



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Propriedades do Betão Auto-compactável com Incorporação de Agregados Finos Reciclados

Hugo Alexandre Silva Pinto

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira
Co-orientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, Junho de 2011

Dedicatória

Àquele que me deu inteligência, perspicácia, discernimento e esteve sempre presente em todos os momentos da minha vida.

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação contou valiosamente com a colaboração directa e indirecta de várias pessoas às quais eu pretendo agradecer profundamente.

Em primeiro lugar, agradeço de uma forma especial ao Prof. Doutor Luiz Oliveira e ao Prof. Doutor Miguel Nepomuceno, orientador e co-orientador, respectivamente, desta dissertação, pelo apoio prestado, pela disponibilidade e pelo incentivo à concretização célere deste estudo, mas mais do que isso, pela confiança que têm vindo a depositar no meu trabalho. Foi um prazer e um grande privilégio poder trabalhar com duas pessoas de tão elevado profissionalismo e dedicação.

Agradeço à Universidade da Beira Interior a minha formação e disponibilização dos meios necessários à realização deste estudo.

Também quero expressar o meu agradecimento às empresas, que gratuitamente contribuíram com materiais para a concretização deste estudo, nomeadamente: *OMYA COMITAL - Minerais e Especialidades, S.A.*, na pessoa do Dr. Paulo Pinto, o fornecimento do fíler calcário (Betocarb P1-OU); à empresa de betão pronto “BETÃO LIZ” o fornecimento das areias naturais (Areia 0/2 e Areia 0/4) e à empresa *Sika-Portugal - Produtos Construção e Indústria, S.A.*, o fornecimento do superplastificante (*Sika® ViscoCrete® 3005*).

Gostaria ainda de agradecer ao meu amigo Tiago Martins pela disponibilidade e pelo precioso contributo na campanha experimental, o meu muito obrigado.

São também dignos de uma nota de apreço, todos os amigos e colegas que me acompanharam ao longo das várias etapas e trabalhos realizados, em especial à Joana Gomes, à Carina Pinto e ao Tiago Martins pela amizade, espírito de grupo, ajuda mútua e incentivo nos momentos de menor ânimo, o meu sincero reconhecimento.

Um especial agradecimento à minha Mãe e familiares, apoiantes sempre incondicionais, com quem partilhei durante estes anos a tensão permanente de um caminho de incertezas e angústias, que finalmente teve o seu epílogo.

Por fim, deixo um agradecimento e um carinho especiais à Andrea Pinto, pelo apoio, ajuda, paciência e compreensão incondicionais na elaboração desta dissertação.

Resumo

PROPRIEDADES DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL COM INCORPORAÇÃO DE AGREGADOS FINOS RECICLADOS

O betão auto-compactável (BAC) tem a capacidade de fluir no interior das cofragens, preenchendo-as e envolvendo as armaduras por acção do seu peso próprio, sem bloqueio dos agregados, mantendo-se homogéneo em todo o seu volume. A avaliação e a previsão do comportamento dos BAC implica o conhecimento das suas propriedades reológicas no estado fresco, através de estudos reológicos.

Em termos ambientais, o BAC, quando comparado com o betão convencional vibrado, apresenta vantagens, tais como: ausência de ruído e de vibração durante a betonagem, facilidade de colocação em zonas de difícil acesso, diminuição do tempo de construção, redução da mão-de-obra, maior liberdade na concepção estrutural e artística das estruturas de betão e, tudo isto, conjuntamente com uma óptima qualidade dos elementos betonados, uma alta impermeabilidade e maior durabilidade das estruturas. A possibilidade de utilização de agregados reciclados na composição do BAC contribui para o aumento do seu valor ecológico.

Neste estudo, foram revistos alguns dos principais métodos de estudo na composição de BAC, nomeadamente, o método proposto pelo professor Okamura e seus colaboradores, o método proposto pela Sociedade Japonesa de Engenharia Civil (JSCE) e o método proposto pelo professor Nepomuceno. São também abordados aspectos relativos ao desenvolvimento do BAC, seus materiais constituintes e propriedades do betão fresco e endurecido. Através da revisão bibliográfica constatou-se que os métodos propostos por Okamura e seus colaboradores e pela JSCE são os mais generalizados pela sua simplicidade, apresentando, no entanto, algumas limitações. Em resultado da apreciação efectuada, entendeu-se que seria adequado utilizar o método de Nepomuceno para otimizar misturas de BAC com agregados finos reciclados.

Com o objectivo de estudar as propriedades do BAC com a incorporação de agregados finos reciclados desenvolveu-se um programa experimental que incluiu, numa primeira fase, a produção e ensaio de 11 misturas binárias com percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos. Posteriormente, foram ainda estudadas 6 misturas ternárias para o mesmo efeito. Nas misturas binárias a percentagem de substituição do agregado fino natural por agregado fino reciclado variou (em incrementos de 5%) desde os 0% na mistura de referência até aos 50%, enquanto nas misturas ternárias a percentagem de substituição do agregado fino natural por agregado fino reciclado variou (em incrementos de 10%) desde os 0% na mistura de referência até aos 50%.

O estudo efectuado permitiu verificar que a perda de resistência à compressão das argamassas se acentua com o aumento da percentagem de substituição dos agregados finos naturais pelos agregados finos reciclados. No entanto, esta perda não é tão significativa que inviabilize a utilização destes agregados finos reciclados. Isto leva a acreditar que é viável a incorporação de agregados reciclados finos no BAC.

Palavras-chave:

Betão auto-compactável, Agregados finos reciclados, Propriedades da argamassa no estado fresco, Propriedades da argamassa no estado endurecido, Resíduos de construção e demolição.

Abstract

PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH INCORPORATION OF FINE RECYCLED AGGREGATES

The self-compacting concrete (SCC) has the ability to flow into the formwork, filling them and involving the reinforcements by the action of its own weight, without blocking of the aggregate, remaining uniform throughout its volume. The evaluation and prediction of the behavior of SCC requires the knowledge of its rheological properties in fresh state, by rheological studies.

In environmental terms, the SCC, when compared with the conventional vibrated concrete, has advantages such as: no noise and vibration during concreting, ease of placement in areas of difficult access, reduction of construction time, reduced labor workforce, greater freedom in artistic and structural design of concrete structures, and this, together with an optimum quality of concreted elements, a high impermeability and durability of structures. The possibility of using recycled aggregates in the composition of the SCC also contributes to increase their ecological value.

In this study, the main methods for mix design of the SCC were reviewed, namely, the method proposed by Professor Okamura and co-authors, the method proposed by the Japan Society of Civil Engineers (JSCE) and the method proposed by Professor Nepomuceno. The issues concerning to the development of the SCC, its constituent materials and the properties of fresh and hardened concrete are also discussed. Through literature review it was found that the methods proposed by Okamura and co-authors and by JSCE are more widespread due to its simplicity, presenting, however, some limitations. As a result of the assessment done, it was thought as appropriate to use the method proposed by Nepomuceno to optimize the SCC mixtures with fine recycled aggregates.

