sensíveis a eventuais variações ao procedimento de amassadura e compactação. Comparando os dois grupos de argamassa, constata-se que a introdução de RNC teve um impacto mais significativo na redução do E das argamassas bastardas, uma vez que as argamassas de cal hidráulica possuem já um E bastante baixo, mesmo sem inclusão de cortiça.

As argamassas modificadas com cortiça apresentaram, no geral, uma capacidade aderente superior às argamassas de referência. Apenas nas misturas de ligantes misto com maior teor de cortiça, em

que pelo menos 80% do volume de agregado é constituído por RNC, foram registadas tensões de arrancamento inferiores às da mistura de referência, não por haver deficiente aderência nesses casos, mas porque as argamassas denotaram reduzidas resistências a tensões de tracção, dando-se nesses casos a rotura por coesão. Nas argamassas CH, foi a mistura 60A+R2 a que manifestou a maior capacidade aderente, melhorando este aspecto em 170%, relativamente à mistura 100A. Nas argamassas CH+C é a mistura 60A+R1 a que apresenta a maior tensão de aderência, melhorando em cerca de 60% esta característica, face à mistura de referência. O valor mais baixo de tensão de aderência em misturas de ligante misto foi obtido na argamassa 30R1+70R3, havendo uma perda de 28% comparativamente à mistura de referência, justificada pela reduzida resistência à tracção da argamassa.

Relativamente ao ensaio de variação dimensional, foi visto que a introdução de cortiça em substituição da areia deu origem a argamassas com uma maior propensão para a retracção. No conjunto de argamassas modificadas com diferentes percentagens de cortiça verificou-se que a retracção ao fim de 90 dias aumentou com o incremento da percentagem de cortiça nas misturas. A única excepção foi a das argamassas de ligante misto com 60% de RNC (CH+C 40A+R1/R2), que exibiram uma retracção inferior à das argamassas equivalentes com 40% de RNC e ligeiramente superior à da mistura de referência. A argamassa CH+C 40A+R1 apresenta um valor de retracção aos 90 dias apenas 5,4% superior ao obtido na argamassa de referência, o que é bastante positivo, tendo em conta as elevadas variações dimensionais denotadas pelas restantes argamassas. Analisando a influência do tipo cortiça no comportamento das argamassas face à retracção, observaram-se sempre menores variações dimensionais nas argamassas de ligante misto produzidas com R1.

Âpós analisado o impacto que a introdução do RNC teve no desempenho mecânico das diferentes misturas estudadas, foi possível constatar uma maior regularidade nos resultados obtidos nas argamassas CH+C. Será portanto essa mistura ligante a que melhor se adaptará à inclusão de RNC em argamassas para reboco.

4.7.2. Desempenho como argamassas de revestimento

Na Tabela 4.34 é apresentada uma síntese de todos os resultados obtidos no estado endurecido relativamente às argamassas estudadas.

Tomando como referência os requisitos de desempenho apresentados no capítulo 2, na Tabela 2.1 e na Tabela 2.2, referentes a argamassas para edifícios antigos e recentes, respectivamente, é possível determinar se as argamassas estudadas são adequadas para aplicação como rebocos de substituição em edifícios antigos ou como rebocos para edifícios recentes.

Tabela 4.34 - Resumo das propriedades mecânicas no estado endurecido das argamassas estudadas

Argamassa		Massa volúmica - MVA (kg/m ³)	Resistência à compressão - Rc (Mpa)	Resistência à flexão - Rf (Mpa)	Módulo de elasticidade - E (Mpa)	Aderência - Ra (Mpa)	Retração - ϵ_{cs} (aos 90 dias)	Ressalto
CH	100A	1884,0	3.25	0.41	3157	0.10	-0,0146	42.6
	60A+R1	1495.5	2.58	0.73	2660	0.13	-0,0162	35.6
	60A+R2	1436.5	2.60	0.53	2320	0.27	-0,0191	35.7
	40A+R1	1251.5	2.36	0.58	1365	0.23	-0,0208	39.4
	40A+R2	1186.5	2.17	0.74	1929	0.20	-0,0185	39.4
CH+C	100A	1942.5	11.19	2.90	14793	0.32	-0,0115	60.1
	60A+R1	1590,0	9.01	2.57	10138	0.51	-0,0142	52.1
	60A+R2	1541.5	9.23	2.55	9809	0.50	-0,0171	52.6
	40A+R1	1342,0	7.40	2.41	7269	0.43	-0,0122	43.2
	40A+R2	1295.5	7.43	2.15	6759	0.39	-0,0150	40.6
	20A+40R1+40R3	969,0	2.35	1.12	2016	0.36	-0,0198	39.6
	20A+40R2+40R3	918,0	2.75	0.83	1984	0.27	-0,0245	45.4
	30R1+70R3	600,0	1.26	0.49	657	0.23	-0,0301	53.7

Começando pela análise do desempenho das argamassas CH modificadas com RNC, verifica-se que, do ponto de vista mecânico, estas argamassas cumprem os requisitos para serem utilizadas como argamassas de substituição em edifícios antigos. Com excepção da argamassa de referência, tanto as argamassas com 40% como as com 60% de inclusão de RNC apresentaram resistências à compressão e flexão bastante baixas. Embora as misturas com 40% de cortiça denotassem resistências à compressão de 2,6 MPa, ligeiramente acima do limite definido (2,5Mpa), considera-se ainda assim aceitável a sua utilização. Todas as argamassas CH possuem um módulo de elasticidade baixo, sendo o aconselhável para não introduzir demasiadas tensões no suporte. A argamassa 40A+R1 apresentou, no entanto, um módulo de elasticidade de 1365 Mpa, demasiado abaixo do limite mínimo de 2000 Mpa, pelo que a sua utilização não é aconselhada. Relativamente à tensão de aderência, todas as argamassas apresentaram valores baixos, entre os 0,1 e 0,3 Mpa, o que favorece a reversibilidade da solução e evita a degradação do suporte no caso de ser necessário substituir o revestimento. Devido às baixas resistências à flexão das argamassas CH, que indiciam resistências à tracção reduzidas, estas argamassas não são apropriadas para revestimentos de edifícios recentes por não serem compatíveis com os suportes modernos, mais resistentes e menos deformáveis.

Por outro lado, as argamassas CH+C não são aconselhadas para uma utilização como argamassas de substituição em edifícios antigos. Até ao patamar de substituição de 60%, estas argamassas retiveram resistências à compressão e flexão, módulos de elasticidade e tensões de aderência demasiado elevados para serem compatíveis com os suportes antigos, menos resistentes e mais deformáveis que as argamassas em causa. As argamassas com 80% de inclusão de RNC possuem resistências à flexão entre os 0,83 e 1,12 Mpa, demasiado altas para que a sua utilização seja considerada. A argamassa com 100% de cortiça no agregado cumpre todos os restantes requisitos,

mas o seu módulo de elasticidade é demasiado baixo ($657 < 2000$ MPa) pelo que a sua potencial utilização foi também excluída. Na óptica de utilização como rebocos em edifícios recentes, as argamassas CH+C exibem um potencial elevado, pelo menos relativamente aos requisitos mecânicos. Como se pode ver pela Tabela 4.35, em que é feita a análise dos requisitos de desempenho, a maioria das argamassas bastardas adequa-se a uma utilização em edifícios recentes.

Tabela 4.35 - Análise do desempenho mecânico das argamassas CH+C na óptica de utilização em edifícios recentes

Argamassa		Massa volúmica - MVA (kg/m^3)	Resistência à compressão - Rc (Mpa)	Resistência à flexão - Rf (Mpa)	Módulo de elasticidade - E (Mpa)	Aderência - Ra (Mpa)	Retração - ϵ_{cs} (aos 90 dias)
CH+C	100A	1942.5	11.19 (CS IV)	2.90	14793 (excessivo)	0.32	-0,0115
	60A+R1	1590,0	9.01 (CS IV)	2.57	10138 (excessivo)	0.51	-0,0142
	60A+R2	1541.5	9.23 (CS IV)	2.55	9809	0.50	-0,0171
	40A+R1	1342,0	7.40 (CS III)	2.41	7269	0.43	-0,0122
	40A+R2	1295.5 (LW)	7.43 (CS III)	2.15	6759	0.39	-0,0150
	20A+40R1+40R3	969 (LW)	2.35 (CS II)	1.12	2016	0.36	-0,0198 (alta)
	20A+40R2+40R3	918 (LW)	2.75 (CS II)	0.83 (muito baixa)	1984	0.27 (coesiva)	-0,0245 (alta)
	30R1+70R3	600 (LW)	1.26 (CS I)	0.49 (muito baixa)	657	0.23 (coesiva)	-0,0301 (alta)

Segundo a norma EN 998-1, foi possível enquadrar todas as argamassas numa classe de resistência à compressão (CS I a Cs IV). Ainda dentro da mesma norma, pode-se verificar que as argamassas CH+C com 80% e 100% de inclusão de cortiça, assim como a argamassa 40A+R2, são consideradas argamassas leves, LW (Lighweight rendering/plastering mortar), uma vez que apresentam uma MVA no estado endurecido inferior a 1300kg/m^3 .

Considerando as exigências complementares do LNEC para as características de argamassas para edifícios novos, apenas as argamassas CH+C 60A+R2, 40A+R1 e 40A+R2 cumprem todos os requisitos de desempenho exigidos. Estas argamassas apresentam uma resistência à compressão e flexão consideráveis, um módulo de elasticidade abaixo dos 10000 MPa, uma tensão de aderência ao suporte acima dos 0,3 MPa e uma retração próxima da exibida pela argamassa de referência.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1. Conclusões

Portugal é responsável por mais de 50% da produção mundial de cortiça, representando a indústria corticeira cerca de 3% das exportações do país. Como é sabido, o principal produto desta indústria é a rolha, produzida unicamente com recurso a cortiça amadia, de melhor qualidade. A cortiça que não é utilizada na produção de rolhas acaba por se aplicada directamente noutras indústrias (do calçado ou automóvel, por exemplo) ou é reduzida a granulados e reutilizada numa variedade de outras formas, não existindo desperdício do material.

Esta preocupação ambiental e de desenvolvimento sustentável demonstrada pelas empresas ligadas à indústria corticeira tem levado ao desenvolvimento de novos métodos de aproveitamento dos subprodutos desta indústria, nomeadamente do aglomerado e regranulado negro de cortiça. As suas reconhecidas propriedades de isolante térmico e acústico, elevada elasticidade e reduzida massa volúmica conduziram já à aplicação deste material na indústria da construção, essencialmente sob a forma de placas para isolamento térmico, acústico e vibrático de tectos paredes e pavimentos, sendo os granulados utilizados como enchimento de paredes, terraços e coberturas, assim como em misturas com betão, como forma de o aligeirar. No presente trabalho foi estudada a hipótese de introdução do RNC em misturas de argamassa para revestimento, mais concretamente o impacto que a introdução de quantidades variáveis deste material terá nas características mecânicas de rebocos.

No decorrer dos ensaios para determinação da relação A/L de cada composição, constatou-se que o aumento da percentagem de cortiça no agregado, quando se utilizou os regranulados R1 e R2, fez reduzir a quantidade de água de amassadura necessária, em relação às argamassas de referência respectivas. Pelo contrário, quando se introduziu R3 nas misturas de maior teor de cortiça, foi necessário aumentar a relação A/L para níveis superiores aos das argamassas de referência, de modo a garantir trabalhabilidades semelhantes.

A substituição da areia por RNC deu origem a argamassas com uma MVA no estado endurecido consideravelmente mais baixa que nas misturas de referência, chegando-se a obter uma redução de cerca 70% da MVA ao substituir-se a totalidade da areia por cortiça, nas argamassas de ligante misto.

Relativamente à resistência à flexão e compressão, observa-se, expectavelmente, a deterioração do desempenho das argamassas à medida que se aumenta o volume de cortiça presente como agregado na mistura. A perda de resistência mecânica é especialmente notória nas misturas em que se procedeu à substituição de 80% e 100% do volume de areia, e em que houve utilização da cortiça R3. Ainda assim, todas as misturas estudadas retiveram resistências suficientes para se considerar a sua utilização como revestimento de paredes.

Ao contrário do que seria de esperar, a introdução de cortiça nas misturas não conduziu a grandes variações nos resultados obtidos para o módulo de elasticidade nos vários provetes de cada argamassa, o que leva a crer que foi possível produzir misturas bastante homogêneas, mesmo quando a percentagem de cortiça é elevada. A introdução de RNC como substituto da areia teve como consequência a redução do módulo de elasticidade, tanto mais evidente quanto maior a taxa de substituição do agregado. O baixo módulo de elasticidade evidenciado pelas argamassas com cortiça, em comparação com as misturas de referência, implica que estas poderão ser uma boa solução de revestimento do ponto de vista da compatibilidade com o suporte, uma vez que a sua capacidade de deformação evita a transmissão excessiva de esforços.

A utilização de RNC como substituto da areia em argamassas de revestimento levou a melhorias na sua capacidade aderente, comparativamente ao desempenho demonstrado, neste campo, pelas misturas de referência. Os melhores resultados para a tensão de arrancamento através do ensaio de *Pull-Off* foram obtidos nas argamassas com substituição de 40% do volume de areia por RNC. O incremento sucessivo do volume de cortiça nas restantes argamassas estudadas levou à diminuição da tensão de arrancamento registada no aparelho de arrancamento, não significando, porém, que o aumento do teor de cortiça prejudique a capacidade aderente das argamassas, uma vez que estas continuavam aderentes ao suporte no momento da extracção da carote, existindo cedência pelo próprio reboco. A variação da granulometria de cortiça utilizada não teve uma grande influência nos resultados, ainda que se tenham obtido argamassas mais aderentes, em média, com o material R1.