In order to study the properties of the SCC with the incorporation of recycled fine aggregates it was developed an experimental program that included, on a first phase, the production and testing of 11 binary mixtures with successively increasing percentages of fine aggregate. Subsequently, six ternary mixtures were studied for the same purpose. In binary mixtures the rate of replacement of natural fine aggregate by recycled fine aggregate varied (in increments of 5%) since the 0% on the reference mixture at up to 50%, while in ternary mixtures the rate of replacement of natural fine aggregate by recycled fine aggregate varied (in increments of 10%) since the 0% on the reference mixture at up to 50%.

This study showed that the loss of the compressive strength of mortar increases with the increase in the percentage of replacement of natural fine aggregate by recycled fine aggregate.

However, this loss is not so significant that could prevent the use of fine recycled aggregates. This leads to believe that the incorporation of the fine recycled aggregates in the SCC is feasible.

Keywords

Self-compacting Concrete, Fine recycled aggregates, Properties of fresh mortar, Properties of the hardened mortar, Construction and demolition wastes.

Índice

Capítulo 1- Introdução	29
1.1 - Enquadramento do tema	29
1.2 - Objectivos do tema proposto	32
1.3 - Organização da dissertação	33
Capítulo 2 - Desenvolvimento, Definição e Propriedades do BAC	35
2.1 - Introdução	35
2.2 - Definição	36
2.3 - Vantagens e desvantagens	37
2.3.1 - Melhoria da produtividade	37
2.3.2 - Melhoria do ambiente de trabalho	38
2.3.3 - Melhoria da homogeneidade	38
2.3.4 - Outras melhorias	38
2.3.5 - Custo	39
2.3.6 - Propriedades no estado fresco	39
2.3.7 - Maior controlo das matérias-primas	39
2.4 - Materiais constituintes do BAC	39
2.4.1 - Materiais finos	40
2.4.1.1 - Cimento	40
2.4.1.2 - Adições tipo I - adições quase inertes	41
2.4.1.3 - Adições tipo II - adições pozolânicas ou hidráulicas latentes	43
2.4.2 - Adjuvantes	47
2.4.2.1 - Superplastificantes	47
2.4.2.2 - Agentes de viscosidade	48
2.4.2.3 - Introdutores de ar	50
2.4.3 - Agregados	50
2.4.3.1 - Agregados finos	50
2.4.3.2 - Agregados grossos	51
2.4.4 - Água	51
2.5 - Propriedades do BAC no estado fresco	52
2.5.1 - Reologia	52
2.5.2 - Trabalhabilidade	53
2.5.2.1 - Capacidade de enchimento	54
2.5.2.2 - Resistência à segregação	54
2.5.2.3 - Capacidade de passagem	55
2.5.3 - Ensaio para avaliar as propriedades do BAC no estado fresco	56
2.5.3.1 - Ensaio de espalhamento (<i>Slump-flow</i>)	56

2.5.3.2 - Ensaio de fluidez (“Funil-V”)	58
2.5.3.3 - Ensaio da “Caixa” ou da “Caixa U”	59
2.5.3.4 - Ensaio da “Caixa-L”	60
2.6 - Propriedades do BAC no estado endurecido	61
2.6.1 - Resistência mecânica	62
2.6.2 - Retracção	62
2.6.3 - Durabilidade	62
2.6.4 - Módulo de elasticidade	63
2.7 - Conclusões	63
Capítulo 3 - Métodos de Dosagem Suportados Pelo Estudo da Fase Argamassa	65
3.1 - Introdução	65
3.2 - Método proposto por Okamura	65
3.2.1 - Volume de ar	67
3.2.2 - Volume de agregados grossos	67
3.2.3 - Volume de agregados finos	67
3.2.4 - Razão volumétrica água/finos e dosagem de superplastificante	68
3.3 - Método proposto pela JSEC	69
3.3.1 - Volume de agregados grossos	71
3.3.2 - Volume de água	72
3.3.3 - Razão água/finos	72
3.3.4 - Volume de finos	72
3.3.5 - Volume de ar	72
3.3.6 - Volume de agregados finos	72
3.3.7 - Dosagem de adjuvantes	73
3.4 - Método proposto por Nepomuceno	73
3.4.1 - Dados essenciais de base	75
3.4.2 - Opções de base: Materiais	75
3.4.3 - Estudos em argamassas	78
3.4.4 - Cálculo das argamassas	84
3.4.5 - Estudos em betões	87
3.5 - Conclusões	93
Capítulo 4 - Resíduos de Construção e Demolição	95
4.1 - Introdução	95
4.2 - Caracterização dos resíduos de construção e demolição	95
4.2.1 - Definição	95
4.2.2 - Consequências da geração de RCD	95
4.3 - Processamento dos RCD	96

4.3.1 - Tipos de demolição	97
4.3.2 - Centrais de reciclagem	97
4.3.3 - Regulamentação existente	99
4.3.4 - Aplicação dos RCD	101
4.3.4.1 - Argamassas	101
4.3.4.2 - Pavimentos rodoviários	102
4.3.4.3 - Sistemas de drenagem	102
4.3.4.4 - Betão	102
4.3.4.5 - Utilização de agregados reciclados grossos e finos no BAC	102
4.4 - Conclusões	105
Capítulo 5 - Descrição do Programa Experimental	107
5.1 - Introdução	107
5.2 - Caracterização dos materiais utilizados	107
5.2.1 - Ligante	107
5.2.2 - Adições	107
5.2.3 - Adjuvante	108
5.2.4 - Agregados	109
5.2.5 - Água de amassadura	110
5.3 - Fracções granulométricas dos agregados finos	110
5.4 - Associações binárias e ternárias de materiais finos	111
5.4.1 - Associações binárias de materiais finos	112
5.4.2 - Associações ternárias de materiais finos	113
5.5 - Estudo em argamassas	114
5.5.1 - Metodologia adoptada	114
5.5.2 - Procedimento de cálculo das argamassas	115
5.5.3 - Folha de cálculo EXCEL para argamassas	118
5.5.4 - Produção das argamassas	120
5.5.5 - Ensaios das argamassas no estado fresco	121
5.5.5.1 - Ensaio de espalhamento	122
5.5.5.2 - Ensaio de fluidez (“Funil-V”)	125
5.5.6 - Acerto das propriedades das argamassas	128
5.5.7 - Ensaios das argamassas no estado endurecido	132
Capítulo 6 - Apresentação e Discussão dos Resultados	139
6.1 - Introdução	139
6.2 - Caracterização dos materiais utilizados	139
6.2.1 - Ligantes	139
6.2.2 - Adições minerais	141

6.2.3 - Agregados	145
6.2.4 - Adjuvantes	148
6.3 - Curvas de referência dos agregados finos	149
6.3.1 - Misturas de referência binárias e ternárias	149
6.3.2 - Misturas com incorporação de agregados reciclados	150
6.4 - Estudos em argamassas	153
6.4.1 - Introdução	153
6.4.2 - Argamassas com associações binárias	154
6.4.3 - Argamassas com associações ternárias	162
6.4.4 - Análise comparativa entre as misturas binárias e ternárias	169
6.5 - Conclusões	173
Capítulo 7 - Conclusões Gerais e Recomendações para Trabalhos Futuros	175
7.1 - Introdução	175
7.2 - Conclusões gerais	175
7.3 - Recomendações para trabalhos futuros	176
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178
ANEXOS	185
Anexo A - Massa Específica dos Materiais Finos	187
Anexo B - Massa Volúmica dos Agregados	193
Anexo C - Absorção de Água dos Agregados	199
Anexo D - Análise Granulométrica dos Agregados	205
Anexo E - Estudo da Composição de Argamassas	211
Anexo E.1 - Composição de Argamassas - Série 1	213
Anexo E.2 - Composição de Argamassas - Série 2	227
Anexo F - Estudos Reológicos das Argamassas	235
Anexo F.1 - Reologia das Argamassas - Série 1	237
Anexo F.2 - Reologia das Argamassas - Série 2	251
Anexo G - Resistência à Compressão e Massa Volúmica das Argamassas que Cumpriram os Parâmetros Reológicos	259
Anexo G.1 - Resistência à Compressão e Massa Volúmica das Argamassas - Série 1	261
Anexo G.2 - Resistência à Compressão e Massa Volúmica das Argamassas - Série 2	275

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Formação de pontes [46]	55
Figura 2.2 - Placa base e cone de <i>Abrams</i> (em mm) [11]	57
Figura 2.3 - Dimensões do funil em V (em mm) [27]	58
Figura 2.4 - Esquema do ensaio da “Caixa-U” [67]	59
Figura 2.5 - Esquema de auto-compatibilidade da “Caixa-U” [67]	60
Figura 2.6 - Esquema de funcionamento do ensaio da “Caixa” [46]	60
Figura 2.7 - Dimensões da caixa em L (em mm) [27]	61
Figura 3.1 - Método de concepção da composição proposto por Okamura <i>et al.</i> [14]	66
Figura 3.2 - Método proposto pela JSCE [45]	69
Figura 3.3 - Método de concepção da composição proposto por Nepomuceno [46]	74
Figura 3.4 - Curva de referência dos agregados finos [46]	76
Figura 3.5 - Curva de referência dos agregados grossos [46]	77
Figura 3.6 - Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C [46]	78
Figura 3.7 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário [46]	79
Figura 3.8 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e fíler granítico [46]	79
Figura 3.9 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes [46]	80
Figura 3.10 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L 32,5N e fíler calcário [46]	80
Figura 3.11 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L 32,5N e fíler granítico [46]	81
Figura 3.12 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L 32,5N e cinzas volantes [46]	81
Figura 3.13 - Relação V_p/V_s vs V_w/V_p para as famílias com CEM II/B-L 32,5N [46]	82
Figura 3.14 - Relação V_p/V_s vs V_w/V_p para as famílias com CEM I 42,5R [46]	82
Figura 3.15 - Relação V_p/V_s vs $Sp/p\%$ para as famílias com CEM II/B-L 32,5N [46]	83
Figura 3.16 - Relação V_w/V_p vs $Sp/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R [46]	83
Figura 3.17 - Relação entre MN e H2/H1 quando D_m varia entre os 630 e 670 mm [46]	88
Figura 3.18 - Modelo matemático para a auto-compactabilidade - “Caixa-L” [46]	88
Figura 5.1 - Imagem da zona de carga da fábrica da OMYA COMITAL em Soure [46]	108
Figura 5.2 - Da esquerda para a direita Areias Recicladas, Areias 0/4, Areia 0/2	110
Figura 5.3 - Curva de referência dos agregados finos proposta por Nepomuceno [46]	111
Figura 5.4 - Sequência de amassadura adoptada neste trabalho [46]	120
Figura 5.5 - Misturadora de argamassas adoptada neste trabalho	121
Figura 5.6 - Dimensões do cone de espalhamento em argamassas [46]	122
Figura 5.7 - Fase 1 do ensaio de espalhamento - enchimento do tronco cónico [46]	123
Figura 5.8 - Fase 2 do ensaio de espalhamento - tronco cónico levantado [46]	123
Figura 5.9 - Fase 3 do ensaio de espalhamento - diâmetro máximo de espalhamento	124

Figura 5.10 - Fase 4 do ensaio de espalhamento - medição de diâmetro	124
Figura 5.11 - Dimensões do “Funil-V” para o ensaio de fluidez em argamassas [46]	126
Figura 5.12 - Enchimento do “Funil-V”	126
Figura 5.13 - Escoamento da argamassa no “Funil-V”	127
Figura 5.14 - Pormenor da comporta do “Funil-V”	127
Figura 5.15 - Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adoptados [46]	129
Figura 5.16 - Comportamento reológico das argamassas para $S_p/p\%$ constante [68]	129
Figura 5.17 - Comportamento reológico das argamassas para V_w/V_p constante [68]	130
Figura 5.18 - Modificações na reologia com aumento de V_w/V_p mantendo $S_p/p\%$ constante [46]	130
Figura 5.19 - Modificações na reologia com aumento de $S_p/p\%$ mantendo V_w/V_p constante [46]	131
Figura 5.20 - Alterações na reologia com aumento de V_w/V_p e $S_p/p\%$	132
Figura 5.21 - Enchimento do molde de amostragem	133
Figura 5.22 - Identificação dos provetes	133
Figura 5.23 - Provetes dentro da câmara de cura	134
Figura 5.24 - Temperatura e humidade da câmara de cura	134
Figura 5.25 - Divisão dos provetes	135
Figura 5.26 - Polimento dos provetes	135
Figura 5.27 - Prensa usada para os ensaios à compressão	136
Figura 5.28 - Ensaio à compressão das argamassas	136
Figura 5.29 - Pormenor de ensaio à compressão das argamassas	137
Figura 5.30 - Geometria de rotura dos provetes após o ensaio à compressão	137
Figura 5.31 - Amostragem de vários provetes submetidos à compressão	138
Figura 6.1 - Diagrama cumulativo da fracção volumétrica (COULTER LS200)	142
Figura 6.2 - Diagrama diferencial da fracção volumétrica (COULTER LS200)	143
Figura 6.3 - Curvas granulométricas dos agregados	148
Figura 6.4 - Curvas granulométricas das misturas de agregados finos (real e de referência)	150
Figura 6.5 - Substituição de areia natural por 5% de Areia Reciclada	152
Figura 6.6 - Substituição de areia natural por 25% de Areia Reciclada	152
Figura 6.7 - Substituição de areia natural por 50% de Areia Reciclada	153
Figura 6.8 - Parâmetros reológicos da argamassa de referência da Série 1	154
Figura 6.9 - Dosagem de água por metro cúbico de argamassa - Série 1	157
Figura 6.10 - Dosagem de superplastificante por metro cúbico de argamassa - Série 1	157
Figura 6.11 - Resistência à compressão das argamassas (Misturas binárias) - Série 1	159
Figura 6.12 - Teor em água superficial dos agregados antes da amassadura	160
Figura 6.13 - Massas volúmicas das argamassas (Misturas binárias) - Série 1	161
Figura 6.14 - Dosagem de água por metro cúbico	165