Os valores de ressalto inesperadamente altos obtidos nas argamassas CH com 60% de cortiça e CH+C com 80% e 100% de cortiça indiciam que a introdução de grandes quantidades de cortiça confere às argamassas de reboco superior elasticidade, constatada através da conservação de uma quantidade maior da energia imposta pelo choque do pêndulo, no decorrer do ensaio do esclerómetro pendular. Esta característica poderá indicar um melhor comportamento ao choque por parte das argamassas modificadas com cortiça, uma vez que ao invés de dissipar a energia do choque através da cedência interna do próprio reboco, a presença de cortiça permite que, no momento do choque, o reboco se deforme e recupere, de seguida, a sua forma inicial, devolvendo a energia do choque e limitando a fissuração da argamassa.

Em relação ao ensaio de variação dimensional, observou-se que as argamassas com incorporação de grânulos de cortiça apresentaram valores de retracção superiores aos das misturas de referência. Nas argamassas CH, foi a mistura com 60% de R1 a mais prejudicada, registando-se, aos 90 dias, um aumento de 42% relativamente à retracção da argamassa de referência. No caso das argamassas CH+C o pior resultado foi obtido na argamassa com substituição total do agregado pétreo por cortiça, em que o valor da retracção aos 90 dias corresponde a um aumento de 160% relativamente à mistura de referência. Importa, no entanto, lembrar que nas argamassas bastardas com 60% de RNC (CH+C 40A+R1/R2) foi observado um comportamento face à retracção muito próximo do da mistura de referência, o que perspectiva a hipótese de controlo do mau

desempenho nesta propriedade, para níveis de inclusão de cortiça intermédios. Quanto à influência da granulometria na retracção do reboco, com excepção das argamassas CH com taxa de substituição de 60%, verificou-se que em todas os patamares de substituição de areia por cortiça, a utilização de R1 deu origem a valores de retracção aos 90 dias mais baixos que com a utilização de R2, sendo portanto a granulometria que menos prejudica os rebocos neste característica. Resta referir que os piores resultados de retracção apresentados pelas argamassas com cortiça não implicam necessariamente que estas sejam mais susceptíveis à fissuração, uma vez que possuem também uma maior capacidade de suportar deformações.

Comparando a influência dos dois tipos de RNC utilizados (R1 e R2) nas propriedades das argamassas estudadas, conclui-se que as suas diferenças ao nível da distribuição granulométrica reflectem-se em grande parte das características das argamassas. A utilização de R1 levou que as argamassas necessitassem de uma menor relação A/L, comparativamente a R2, para obter a mesma trabalhabilidade. O material R1 levou à obtenção de argamassas com maior massa volúmica, menor resistência à compressão, mas superior resistência à flexão, o que implica que este material favorece a ductilidade das argamassas. Para além disso, é também nas misturas com R1 que se obtiveram as maiores resistências ao arrancamento e os menores valores de retracção. Em contrapartida, as argamassas com R2 exibiram um módulo de elasticidade ligeiramente mais baixo do que R1. Deste modo, pode-se afirmar que, na maior parte dos ensaios realizados, as argamassas com agregado R1 demonstraram um melhor desempenho do que as com R2.

Analisando os requisitos de desempenho de argamassas para revestimento em edifícios antigos e recentes, pode-se concluir que a inclusão de cortiça em argamassas de cal hidráulica favorece as suas características mecânicas para uma aplicação como argamassas de substituição. As argamassas de cal hidráulica e cimento retiveram resistências demasiado elevadas, mesmo com a inclusão do RNC, de modo que são mais indicadas para utilização em edifícios recentes. De referir que nos patamares mais altos de inclusão de cortiça (80 e 100%) a introdução do pó de cortiça R3 penalizou bastante o desempenho à retracção, pelo que a utilização deste material não é aconselhada.

Por fim, após este estudo das características mecânicas, assim como da retracção, de argamassas com quantidades variáveis de cortiça na sua composição, é possível concluir que a utilização de RNC como agregado pode ser uma opção viável para a produção de argamassas. As perdas de qualidade que se verificam nas propriedades de resistência à flexão e compressão podem ser desvalorizadas do ponto de vista da utilização como argamassas não-estruturais, nomeadamente como revestimento de paredes. Para além disso, continua a ser possível enquadrar todas as argamassas numa classe de resistência da norma EN 998-1, mesmo a argamassa CH+C 30R1+70R3 que apresentou a pior resistência à compressão aos 28 dias, de 1,26 MPa, enquadrava-se na classe CS I, sendo adequada a situações em que a resistência não é uma prioridade. O comportamento destas argamassas face à retracção será talvez a principal desvantagem da introdução de cortiça, embora, tal como já foi dito, não se tenha observado, nos

ensaios realizados, um aumento na susceptibilidade do reboco fissurar. Por outro lado, existem propriedades que são bastante melhoradas com a introdução do RNC, como é o caso da aderência do reboco sobre tijolo cerâmico, do módulo de elasticidade, assim como o comportamento a nível térmico através da redução do coeficiente de condutibilidade, tal como foi concluído por Miguel Martins em Martins (2010).

5.2. Propostas de desenvolvimentos futuros

O estudo desenvolvido no âmbito desta dissertação permitiu analisar grande parte das características mecânicas de um conjunto de argamassas fabricadas com incorporação de RNC, sendo possível retirar ilações sobre a influência deste material no desempenho de rebocos para revestimento de paredes. Existem, no entanto, situações que não foram equacionadas na presente investigação e cujo desenvolvimento poderá trazer um contributo importante para o conhecimento deste tema, tais como:

- Aplicação das argamassas numa extensão considerável de paramento, o que permitiria avaliar com mais rigor a susceptibilidade de aparecimento de fissuras numa situação real de utilização como reboco.
- Realização de ensaios de resistência ao choque, de modo a confirmar a ideia de que a introdução de cortiça nas argamassas se traduz em melhorias nesta propriedade.
- Avaliação do impacto a nível de desempenho acústico de argamassas para reboco modificadas com RNC.
- Realização do ensaio de envelhecimento acelerado de modo a avaliar eventuais perdas de qualidade com o tempo de rebocos produzidos com RNC.

Referências bibliográficas

Agostinho, C. S. (2008). *Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Branco, F. G., Reis, M. d. & Tadeu, A. (2006). *Utilização da Cortiça como Agregado em Betões*. Disponível em: http://www.dec.uc.pt/~fjbranco/POCI_ECM_55889/branco_et_al_QIC_2006.pdf.

Brito, J. (1987). *Ensaio in-situ em estruturas de betão armado*. Relatório CMEST nº73. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Cavaco, L. (2005). *Técnicas de Aplicação de Argamassas de Revestimento em Edifícios Antigos. Influência no Desempenho*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Cincotto, M., Silva, M. A. & Cascudo, H. C. (1995). *Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

Coutinho, A. d. (1988). *Fabrico e Propriedades do Betão*. LNEC, Lisboa.

Coutinho, J. d. (1999). *Materiais de construção I - Agregados para argamassas e betões*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Coutinho, J. d. (2006). *Sebenta de Materiais de Construção 2. 1ªParte - Ligantes e Caldas*. Departamento de Eng. Civil da FEUP, Porto.

Cruz, N. T. (2008). *Estudo da Influência da Granulometria das Areias no Desempenho de Rebocos de Ligante Hidráulico*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Flores-Colen, I. (2009). *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

Flores-Colen, I., de Brito, J. & Branco, F. A. (2007). *Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa.

Freitas., V. P. & Alves, S. M. (2008). *Monografias APFAC sobre argamassas de construção - Tema 3: Argamassas de Reboco e Monomassas (EN 998-1)*. Disponível em: <http://www.apfac.pt/monografias/Monografia%20Rebocos%20e%20Monomassas%20v1Mai08.pdf>.

Galvão, J. M. (2009). *Técnicas de ensaio in-situ para avaliação do comportamento mecânico de rebocos em fachadas - Esclerómetro e ultra-sons*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gaspar, P. M. (2002). Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes, Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gil, L. (1998). *Cortiça - Produção, Tecnologia e Aplicação*. Edições INETI, Lisboa.

Gil, L. (2006). *A cortiça como material de construção: Manual Técnico*. APCOR - Associação Portuguesa da Cortiça.

Gil, L. (2009). *Cork Composites: A Review*. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P, Lisboa. Disponível em: <http://www.mdpi.com/1996-1944/2/3/776>.

Lourenci, S. (2003). *Caracterização de Argamassas de Revestimento Fabricadas com Materiais Alternativos*. Tese de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do estado de Santa Catarina - UDESC, Joinville.

Magalhães, A., Veiga, M. d. & Costa, D. (2003). *Diagnóstico de anomalias de revestimentos de paredes com técnicas de ensaio in situ. Avaliação da resistência mecânica*. ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa.

Marques, J. d. (2008). *Caracterização de Betões Leves de Regranulado de Cortiça*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Martins, A. M. (2008). *Estudo da influência da dosagem de cimento no desempenho de argamassas de reboco*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Martins, J. G. & Assunção, J. S. (2004). *Sebenta da disciplina de Materiais de Construção I- Argamassas e Rebocos*. Curso de Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto.

Martins, M. F. (2010). *Comportamento Físico de Argamassas de Reboco com Regranulado Negro de Cortiça*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Medeiros, C. I. (2010). *Propriedades Mecânicas De Betões De Agregados Leves*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Mendonça, B. d. (2007). *Estudo de Desempenho das Argamassas Hidráulicas - Influência do Ligante*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Miranda, V. (2004) – *Análise da Aderência de Soluções de Reboco Tradicional sobre Suportes de Betão*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Neville, A. M. (1982). *Propriedades do concreto*. PINI, São Paulo.

Oliveira, M. A. & Oliveira, L. (2000). *The Cork*. Ed. Corticeira Amorim, Rio de Mouro.

Penas, F. E. (2008). *Argamassas de Cal Hidráulica para Revestimentos de Paredes*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

- Pina, F. B. (2009). *Resistência à carbonatação de argamassas de reparação para estruturas em betão armado - Estudo de argamassas cimentícias e cimentícias modificadas com polímeros*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Pinheiro, E. J. (2009). *Tempos de Secagem de Betões Leves*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Gomes, A., Pinto, A. F., & Pinto, B. (2006). *Argamassas - Documento de Apoio*. Grupo de Materiais de Construção do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Rodrigues, M. (2004). *Argamassas de Revestimento para Alvenarias Antigas, Contribuição para o Estudo da Influência dos Ligantes*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, na especialidade de Reabilitação do Património Edificado, pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.
- Sequeira, A. C., Frade, D. & Gonçalves, P. (2007). *Cal Hidráulica - Um ligante para a reabilitação*. 2.º Congresso Nacional de argamassas de construção, Lisboa.
- Silva, J. R. (2006). *Incorporação de Resíduos de Barro Vermelho em Argamassas Cimentícias*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Silva, N. G. & Campiteli, V. C. (2006). *Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia*. Disponível em: www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/6386/4701
- Soares, A. A. (2011). *Análise das características mecânicas de amostras recolhidas em fachadas rebocadas*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Tamin, P. F. (1986). *Étude du comportement mécanique des revêtements de façade*. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Veiga, M. d. (2005). *Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos*. Seminário "Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos". LNEC, Lisboa.
- Veiga, M. d. (1998). *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, LNEC, Lisboa.
- Veiga, M. d. (2006a). *Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou...destruir*. 2.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios, Porto.
- Veiga, M. d. (2006b). *Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios*. *Arquitectura Ibérica. Reabilitação*. nº 12.

Veiga, M. d. & Carvalho, F. R. (1994). *Argamassas de revestimento na reabilitação de património urbano*. 2.º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa.

Normas

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

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

IPQ (2001). *Ensaio de betão nas estruturas - Parte 2: Ensaio não destrutivo. Determinação do índice esclerométrico* - NP EN 12504:2001. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2002). *Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios* - NP EN 1097-3:2002. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2003). *Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da massa volúmica e da absorção de água* - NP EN 1097 - 6:2003. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

IPQ (2004). *Agregados para betão* - NP EN 12620:2004. Instituto Português da Qualidade, Lisboa.

CEN (2010). *Specification for mortar for masonry – Part 1: Rendering and plastering mortar* - EN 998-1:2010. European Committee for Standardization, Bruxelas.

CEN (1998a). *Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars* - EN 1015-2:1998. European Committee for Standardization, Bruxelas.

CEN (1999a). *Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)* - EN 1015-3:1999. European Committee for Standardization, Bruxelas.

CEN (1999b). *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar* - EN 1015-11:1999. European Committee of Standardization, Bruxelas.

CEN (1998b). *Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar* - EN 1015-6:1998. European Committee of Standardization, Bruxelas.

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

AFNOR (1975). *Mesure du module d'élasticité dynamique* - NF B 10 - 511 – Norme Francaise Homologue. Associassion Francaise de Normalisation (AFNOR).

LNEC (1993). *Betões, Determinação da retracção e da expansão - E 398 - Especificação LNEC*.
Documentação normativa, MOPTC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Anexos

Anexo A. Ficha técnica da cal hidráulica NHL 5

Cal Hidráulica

Cal Hidráulica NHL5



Local de Produção

Fábrica Secil Martingança
Apartado 2
2406-909 MACEIRALRA

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg

Certificação

Cal Hidráulica certificada segundo a NP EN 459-1:2003
Certificado de Conformidade 0856-CPD-0202, relativo
à marcação CE deste produto.

Descrição

A Cal Hidráulica Martingança é um ligante hidráulico constituído maioritariamente por silicatos e aluminatos de cálcio e hidróxido de cálcio. Obtém-se por cozedura de calcário argiloso (marga), seguida de moagem e adição de sulfato de cálcio para regularização da presa. As suas características físicas e químicas colocam a Cal Hidráulica Martingança na classe de resistência superior (NHL5) segundo a NP EN 459-1:2003 do CEN.