Figura 6.15 - Dosagem de superplastificante por metro cúbico	165
Figura 6.16 - Volume de água em percentagem do volume de finos	166
Figura 6.17 - Volume de superplastificante em percentagem da massa de materiais finos	167
Figura 6.18 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (misturas ternárias) - Série 2	168
Figura 6.19 - Massas volúmicas das argamassas (Misturas ternárias) - Série 2	169
Figura 6.20 - Comparação da dosagem de água por metro cúbico	170
Figura 6.21 - Comparação da dosagem de superplastificante por metro cúbico	170
Figura 6.22 - Comparação da resistência à compressão entre misturas binária e ternária	171
Figura 6.23 - Comparação da massa volúmica obtida nas misturas binárias e ternárias	172
ANEXOS	185
Figura A.1 - Massa específica do cimento Portland CEM I 42,5R	189
Figura A.2 - Massa específica do fíler calcário - Betocarb P1 - OU	190
Figura A.3 - Massa específica das cinzas volantes	191
Figura B.1 - Massa volúmica da Areia 0/2	195
Figura B.2 - Massa volúmica da Areia 0/4	196
Figura B.3 - Massa volúmica da Areia Reciclada	197
Figura C.1 - Absorção de água da Areia 0/2	201
Figura C.2 - Absorção de água da Areia 0/4	202
Figura C.3 - Absorção de água da Areia Reciclada	203
Figura D.1 - Análise granulométrica da Areia 0/2	207
Figura D.2 - Análise granulométrica da Areia 0/4	208
Figura D.3 - Análise granulométrica da Areia Reciclada	209
Figura F.1.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	239
Figura F.1.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80	240
Figura F.1.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80	241
Figura F.1.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80	242
Figura F.1.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80	243
Figura F.1.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80	244
Figura F.1.7 - Estudos reológicos da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80	245
Figura F.1.8 - Estudos reológicos da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80	246
Figura F.1.9 - Estudos reológicos da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80	247
Figura F.1.10 - Estudos reológicos da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80	248
Figura F.1.11 - Estudos reológicos da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80	249
Figura F.2.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80	253
Figura F.2.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	254
Figura F.2.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	255
Figura F.2.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	256

Figura F.2.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	257
Figura F.2.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	258

Índice de Quadros

Quadro 3.1 - Requisitos funcionais e de auto-compactabilidade [45]	70
Quadro 3.2 - Síntese do método proposto pela JSCE [13, 45]	71
Quadro 3.3 - Curva de referência dos agregados finos [46]	76
Quadro 3.4 - Curva de referência dos agregados grossos [46]	77
Quadro 4.1 - Composição dos agregados reciclados [32]	100
Quadro 4.2 - Requisitos dos agregados [32]	100
Quadro 4.3 - Classes de resistência e de exposição ambiental permitidas [32]	101
Quadro 5.1 - Argamassas com associações binárias de materiais finos (Série 1)	113
Quadro 5.2 - Argamassas com misturas ternárias de materiais finos (Série 2)	114
Quadro 5.3 - Exemplo de folha de cálculo EXCEL desenvolvida por Nepomuceno para argamassas	119
Quadro 5.4 - Correções da amassadura em função do teor em água superficial dos agregados finos	120
Quadro 5.5 - Parâmetros reológicos Gm e Rm das misturas	131
Quadro 6.1 - Massa volúmica do ligante CEM I 42,5R	139
Quadro 6.2 - Ensaio mecânicos do ligante CEM I 42,5R	140
Quadro 6.3 - Ensaio físicos do ligante CEM I 42,5R	140
Quadro 6.4 - Análise química do ligante CEM I 42,5R	141
Quadro 6.5 - Massa volúmica das adições minerais	141
Quadro 6.6 - Parâmetros físicos das adições medidos no COULTER LS200	142
Quadro 6.7 - Características químicas das cinzas volantes	143
Quadro 6.8 - Características químicas do filer calcário	144
Quadro 6.9 - Características físicas do filer calcário	144
Quadro 6.10 - Características físicas das cinzas volantes	144
Quadro 6.11 - Massas volúmicas dos agregados finos	145
Quadro 6.12 - Absorção de água dos agregados	145
Quadro 6.13 - Análise granulométrica da Areia 0/2	146
Quadro 6.14 - Análise granulométrica da Areia 0/4	146
Quadro 6.15 - Análise granulométrica da Areia Reciclada	147
Quadro 6.16 - Análise granulométrica dos agregados	147
Quadro 6.17 - Características do superplastificante	148
Quadro 6.18 - Mistura da curva real e de referência dos agregados finos	149
Quadro 6.19 - Substituição de areia natural por 5% de Areia Reciclada	151
Quadro 6.20 - Substituição de areia natural por 25% de Areia Reciclada	151
Quadro 6.21 - Substituição de areia natural por 50% de Areia Reciclada	151
Quadro 6.22 - Parâmetros reológicos da argamassa de referência da Série 1	154
Quadro 6.23 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa de referência - Série 1	155

Quadro 6.24 - Síntese dos resultados obtidos nas misturas binárias das argamassas	156
Quadro 6.25 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (misturas binárias) - Série 1	159
Quadro 6.26 - Massas volúmicas das argamassas (misturas binárias) - Série 1	161
Quadro 6.27 - Síntese dos resultados obtidos nas misturas ternárias das argamassas	164
Quadro 6.28 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (misturas ternárias) - Série 2	167
Quadro 6.29 - Massas volúmicas das argamassas (Misturas ternárias) - Série 2	168
ANEXOS	185
Quadro E.1.1 - Composição da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4 - Alvo	215
Quadro E.1.2 - Composição da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80.6 - Alvo	216
Quadro E.1.3 - Composição da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80.1 - Alvo	217
Quadro E.1.4 - Composição da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo	218
Quadro E.1.5 - Composição da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo	219
Quadro E.1.6 - Composição da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo	220
Quadro E.1.7 - Composição da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80.2 - Alvo	221
Quadro E.1.8 - Composição da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80.1 - Alvo	222
Quadro E.1.9 - Composição da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo	223
Quadro E.1.10 - Composição da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80.2 - Alvo	224
Quadro E.1.11 - Composição da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo	225
Quadro E.2.1 - Composição da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.7 - Alvo	229
Quadro E.2.2 - Composição da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2 - Alvo	230
Quadro E.2.3 - Composição da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1 - Alvo	231
Quadro E.2.4 - Composição da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2 - Alvo	232
Quadro E.2.5 - Composição da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3 - Alvo	233
Quadro E.2.6 - Composição da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1 - Alvo	234
Quadro F.1.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	239
Quadro F.1.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80	240
Quadro F.1.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80	241
Quadro F.1.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80	242
Quadro F.1.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80	243
Quadro F.1.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80	244
Quadro F.1.7 - Estudos reológicos da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80	245
Quadro F.1.8 - Estudos reológicos da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80	246
Quadro F.1.9 - Estudos reológicos da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80	247
Quadro F.1.10 - Estudos reológicos da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80	248
Quadro F.1.11 - Estudos reológicos da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80	249
Quadro F.2.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80	253