Principais Aplicações

- Na fabricação de argamassas, como único ligante ou em mistura com outros ligantes hidráulicos ou aéreos, conferindo-lhes trabalhabilidade e flexibilidade, reduzindo significativamente a retração das argamassas hidráulicas.
- Na fabricação de argamassas de reabilitação, como único ligante, em execução de rebocos exteriores sobre suportes antigos (contactar os nossos Serviços Técnicos para avaliação da sua aplicabilidade a cada caso).
- No fabrico de blocos e outros artefactos de construção.
- No tratamento de solos, para melhoria das características mecânicas e trabalhabilidade.
- Como substituto do filler nos pavimentos betuminosos.

Fabricação de argamassas

A dosagem de Cal Hidráulica Martingança numa argamassa deve adequar-se ao fim a que se destina. Nas argamassas de reboco e de assentamento, a Cal Hidráulica Martingança substitui com vantagem a utilização de saibros (normalmente com teores de argila muito elevados e, por isso, nocivos, pois provocam fissuração e diminuem a resistência à compressão).

Misturar previamente a Cal Hidráulica Martingança com o agregado e posteriormente adicionar água na quantidade necessária para obtenção de uma boa trabalhabilidade.

Como valor orientativo, usar uma relação água/ligante de 1:2 (expressa em volume).

Para efeitos orientativos, relativamente ao traço a utilizar, aconselhamos a consulta das Tabelas Técnicas, de Brazão Farinha e Correia dos Reis.

Condicionantes

Não aplicar argamassas a temperaturas inferiores a 5°C e superiores a 30°C, evitando a aplicação em situações de elevada exposição solar e/ou sob ventos fortes.

Não utilizar argamassas amolentadas ou que tenham iniciado a sua presa.

Evitar a secagem rápida das argamassas, regando o suporte 1 a 2 horas antes da aplicação e voltando a regar logo que a argamassa se apresente suficientemente resistente. Repetir a rega 1, 2 e 7 dias depois.

Conselhos complementares

O excesso de água da amassadura é prejudicial às características físicas do reboco. Deve ser sempre utilizada a quantidade mínima de água que permita boa trabalhabilidade.

A água de amassadura deve estar isenta de quaisquer impurezas (argilas, matéria orgânica), devendo - de preferência - ser utilizada água potável.

Uma vez determinado o traço a utilizar para uma argamassa, manter as dosagens constantes e o tempo de amassadura.

Tratamento de Solos

A adição de Cal Hidráulica Martingança a certos solos argilosos e húmidos permite a sua estabilização, melhorando a sua resistência às intempéries, pela diminuição do índice de plasticidade e de uma maior compactação, a qual permite um aumento do CBR (California Bearing Ratio, índice de compactação de suporte).

A adição de Cal Hidráulica Martingança, devido ao seu teor de cal livre, reduz à humidade do solo (poder excicante), com ele reagindo, aglutinando as suas partículas e constituindo um aglomerado muito mais compacto.

Processo de aplicação

A quantidade de Cal Hidráulica Martingança a utilizar deve ser de 0,5 a 5% (sendo 3% o valor típico) da massa de solo a tratar, de onde devem ser retiradas as pedras de grandes dimensões.

De seguida, espalhar a Cal Hidráulica Martingança, misturando-a e homogeneizando-a com o solo em tratamento. Depois, compactar o solo tratado, que ficará muito mais resistente à penetração das águas pluviais e mais apto a funcionar como base de fundações.

A Cal Hidráulica como substituto do filler

A adição de Cal Hidráulica Martingança aos betuminosos provoca uma generalizada melhoria da qualidade nas características da camada de desgaste, que se traduzem por:

- maior consistência do betuminoso, devido à maior aderência entre este e os agregados;
- maior resistência à penetração das águas, com o consequente abrandamento do fenómeno de envelhecimento acelerado;
- maior resistência à fissuração.

Higiene e Segurança

Trata-se de um produto não nocivo e não inflamável, embora irrite os olhos e a pele. Não deve ser ingerido.

Utilizar luvas e máscara no seu manuseamento, lavando bem as mãos no final. No caso de contacto com os olhos, lavá-los abundantemente com água limpa.

Consulta a ficha de segurança do produto em www.secilmartinganca.pt.

Transporte e validade

A Cal Hidráulica Martingança deve ser transportada, manuseada e armazenada dentro da embalagem original (a qual só deve ser aberta para utilização), ao abrigo de humidades e exposição ao calor. Nestas condições, a Cal Hidráulica Martingança poderá ser armazenada pelo período máximo de 6 (seis) meses.

Propriedades do produto

(Método de ensaios segundo NPEN 459-1:2003)

Propriedades	Valor Médio (ano 2005)	
Água livre	0,8%	
Presa	Início	1 hora
	Fim	6 horas
Sulfatos	2,3%	
Cal livre	3,9%	
Finura	90 m	11,0%
	200 m	1,5%
Resistência à Compressão	7 dias	5 MPa
	28 dias	8 MPa

NOTA:

A informação e os dados técnicos constantes da presente Ficha Técnica exprimem o nosso conhecimento actual, podendo ser alterados sem prévio aviso. A nossa responsabilidade limita-se à garantia de qualidade do produto fornecido, rejeitando quaisquer anomalias resultantes da sua aplicação indevida.

Em situação de dúvida suscitada pelo presente documento, e particularmente em presença de aspectos singulares da construção, solicitamos o contacto com os nossos Serviços Técnicos.



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

comercial@secil.pt
www.secil.pt

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
Vendas Técnicas Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229
Técnico-Comercial Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 199

Anexo B. Ficha técnica do cimento CEM II/B-L 32,5 N

CEM II/B-L 32,5N

Cimento Portland de Calcário



Locais de Produção

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

Principais Aplicações

Principais Características

Advertências Específicas

Informação de Segurança

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg
Sacos de 25kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NPEN 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

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.

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).

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.

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.

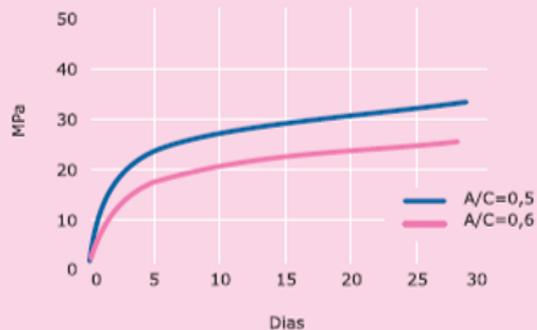
Características Mecânicas

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.

Direção 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 C. Análise granulométrica dos agregados

Peneiro [mm]	Areia Fina			RNC 2-4 mm			RNC 2-6,3 mm		
	Resíduo [g]	Resíduo Acumulado [%]		Resíduo [g]	Resíduo Acumulado [%]		Resíduo [g]	Resíduo Acumulado [%]	
		Passado	Retido		Passado	Retido		Passado	Retido
125	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00
63	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00
31.5	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00
16	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00
8	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00	0.0	100.00	0.00
4	0.0	100.00	0.00	0.3	99.81	0.19	23.7	79.23	20.77
2	0.2	99.99	0.01	122.1	22.87	77.13	41.2	43.12	56.88
1	20.4	98.55	1.45	33.7	1.64	98.36	34.8	12.62	87.38
0.500	351.7	73.75	26.25	0.9	1.07	98.93	12.8	1.40	98.60
0.250	759.0	20.23	79.77	1.1	0.38	99.62	1.4	0.18	99.82
0.125	276.1	0.76	99.24	0.4	0.13	99.87	0.2	0.00	100.00
0.063	10.5	0.02	99.98	0.1	0.06	99.94	0.0	0.00	100.00
Refugo	0.3	0.00	100.00	0.1	0.00	100.00	0.0	0.00	100.00

Anexo D. Dados do ensaio de compressão e flexão por tracção aos 14 dias

	Argamassa	Provete	Flexão (N)	Compressão (N)	
				Esquerda	Direita
CH	100A	1	367	5400	5290
		2	298	5560	4660
		3	309	5790	5250
	60A+R1	1	286	4240	4310
		2	369	4190	4280
		3	291	4060	4080
	60A+R2	1	217	3600	3720
		2	236	3690	3580
		3	198	3620	3560
	40A+R1	1	218	3380	3140
		2	304	3210	3050
		3	303	3040	3140
	40A+R2	1	244	2840	2900
		2	278	2830	2900
		3	273	2830	2910
CH+C	100A	1	975	17740	18980
		2	955	19070	19640
		3	983	18590	20190
	60A+R1	1	702	12660	12130
		2	817	12760	13300
		3	668	12110	12170
	60A+R2	1	798	11910	10030
		2	895	13130	12010
		3	902	11330	12190
	40A+R1	1	725	9840	9600
		2	645	9840	9000
		3	700	10040	8920
	40A+R2	1	657	10480	9600
		2	706	9280	9870
		3	718	8520	9070
	20A+40R1+40R3	1	492	3630	3670
		2	474	3890	3890
		3	477	3660	3790
	20A+40R2+40R3	1	347	3480	4240
		2	336	3700	4160
		3	347	4090	3810
30R1+70R3	1	205	1690	1590	
	2	186	1620	1610	
	3	212	1670	1550	

Anexo E. Dados do ensaio de compressão e flexão por tracção aos 28 dias

Argamassa		Provete	Flexão (N)	Compressão (N)	
				Esquerda	Direita
CH	100A	1	158	5290	5250
		2	159	5090	5050
		3	206	5360	5120
	60A+R1	1	271	4380	4010
		2	309	4290	3780
		3	351	4270	4050
	60A+R2	1	251	3910	3830
		2	205	4370	4130
		3	-	4570	4130
	40A+R1	1	236	3610	3460
		2	245	3800	4070
		3	265	3690	4050
	40A+R2	1	323	3420	3930
		2	299	3190	3520
		3	331	3410	3320
CH+C	100A	1	1233	20040	18780
		2	1190	17710	13370
		3	1296	18740	18800
	60A+R1	1	1111	16230	16020
		2	1061	14940	14650
		3	1121	12100	12530
	60A+R2	1	1009	14450	15640
		2	1245	15340	-
		3	1015	13680	14730
	40A+R1	1	978	11680	11770
		2	1017	12610	11660
		3	1091	11100	12190
	40A+R2	1	919	11680	12560
		2	897	11830	12520
		3	917	11120	11650
	20A+40R1+40R3	1	479	3650	4030
		2	450	2930	3220
		3	508	4250	4460
20A+40R2+40R3	1	217	3600	4780	
	2	434	4110	4950	
	3	418	4070	4910	
30R1+70R3	1	214	1870	1920	
	2	219	2170	2140	
	3	191	1880	2110	

Anexo F. Dados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas CH

Argamassa		Provete	Dimensões (mm)			Massa (g)	Frequência (Hz)
			C	L	A		
CH	100A	1	160.12	40.15	40.47	483.60	3975.50
		2	160.31	40.05	40.26	483.10	3875.90
		3	160.21	39.89	40.84	490.00	4094.30
		4	159.67	39.90	40.10	486.00	4161.40
		5	159.61	39.93	39.81	479.10	4240.40
		6	159.70	39.89	40.03	483.20	3935.50
	60A+R1	1	160.30	40.11	40.33	384.55	4184.20
		2	160.45	40.18	40.24	387.62	3992.90
		3	160.19	40.14	40.46	397.25	4499.30
		4	160.50	40.18	40.66	382.79	4152.40
		5	160.67	39.84	40.32	386.76	4015.80
		6	160.51	39.98	40.42	388.28	4085.50
	60A+R2	1	159.89	39.96	40.50	367.78	4099.80
		2	159.88	40.11	40.87	378.54	4024.70
		3	159.90	40.02	40.85	378.54	4024.70
		4	160.46	40.08	40.24	373.05	3819.20
		5	160.25	40.45	40.61	378.46	3833.90
		6	160.10	40.11	40.66	378.55	3896.50
	40A+R1	1	160.25	39.91	39.83	318.16	3214.30
		2	159.97	39.97	40.21	329.96	3286.60
		3	159.87	40.10	40.41	325.11	3470.30
		4	159.75	40.07	40.21	321.77	3239.90
		5	159.83	40.07	40.35	321.54	3116.70
		6	160.05	40.12	40.66	322.81	3235.50
40A+R2	1	159.89	39.92	40.86	307.36	3908.40	
	2	160.27	40.00	40.47	307.20	3741.70	
	3	159.98	39.92	40.61	307.47	3848.60	
	4	160.31	39.93	40.99	312.65	4133.00	
	5	159.67	39.89	40.90	313.56	4111.90	
	6	160.20	39.94	41.02	308.34	4138.20	