Quadro F.2.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	254
Quadro F.2.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	255
Quadro F.2.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	256
Quadro F.2.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	257
Quadro F.2.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	258
Quadro G.1.1 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	263
Quadro G.1.2 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	263
Quadro G.1.3 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80 (5%)	264
Quadro G.1.4 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80 (5%)	264
Quadro G.1.5 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80 (10%)	265
Quadro G.1.6 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80 (10%)	265
Quadro G.1.7 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80 (15%)	266
Quadro G.1.8 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80 (15%)	266
Quadro G.1.9 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80 (20%)	267
Quadro G.1.10 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80 (20%)	267
Quadro G.1.11 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80 (25%)	268
Quadro G.1.12 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80 (25%)	268
Quadro G.1.13 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80 (30%)	269
Quadro G.1.14 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80 (30%)	269
Quadro G.1.15 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80 (35%)	270
Quadro G.1.16 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80 (35%)	270
Quadro G.1.17 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80 (40%)	271
Quadro G.1.18 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80 (40%)	271
Quadro G.1.19 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80 (45%)	272
Quadro G.1.20 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80 (45%)	272
Quadro G.1.21 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80 (50%)	273
Quadro G.1.22 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80 (50%)	273
Quadro G.2.1 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa	277

1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80	
Quadro G.2.2 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80	277
Quadro G.2.3 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (10%)	278
Quadro G.2.4 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (10%)	278
Quadro G.2.5 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (20%)	279
Quadro G.2.6 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (20%)	279
Quadro G.2.7 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (30%)	280
Quadro G.2.8 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (30%)	280
Quadro G.2.9 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (40%)	281
Quadro G.2.10 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (40%)	281
Quadro G.2.11 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (50%)	282
Quadro G.2.12 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (50%)	282

Siglas

ACI	American Concrete Institute, Detroit (USA).
AFGC	Association Française de Génie Civil.
AIJ	Architectural Institute of Japan.
BAC	Betão Auto-Compactável.
ARC	Agregados Reciclados Compostos
BET	Brunauer, Emett e Taylor.
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
IPQ	Instituto Português da Qualidade.
IST	Instituto Superior Técnico.
JSCE	Japan Society of Civil Engineers.
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes (France).
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal).
NP	Norma Portuguesa.
RAC	Reacção Química Álcalis-sílica.
RCD	Resíduos de Construção e Demolição.
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les constructions, Paris (France).
UBI	Universidade da Beira Interior.
VMA	Viscosity Modifying Admixtures

Simbologia

τ	Tensão de corte, em Pa
τ_0	Tensão inicial de corte, em Pa
μ	Viscosidade plástica
a_1	Percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/2
a_2	Percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/4
a_3	Percentagem unitária em volume absoluto da Areia Reciclada
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
C ₂ S	Silicato bi-cálcico
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₃ S	Silicato tricálcico
C ₄ AF	Alumino ferrato tetracálcico
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
D ₀	Diâmetro inicial na base do cone, em mm
D _m	Diâmetro médio de espalhamento, em mm
f_{Ad}	Percentagem unitária da adição no volume absoluto do total de materiais finos da mistura (V _p) (ou percentagem unitária de substituição do cimento pela adição)
f_{c1}	Percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo I 42,4R
f_{c2}	Percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo II/B-L32,5N
$f_{cm, 28}$	28 dias de idade
f_{cv}	Percentagem unitária em volume absoluto das cinzas volantes
f_{fc}	Percentagem unitária em volume absoluto do fíler calcário
f_{fg}	Percentagem unitária em volume absoluto de fíler granítico
f_{ms}	Percentagem unitária em volume absoluto da microssílica
g	Aceleração da gravidade
g_1	Percentagem unitária em volume absoluto da Brita 3/6
g_2	Percentagem unitária em volume absoluto da Brita 6/15
g_3	Percentagem unitária em volume absoluto da Brita 15/25
G _m	Área de espalhamento relativa
H	Altura atingida pela coluna de betão nos ensaios da “Caixa” e “Caixa-U”, em mm
H ₁	Altura do betão na coluna vertical da “Caixa-L”, em mm
H ₂	Altura do betão na extremidade da “Caixa-L”, em mm
H ₂ /H ₁	Razão entre a altura do betão na extremidade da “Caixa-L” (H ₂) e na coluna vertical (H ₁), em mm

Ksf	Porcentagem unitária do volume de material fino presente na unidade de volume de agregado fino
M	Densidade, em kg/m ³
MN	Produto do parâmetro (Vp/Vs) pelo parâmetro (Vm/Vg)
Rm	Velocidade relativa de escoamento, em s ⁻¹
SiO ₂	Sílica
Sl	Diâmetro médio de espalhamento, em mm
Sp	Volume de superplastificante na mistura, em l/m ³
Sp/p%	Razão percentual em massa entre as quantidades totais de superplastificante e de materiais finos na mistura
t	Tempo de escoamento, em segundos
T50	Tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 50 cm no ensaio de espalhamento do betão, em segundos
t ₅₀₀	Tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 500 mm, em segundos
VC1	Volume absoluto de cimento tipo I 42,5R, em m ³ /m ³
VC2	Volume absoluto de cimento tipo II/B-L32,5N, em m ³ /m ³
VCV	Volume absoluto de cinzas volantes, em m ³ /m ³
VFC	Volume absoluto de fíler calcário, em m ³ /m ³
VFG	Volume absoluto de fíler granítico, em m ³ /m ³
Vg	Volume absoluto de agregados grossos na mistura, em m ³ /m ³
Vg, lim	Volume aparente de agregado grosso compactado, em m ³ /m ³
V _{g1}	Volume do agregado grosso 1 (Brita 3/6), em m ³ /m ³
V _{g2}	Volume do agregado grosso 2 (Brita 6/15), em m ³ /m ³
V _{g3}	Volume do agregado grosso 3 (Brita 15/25), em m ³ /m ³
Vm	Volume absoluto da argamassa da mistura, em m ³ /m ³
Vm/Vg	Razão em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos na mistura
VMS	Volume absoluto de microssílica, em m ³ /m ³
Vp	Volume absoluto de material fino da mistura, em m ³ /m ³
Vp/Vs	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de materiais finos e de agregados finos na mistura
Vs	Volume absoluto de agregados finos da mistura, em m ³ /m ³
vs	Versus
V _{s1}	Volume absoluto do agregado fino 1 (Areia 0/2), em m ³ /m ³
V _{s2}	Volume absoluto do agregado fino 2 (Areia 0/4), em m ³ /m ³
V _{s3}	Volume absoluto do agregado fino 3 (Areia Reciclada), em m ³ /m ³
Vsp	Volume de superplastificante da mistura, em m ³ /m ³
Vsp/Vp	Razão em volume absoluto entre as quantidades de superplastificante e de materiais finos na mistura

V _v	Volume de vazios da mistura, em m ³ /m ³
V _w	Volume de água da mistura, em m ³ /m ³
V _w /V _p	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de água e de materiais finos na mistura
W/C	Razão em massa entre as quantidades de água e de cimento da mistura

Capítulo 1- Introdução

1.1 - Enquadramento do tema

Vivemos numa era de globalização e de desenvolvimento tecnológico, pelo que a indústria da construção civil caminha para mecanização dos meios de construção, tendo como consequência uma redução gradual da mão-de-obra. A par deste desenvolvimento tecnológico, é cada vez mais notável a preocupação crescente com o meio ambiente e com a escassez de recursos naturais, pelo que a busca de alternativas sustentáveis de crescimento por parte de todos os segmentos da sociedade tem vindo também a crescer. Nesta perspectiva, para a sociedade atingir a sustentabilidade é necessário que a indústria da construção civil passe também por profundas transformações, já que a sua cadeia produtiva apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo produtivo: extracção da matéria-prima, produção de materiais, construção e demolição.

O material de construção mais utilizado, não só nos países industrializados, mas também, nos Países em vias de desenvolvimento é o betão. Isto deve-se provavelmente ao facto deste ser produzido de modo relativamente acessível a partir das matérias-primas locais, mas também por a sua aplicação ser muito versátil.

Um dos maiores impactos ocasionados pela indústria de construção civil é a formação dos resíduos de construção e demolição (RCD). Motivados pela consciencialização ambiental e pela redução de custos, têm sido desenvolvidos programas de gestão da qualidade e gestão ambiental, a fim de diminuir a geração de resíduos e reaproveitá-los no sector.

No contexto nacional actual e internacional os RCD como anteriormente referido, têm grande impacto no meio ambiente, devido à sua deposição em áreas livres impróprias, causando efeitos nefastos na saúde através da multiplicação de doenças, e efeitos no ambiente, tais como: alteração da paisagem, dificuldades impostas ao tráfego de pedestres e veículos, poluição, comprometimento da drenagem urbana, assoreamento de recursos hídricos.

Assim, a estratégia de gestão dos resíduos deve privilegiar a sua recuperação, através de soluções de valorização. Neste sentido, como forma de diminuir os impactos gerados pelo RCD, a transformação destes através da reciclagem, surge como alternativa de matéria-prima. Assim, constitui-se uma solução para os resíduos de obra.

Uma das exigências para a durabilidade do betão é que a sua colocação seja executada por mão-de-obra especializada. No entanto, a mão-de-obra pouco qualificada é corrente na construção. Foi neste contexto que na década de 80 o Japão teve necessidade de desenvolver um betão com determinadas características, capaz de fluir no interior da armadura, e preencher de forma

natural o seu volume, consolidando-se sob a acção do seu próprio peso, sem compactação. Este pressuposto deu origem ao betão auto-compactável (BAC) [65]. Este novo material não necessita de vibração e, em certos casos, a resistência deixa de ser utilizada como indicador da qualidade passando a ser a trabalhabilidade (auto-compactável) o aspecto mais relevante.

O BAC apresenta vantagens quando comparado com o betão corrente, tais como: melhoria em termos ambientais devido à ausência de ruídos e vibrações durante a betonagem, facilidade de colocação em zonas de difícil acesso, redução do tempo de construção, redução da mão-de-obra envolvida nos trabalhos de betonagem, melhoria da qualidade dos acabamentos das peças de betão, maior liberdade na concepção estrutural e artística das estruturas de betão [8].

Nos anos 90, foram efectuados vários estudos envolvendo algumas universidades do Japão, grandes empresas de construção e produtores de materiais. O resultado foi conhecido em 1997 pelo AIJ (*Architectural Institute of Japan*), o qual definiu as recomendações para o cálculo e práticas de construção de betões altamente fluidos. Um ano depois a Sociedade Japonesa de Engenharia Civil (JSCE) publicou as recomendações para a construção com BACs [46].

Em 1998, a associação japonesa da indústria de betão pronto publicou um manual para a produção de BAC. Estudos sobre este betão têm sido também desenvolvidos em vários países e na última década, o BAC é considerado na Europa como uma técnica promissora sendo aplicado em algumas estruturas.

Apesar das vantagens já mencionadas, em Portugal tem havido ainda alguma resistência à implementação do BAC como alternativa ao betão convencional vibrado, continua a ser encarado por muitos como um betão especial para soluções especiais, mais do que, como um betão corrente para obras correntes. Isto devido a aspectos económicos, uma vez que o custo de produção deste tipo de betões é superior aos betões correntes [34]. Outro aspecto pode estar relacionado com o facto de ser difícil de conceber e controlar, devido à necessidade de se encontrar um equilíbrio entre as suas diferentes propriedades que dependem de distintos mecanismos [46].

Os materiais constituintes utilizados para produzir betões correntes vibrados e todas as recomendações quanto à conformidade desses materiais podem ser aplicadas ao BAC. No entanto, a especificidade deste tipo de betão tem movido a vários estudos para aprimorar alguns dos materiais constituintes. Em particular o cimento, cuja interacção química entre os seus componentes e o superplastificante desempenha um papel importante na dispersão das partículas, enquanto a distribuição granulométrica das partículas de cimento e a sua forma podem influenciar o comportamento reológico da pasta [45].

Um dos critérios *in loco* para se obter um BAC é a utilização de uma dosagem elevada de materiais finos. A utilização de cimento como único material fino implica o uso de dosagens muito elevadas deste material, tendo como consequência um elevado custo na produção do

betão. Neste sentido, têm sido utilizadas adições (que podem ser ou não pozolânicas), no intuito de substituir parte do cimento.

Em combinações binárias (dois tipos de materiais finos) têm ocorrido normalmente associações de cimento com adições provenientes de desperdícios industriais [34]. As adições do tipo I que mais têm sido utilizadas no fabrico de BAC são constituídas por fíler calcário. As adições do tipo II incluem as escórias granuladas de alto-forno de elevada finura, as cinzas volantes, a sílica de fumo (microssílica) e os resíduos reactivos oriundos da indústria do vidro e da indústria mineira. O fíler calcário e as cinzas volantes têm sido utilizados com sucesso em substituição parcial do cimento, demonstrando melhorias ao nível das propriedades reológicas e na redução das dosagens de superplastificante.

Para o cálculo de BAC têm sido propostos vários métodos, sendo os métodos de Okamura e da JSCE alguns dos mais divulgados a nível internacional. Em Portugal, o método de Nepomuceno tem sido utilizado em inúmeros trabalhos de investigação e tem-se revelado eficaz.

O aparecimento do método proposto por Okamura e seus colaboradores [13, 45, 63, 68], conhecido como método de Okamura ou método geral, constituiu um passo muito significativo para a tecnologia do betão. Este método foi direccionado apenas para os betões onde a adequada viscosidade é conseguida mediante a utilização de grande quantidade de materiais finos. Pela sua grande simplicidade de procedimentos, este método permite dosear de forma expedita os componentes do betão de modo a obter a necessária auto-compactabilidade. É considerado por muitos como um método conservador, por conduzir a betões com elevados volumes de pasta em comparação com uma mistura otimizada e, não permitir controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão dos betões na fase de estudo da mistura [46]. Mais tarde, a JSCE publicou algumas recomendações sobre composição do BAC, com agentes de viscosidade, e incluiu a possibilidade de adequação das misturas a diferentes níveis de restrição na passagem pelas armaduras, mediante o conhecimento do espaço entre varões e da taxa de armaduras [13, 45]. No entanto, os métodos de cálculo supracitados têm prestado menor atenção à modelação do betão com vista à obtenção de determinado valor médio da resistência à compressão. Daí a necessidade de desenvolverem-se modelos que permitam a introdução de parâmetros que facilitem a obtenção da adequada resistência à compressão [46].