Anexo G. Dados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas CH+C

Argamassa	Provete	Dimensões (mm)			Massa (g)	Frequência (Hz)	
		C	L	A			
CH+C	100A	1	160.09	39.85	40.11	497.94	8735.80
		2	160.09	40.08	39.66	493.88	8591.60
		3	159.92	39.91	39.51	491.08	8631.30
		4	159.66	39.96	40.10	495.83	8653.40
		5	159.88	39.82	39.98	494.16	8614.00
		6	159.62	39.93	39.97	493.73	8560.50
	60A+R1	1	160.32	40.12	40.42	412.97	7763.80
		2	160.22	40.07	40.20	411.13	7878.40
		3	160.13	40.14	40.37	412.42	8021.30
		4	160.67	40.17	40.67	417.96	7883.50
		5	160.51	40.25	39.94	409.03	7991.30
		6	160.70	40.33	39.98	411.20	4688.50
	60A+R2	1	160.47	40.21	40.38	397.58	7826.70
		2	160.73	40.48	40.26	399.01	7865.30
		3	160.78	40.34	40.34	397.62	7855.60
		4	160.50	40.20	39.98	404.06	7938.20
		5	160.35	40.22	40.13	404.35	7850.80
		6	160.52	40.16	40.10	404.28	7764.40
	40A+R1	1	160.07	39.95	40.17	344.60	7260.90
		2	160.13	40.03	40.28	345.86	7253.80
		3	159.96	40.15	40.23	348.79	7296.10
		4	160.07	40.27	40.06	346.81	7241.30
		5	159.89	40.14	40.21	345.41	7363.50
		6	160.12	40.25	40.16	345.13	7226.80
	40A+R2	1	159.66	39.92	39.96	330.79	7350.20
		2	159.86	40.12	39.79	332.43	7303.50
		3	159.93	40.41	39.91	335.74	7179.30
		4	159.82	40.12	40.20	332.56	6988.20
		5	159.39	40.16	40.25	335.00	7088.90
		6	160.00	40.20	40.16	331.28	6953.80
	20A+40R1+40R3	1	159.90	40.46	39.77	249.74	4516.20
		2	160.00	40.10	39.73	245.75	4396.90
		3	159.94	40.09	39.87	255.13	4511.30
		4	159.82	40.38	39.59	245.65	4610.70
		5	160.34	40.43	39.76	246.18	4487.30
		6	-	-	-	-	-
	20A+40R2+40R3	1	160.69	39.92	39.70	235.48	4413.80
		2	160.35	40.53	40.03	240.81	4767.90
		3	160.80	40.15	40.03	238.95	5089.10
		4	159.79	40.13	39.89	234.42	4455.70
		5	159.92	40.23	40.95	237.71	4256.70
		6	159.65	40.11	40.02	234.94	4486.90
	30R1+70R3	1	160.57	40.24	39.61	152.51	3133.80
		2	160.66	40.21	39.20	152.81	3223.30
		3	160.44	40.02	39.50	152.25	3281.80
		4	160.28	40.07	39.80	152.94	3316.60
		5	160.48	40.46	40.01	154.64	3362.50
		6	160.35	40.06	39.64	152.15	3260.00

Anexo H. Dados do ensaio de arrancamento por tracção

Argamassa		Zona	Dimensão lateral das carotes (mm)		Força de arrancamento (N)
			A	B	
CH	100A	1	47.53	53.87	259
		2	55.22	53.82	354
		3	55.78	54.82	252
	60A+R1	1	50.13	50.07	353
		2	51.89	53.60	375
		3	49.63	52.80	271
	60A+R2	1	54.00	51.26	729
		2	50.90	52.00	646
		3	46.80	50.00	673
	40A+R1	1	48.74	52.76	644
		2	50.00	55.00	532
		3	48.00	55.00	630
	40A+R2	1	54.00	53.00	456
		2	54.67	53.18	612
		3	56.24	55.38	703
CH+C	100A	1	56.50	49.34	900
		2	55.00	51.36	855
		3	52.00	52.20	923
	60A+R1	1	53.65	54.46	1085
		2	53.84	54.48	1566
		3	52.25	54.24	1772
	60A+R2	1	53.45	53.91	1208
		2	53.51	53.86	1649
		3	54.47	53.30	-
	40A+R1	1	45.56	51.64	1208
		2	47.46	50.70	974
		3	45.90	51.48	896
	40A+R2	1	53.49	52.83	1057
		2	54.52	52.67	1266
		3	56.00	51.45	986
	20A+40R1+40R3	1	51.61	49.76	1043
		2	49.84	52.68	936
		3	51.56	52.19	885
	20A+40R2+40R3	1	50.00	53.83	767
		2	54.85	53.11	709
		3	50.00	54.00	744
30R1+70R3	1	50.95	51.13	569	
	2	49.61	49.61	580	
	3	51.90	49.73	580	

Anexo I. Dados do ensaio do esclerómetro pendular

Argamassa		Zona								
		1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5
CH	100A	37	44	45	49	48	45	38	40	37
	60A+R1	33	35	31	36	35	40	36	30	44
	60A+R2	28	36	35	42	40	37	34	35	34
	40A+R1	50	50	36	40	39	37	34	33	36
	40A+R2	35	42	42	47	42	34	33	35	44
CH+C	100A	44	55	69	66	71	67	65	54	50
	60A+R1	44	45	53	61	57	58	55	54	42
	60A+R2	46	49	60	61	59	55	53	47	43
	40A+R1	35	41	48	52	48	48	41	40	36
	40A+R2	33	39	40	47	48	43	42	39	34
	20A+40R1+40R3	40	37	40	42	41	39	37	40	40
	20A+40R2+40R3	44	44	43	42	44	48	48	49	47
	30R1+70R3	51	52	50	53	54	57	53	58	55

Anexo J. Dados do ensaio de retracção das argamassas CH

Idade	CH														
	100A			60A+R1			60A+R2			40A+R1			40A+R2		
	$\epsilon_{CS_{m\acute{e}dia}}$	M (g)	$\Delta M(\%)$												
1	-	546.47	-	-	428.50	-	-	430.03	-	-	368.50	-	-	367.43	-
2	-0.00428	518.10	-5.191	-0.0027	394.87	-7.85	-0.0020	406.30	-5.52	-0.0014	344.70	-6.46	-0.0009	346.50	-5.70
3	-0.00643	505.73	-7.454	-0.0038	387.87	-9.48	-0.0038	389.13	-9.51	-0.0033	330.87	-10.21	-0.0031	333.00	-10.37
4	-0.00827	499.13	-8.662	-0.0058	384.50	-10.27	-0.0069	382.97	-10.94	-0.0068	322.17	-11.57	-0.0049	325.93	-12.29
5	-0.01012	495.47	-9.333	-0.0082	382.60	-10.71	-0.0102	381.37	-11.32	-0.0106	320.13	-12.53	-0.0064	323.60	-13.13
6	-0.01104	493.03	-9.778	-0.0094	380.47	-11.21	-0.0123	378.87	-11.90	-0.0123	317.57	-13.12	-0.0080	321.47	-13.61
7	-0.01114	492.30	-9.912	-0.0108	380.13	-11.29	-0.0130	378.50	-11.98	-0.0133	317.63	-13.50	-0.0090	320.20	-13.95
14	-0.01160	491.73	-10.016	-0.0122	379.00	-11.55	-0.0147	377.70	-12.17	-0.0148	317.10	-13.95	-0.0129	315.53	-14.23
21	-0.01270	491.60	-10.040	-0.0127	378.87	-11.58	-0.0156	377.60	-12.19	-0.0157	317.13	-13.94	-0.0148	314.57	-14.39
28	-0.01284	491.47	-10.065	-0.0137	379.23	-11.50	-0.0161	377.30	-12.26	-0.0160	317.23	-13.91	-0.0150	314.20	-14.49
35	-0.01344	491.63	-10.034	-0.0147	378.93	-11.57	-0.0167	377.83	-12.14	-0.0168	317.63	-13.80	-0.0163	314.40	-14.43
42	-0.01353	491.30	-10.095	-0.0149	378.97	-11.56	-0.0173	377.70	-12.17	-0.0175	317.33	-13.89	-0.0166	314.50	-14.41
49	-0.01376	491.63	-10.034	-0.0151	379.10	-11.53	-0.0173	377.70	-12.17	-0.0185	317.67	-13.79	-0.0168	314.50	-14.41
56	-0.01380	491.37	-10.083	-0.0153	379.10	-11.53	-0.0180	377.73	-12.16	-0.0188	317.70	-13.79	-0.0173	314.63	-14.37
63	-0.01403	491.50	-10.059	-0.0153	379.30	-11.48	-0.0181	377.87	-12.13	-0.0194	317.80	-13.76	-0.0175	314.33	-14.45
70	-0.01426	491.53	-10.052	-0.0159	379.33	-11.47	-0.0181	377.93	-12.12	-0.0198	317.60	-13.81	-0.0177	314.40	-14.43
77	-0.01445	491.57	-10.046	-0.0162	379.40	-11.46	-0.0188	378.07	-12.08	-0.0202	317.73	-13.78	-0.0182	314.47	-14.42
84	-0.01459	491.70	-10.022	-0.0162	379.43	-11.45	-0.0191	378.17	-12.06	-0.0208	317.70	-13.79	-0.0185	314.40	-14.43
91	-0.01463	491.73	-10.016	-0.0162	379.60	-11.41	-0.0191	378.27	-12.04	-0.0208	317.80	-13.76	-0.0185	314.57	-14.39