Na tentativa de optimização das misturas, redução das dosagens de pasta e custos na produção do BAC, foram desenvolvidos outros estudos. Os métodos propostos variam desde os mais simples até aos mais complicados modelos de previsão do comportamento do betão no estado fresco. Em Portugal, Nepomuceno [46] apresentou uma nova metodologia para o estudo da composição de BAC, baseado no método geral. Este método permite optimizar a composição do BAC, estabelecendo relações entre os parâmetros de cálculo da mistura, a auto-compactabilidade (avaliada pelos ensaios de espalhamento, de fluidez e da “Caixa-L”) e a resistência à compressão do BAC. A vantagem mais significativa deste resulta de permitir conciliar a necessária resistência

com as adequadas propriedades reológicas e de auto-compactabilidade dos betões no estado fresco, para vários materiais, baseando-se em procedimentos simples e repetíveis [46].

No intuito, de otimizar a composição do BAC, de forma a reduzir os custos e aproveitar subprodutos industriais *in loco* que por não terem aplicação prevista são despejados em aterros e causam impacto ambiental negativo, são cada vez mais valoradas as estratégias de gestão dos resíduos. Estas passam por planos de recuperação e de soluções de valorização, daí que, sua aplicação passe pelo reconhecimento da sua eficiência como material reciclado nas misturas de BAC.

Existem alguns estudos e especificações para a utilização de agregados grossos reciclados [94, 75, 76, 25], no entanto, existem poucas referências ou indicações técnicas sobre o que fazer com os agregados finos reciclados.

Alguns autores referem que, os agregados finos reciclados obtidos de forma convencional têm mais impurezas reduzindo a performance do betão. Sendo, esta é uma das principais razões pela qual a utilização de agregados finos reciclados é geralmente vetada nos documentos normativos existentes [28].

No entanto, os estudos de Cabral [7] revelam que, o uso dos agregados reciclados na produção de BAC parece promitente, pois a elevada quantidade de finos presentes nos agregados reciclados pode ajudar na resistência à segregação. Porém, a elevada absorção dos agregados reciclados é um obstáculo, uma vez que estes podem absorver a água da mistura, modificando as propriedades do BAC [7].

Da pesquisa bibliográfica requerida, verificaram-se algumas lacunas nomeadamente na existência de um procedimento para a obtenção de um BAC com agregados finos reciclados. É precisamente este entendimento que está na origem do presente trabalho.

Em 2010 Rangel [76] realizou um estudo, no qual avaliou as propriedades do BAC, com incorporação de agregados grossos reciclados. Dando continuidade ao estudo supracitado, o presente trabalho pretende avaliar a utilização da parcela reciclada que sobrou do estudo de Rangel, nomeadamente os agregados finos reciclados, que incluem também uma parcela significativa de materiais finos.

1.2 - Objectivos do tema proposto

O presente estudo teve por objectivo analisar experimentalmente o comportamento do BAC quando se substitui parcialmente o agregado fino natural por agregado fino reciclado. Esse estudo experimental foi realizado em argamassas e não em BACs pelas razões que a seguir se

apresentam, também genericamente referidas por Domone [14] em investigações similares, nomeadamente:

- O BAC tem um conteúdo reduzido de agregados grossos comparativamente a um betão normal (tipicamente entre 31% a 35% em volume) e, em consequência, as propriedades das argamassas são dominantes no comportamento do betão;
- Existe já um consenso geral sobre as propriedades exigidas à fase argamassa para se obter um BAC;
- A caracterização das propriedades das argamassas são parte integrante de muitos estudos de composição do BAC e, por isso, o conhecimento das propriedades das argamassas é por si só muito útil;
- O ensaio das argamassas é muito mais conveniente do que o ensaio de betões, não só pelas quantidades envolvidas nas amassaduras, mas também porque possibilita a realização de um maior número de ensaios.

A satisfação dos objectivos acima referidos é condição *sin qua non* através do seguinte conjunto de etapas: uma revisão do estado actual do conhecimento sobre a incorporação de agregados reciclados no BAC; a utilização do método proposto por Nepomuceno para efectuar o acerto da fase argamassa com diferentes percentagens de substituição do agregado natural por agregado fino reciclado e, por último, a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

1.3 - Organização da dissertação

O presente estudo encontra-se estruturado em 7 capítulos, incluindo esta introdução, os quais se organizam do seguinte modo:

O Capítulo 2 apresenta um levantamento do estado da arte, incluindo vantagens e desvantagens do BAC; materiais constituintes; as propriedades do BAC no estado fresco e endurecido; ensaios para avaliar as propriedades do BAC no estado fresco e endurecido.

No Capítulo 3 descrevem-se três métodos de referência de composição do BAC, nomeadamente, o método Okamura *et al.*, o método de JSCE e o método de Nepomuceno.

O Capítulo 4 diz respeito a uma pesquisa bibliográfica sobre os resíduos de construção e demolição e sua reutilização.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia adoptada na fase experimental do presente estudo, fazendo-se referência aos métodos de cálculo, bem como à descrição pormenorizada dos ensaios dos agregados, argamassa no estado fresco e no estado endurecido.

No Capítulo 6 apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos durante a campanha experimental, *sine qua non* aferindo a variação de desempenho das argamassas com o aumento da incorporação de agregados finos reciclados.

No Capítulo 7 apresentam-se as conclusões do estudo realizado e algumas propostas para trabalhos futuros.

Por último, apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos referenciados ao longo do texto.

Capítulo 2 - Desenvolvimento, Definição e Propriedades do BAC

2.1 - Introdução

Actualmente vivemos numa era de globalização e de grande desenvolvimento tecnológico, pelo que a indústria da construção está cada vez mais mecanizada, mais rápida e menos dispendiosa, conduzindo a um decréscimo na mão-de-obra especializada.

A composição do betão convencional vibrado é actualmente estudada e controlada com grande rigor, exigindo mão-de-obra especializada, nomeadamente nos trabalhos de compactação, sob pena de se prejudicarem as propriedades mecânicas e de durabilidade das estruturas. Foi precisamente a redução da mão-de-obra especializada e o conseqüente decréscimo na qualidade da construção, que em 1983, no Japão, a durabilidade das estruturas de betão passou a ser um assunto de grande interesse [65].

Em 1986, o professor Hajime Okamura [65] iniciou estudos preliminares com o objectivo de conceber um betão que não exigisse trabalhos de compactação e que, desta forma, pudesse garantir a durabilidade das estruturas sem necessidade de mão-de-obra especializada para esses trabalhos. Em 1988, Okamura e Ozawa [95] apresentaram o primeiro protótipo para a auto-compactabilidade dos betões. Segundo estes investigadores era necessário uma baixa relação água/(materiais finos) para se alcançar a adequada viscosidade e o uso de superplastificantes para controlar a tensão inicial de corte. Por outro lado, era necessário limitar o teor de agregado grosso e aumentar o teor de pasta para prevenir tensões internas elevadas entre partículas, evitando assim o congestionamento dos agregados e permitindo que o betão flua através de obstáculos sem segregação.

Segundo os autores, o BAC então desenvolvido apresentou um desempenho satisfatório, tendo em consideração a retracção de secagem, a retracção autogénea, o calor de hidratação, a massa volúmica e outras propriedades [95].