Anexo K. Dados do ensaio de retracção das argamassas CH+C

Idade	CH+C																							
	100A			60A+R1			60A+R2			40A+R1			40A+R2			20A+R1+R3			20A+R2+R3			30R1+70R3		
	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)	ECS _{média} (x10 ⁻²)	M (g)	ΔM(%)
1	-	543.53	-	-	449.80	-	-	434.77	-	-	380.77	-	-	361.07	-	-	289.07	-	-	284.73	-	-	212.73	-
2	-0.068	522.30	-3.91	-0.192	418.53	-6.95	-0.145	411.30	-5.40	-0.005	359.97	-5.46	-0.317	335.00	-7.22	0.642	272.40	-6.77	0.900	265.55	-6.74	2.634	193.00	-9.28
3	-0.218	513.77	-5.48	-0.496	414.60	-7.83	-0.461	402.87	-7.34	-0.158	348.33	-8.52	-0.417	328.53	-9.01	0.519	245.47	-13.08	0.549	259.37	-12.91	1.648	182.33	-14.29
4	-0.280	509.30	-6.30	-0.663	412.43	-8.31	-0.613	399.87	-8.03	-0.274	345.50	-9.26	-0.540	325.90	-9.74	0.184	240.10	-16.94	0.002	254.47	-16.33	0.676	176.93	-19.83
5	-0.395	507.50	-6.63	-0.749	411.40	-8.54	-0.746	398.97	-8.23	-0.380	344.10	-9.63	-0.697	324.23	-10.20	-0.162	236.77	-18.09	-0.637	234.63	-17.60	-0.500	146.37	-24.20
6	-0.499	506.37	-6.84	-0.845	410.83	-8.66	-0.885	398.30	-8.39	-0.506	342.77	-9.98	-0.791	323.57	-10.39	-0.458	235.33	-18.59	-0.911	233.90	-18.15	-1.072	144.97	-26.86
7	-0.556	505.63	-6.97	-0.905	410.70	-8.69	-0.986	397.77	-8.51	-0.626	341.73	-10.25	-0.919	322.70	-10.63	-0.692	234.47	-18.89	-1.103	232.17	-18.46	-1.386	144.23	-28.20
14	-0.748	503.43	-7.38	-1.007	409.93	-8.86	-1.194	396.63	-8.77	-0.867	340.17	-10.66	-1.104	321.47	-10.97	-1.222	233.17	-19.34	-1.680	230.43	-19.07	-2.115	143.33	-31.62
21	-0.909	502.37	-7.57	-1.088	409.63	-8.93	-1.371	396.30	-8.85	-0.946	340.10	-10.68	-1.204	319.93	-11.39	-1.428	232.90	-19.43	-1.927	229.77	-19.30	-2.482	142.97	-32.80
28	-0.966	502.50	-7.55	-1.118	409.87	-8.88	-1.377	396.47	-8.81	-0.997	340.10	-10.68	-1.256	320.30	-11.29	-1.546	233.03	-19.38	-2.020	230.10	-19.19	-2.586	143.20	-32.69
35	-1.034	502.33	-7.58	-1.224	409.70	-8.92	-1.479	396.27	-8.86	-1.053	339.83	-10.75	-1.322	321.17	-11.05	-1.718	232.73	-19.49	-2.119	230.03	-19.21	-2.820	143.10	-32.73
42	-1.060	502.37	-7.57	-1.275	409.83	-8.89	-1.516	396.27	-8.86	-1.108	340.00	-10.71	-1.365	321.43	-10.98	-1.730	233.30	-19.29	-2.218	230.27	-19.13	-2.720	143.03	-32.76
49	-1.060	502.40	-7.57	-1.285	409.97	-8.86	-1.523	396.33	-8.84	-1.118	340.07	-10.69	-1.374	321.30	-11.01	-1.763	233.03	-19.38	-2.240	230.33	-19.11	-2.796	143.03	-32.76
56	-1.060	502.57	-7.54	-1.315	410.10	-8.83	-1.567	396.47	-8.81	-1.118	340.10	-10.68	-1.374	321.47	-10.97	-1.813	233.13	-19.35	-2.305	230.13	-19.18	-2.839	143.00	-32.78
63	-1.060	502.70	-7.51	-1.330	410.23	-8.80	-1.605	396.60	-8.78	-1.136	340.17	-10.66	-1.417	321.53	-10.95	-1.880	233.17	-19.34	-2.322	230.30	-19.12	-2.877	142.83	-32.86
70	-1.153	502.83	-7.49	-1.376	410.33	-8.77	-1.618	396.63	-8.77	-1.173	340.10	-10.68	-1.459	321.63	-10.92	-1.880	233.17	-19.34	-2.366	230.30	-19.12	-2.934	142.83	-32.86
77	-1.153	502.93	-7.47	-1.391	410.53	-8.73	-1.693	396.83	-8.72	-1.215	340.30	-10.63	-1.459	321.70	-10.90	-1.947	233.07	-19.37	-2.382	230.47	-19.06	-2.977	142.70	-32.92
84	-1.153	503.10	-7.44	-1.421	410.63	-8.71	-1.712	396.97	-8.69	-1.215	340.40	-10.60	-1.474	321.83	-10.87	-1.981	233.50	-19.22	-2.448	230.27	-19.13	-3.005	142.83	-32.86
91	-1.153	503.30	-7.40	-1.421	410.73	-8.69	-1.712	397.00	-8.69	-1.215	340.50	-10.58	-1.502	321.90	-10.85	-1.981	233.20	-19.33	-2.448	230.47	-19.06	-3.005	142.83	-32.86