Em 1992, na *CANMET & ACI International Conference*, realizada na cidade de Istambul, Ozawa [63], através da sua apresentação, divulgou o conceito do BAC de forma mais abrangente. O BAC passou então a ser definido como um betão capaz de se auto-compactar por acção da gravidade, preenchendo todos os espaços da cofragem, apenas através do seu próprio peso e sem necessidade de compactação através de meios externos de vibração, como necessita o betão corrente.

Nos últimos 20 anos, o desenvolvimento e estudo do BAC conduziu à sua ampla utilização. A principal preocupação diz respeito ao aperfeiçoamento das suas características mecânicas e, nas últimas décadas, os aspectos relacionados com a sua durabilidade [55]. A aplicação do BAC, tem sido frequente em vários Países, tais como, o Japão, a Suécia, a Holanda, o Dubai, entre outros. Já em Portugal, a utilização do BAC *per si* não é muito significativa, apesar de se desenvolverem estudos em várias universidades do País. Em Portugal, este tipo de betão já foi aplicado na reparação e reforço de estruturas, mas continua a ser visto como um betão especial para situações especiais e não como um betão corrente [46].

2.2 - Definição

Antes do aparecimento do BAC, alguns betões não necessitavam de consolidação externa para obter a necessária compacidade. Apesar disso, não foram designados auto-compactáveis. Nas recomendações incluídas no documento técnico emitido pela AFGC (*Betons Auto-Plaçants: Recommendations Provisoires*) em 2000 são excluídos os betões com elevado abaixamento no cone de Abrams, convencionalmente usados sem vibração, tais como os betões para pilares (estacas) e paredes diafragma, betões imersos, ou betões de enchimento [46].

Existem várias definições para o BAC, mas os princípios base são os mesmos. Segundo Nepomuceno [46], a auto-compactabilidade do betão fresco, é a capacidade que este possui de preencher cofragens e envolver os varões das armaduras pela acção da gravidade e sem perda de homogeneidade. Para o betão ter esta capacidade, deve ser dotado de propriedades reológicas e trabalhabilidade adequadas, uma vez que, durante a betonagem não está sujeito a vibração. Deve ser resistente à ocorrência de segregação, de que são exemplos a exsudação e o assentamento das partículas mais grossas (sedimentação). No BAC é possível ocorrer um volume de ar residual, tal como ocorre no betão corrente, ou pode-se aumentar o teor de ar artificialmente para, por exemplo, aumentar a sua resistência à acção de gelo e degelo [62].

Avery [4], corrobora com os autores supracitados, ao mencionar que a aplicação do BAC não necessita de compactação externa, uma vez que este tem a capacidade de preencher totalmente as cofragens, não deixa espaços vazios, não ocorrem fenómenos de segregação durante a sua aplicação e o tempo em que permanece fluído. Este desempenho consegue-se pelas características de fluidez e de deformabilidade da pasta, as quais resultam da optimização das quantidades da mistura e da incorporação de adições e adjuvantes que incitam a fluidez, evitando fenómenos de segregação e exsudação [4].

Também Silva [86] vai de encontro com as definições anteriores, ao referir que a optimização da mistura é conseguida essencialmente através de alterações nas quantidades de agregados, na incorporação de superplastificantes de modo a proporcionar elevada fluidez à mistura, na

otimização da quantidade e proporção entre os vários agregados, no ajuste da fluidez e da viscosidade evitando a ocorrência de segregação de ambos, mantendo assim as propriedades do BAC durante a fase de colocação, até ao endurecimento deste. É de salientar que a otimização da mistura de agregado deve ser cuidadosamente estudada, caso contrário esta pode impossibilitar a obtenção de um BAC. Assim, existem vários métodos que através de um conjunto de ensaios, tanto no estado fresco como no estado endurecido, possibilitam essas otimizações, as quais irão ser abordados posteriormente [86].

A NP EN 206-9, publicada em 2010, consolida as definições dos autores supracitados, define que o BAC é capaz de escoar e compactar apenas sob acção do seu próprio peso, encher a cofragem com as suas armaduras, tubos, negativos, etc., conservando a sua homogeneidade [49].

2.3 - Vantagens e desvantagens

A aplicação do BAC em estruturas tem vindo a aumentar, uma vez que este proporciona uma maior durabilidade e diminui a necessidade de manutenção das cofragens, possibilitando deste modo a realização de estruturas de elevada qualidade. Neste sentido, o BAC apresenta vantagens em relação ao betão convencional, tais como [63, 61, 55]:

- a) Melhoria da produtividade, uma vez que a sua aplicação é simples e rápida, reduzindo o tempo de construção, a mão-de-obra e por sua vez os custos com esta, o que pode contrabalançar os acréscimos induzidos pelos materiais utilizados;
- b) Melhoria do ambiente de trabalho, através da redução do ruído e esforço físico implicado na vibração;
- c) Melhoria da homogeneidade, permitindo a obtenção de estruturas mais homogéneas, aumentando a qualidade e durabilidade do betão;
- d) Outras melhorias dizem respeito à aplicação do BAC em situações onde o acesso de equipamentos de vibração é difícil, para além da possibilidade de executar estruturas com geometrias mais complexas e com alta densidade de armaduras.

2.3.1 - Melhoria da produtividade

O uso de BAC permite aumentar a velocidade de construção, reduzir os custos e, melhorar a produtividade [87]. A sua fluidez poderá permitir o desenvolvimento de novos procedimentos de colocação e de enchimento de cofragens [64].

A ausência do trabalho de compactação permite que os custos destes trabalhos sejam eliminados. No entanto, o custo total para a construção nem sempre é reduzido, excepto em construções em larga escala. Uma vez que a construção convencional baseia-se fortemente na necessidade da compactação por vibração do betão. A construção em betão poderá ser racionalizada através do desenvolvimento de novos sistemas de construção, incluindo cofragens, armaduras e suportes [63].

2.3.2 - Melhoria do ambiente de trabalho

A vibração do betão por vibradores de agulha tem malefícios na saúde do trabalhador. Estes podem causar alterações na circulação sanguínea, como o síndrome dos dedos brancos. Por sua vez, o ruído provocado pela vibração traz prejuízos a nível auditivo, além do esforço físico resultante do movimento da mangueira de bombagem, manuseamento do equipamento de vibração, etc.

O BAC, melhora as condições de trabalho, reduz os custos para com a saúde e baixas por doença, permite um ambiente de trabalho com menos ruído e menos esforço físico. A redução do ruído a que um trabalhador é sujeito quando utiliza BAC em vez do betão vibrado, situa-se entre 8 a 10 dB [87, 89].

2.3.3 - Melhoria da homogeneidade

O BAC surgiu da preocupação com a diminuição da durabilidade da estrutura causada pela inadequada homogeneidade do betão vibrado [87].

Em muitas estruturas, a dificuldades de compactação está relacionada com a tendência para o congestionamento de armaduras. O aumento do desempenho das estruturas conduziu a um aumento da taxa de armaduras nos elementos estruturais. Quando se utiliza o BAC é mais fácil assegurar a qualidade do betão nas estruturas com grande congestionamento de armaduras [87].

2.3.4 - Outras melhorias

Em muitos casos o acesso de vibradores é difícil devido à configuração das cofragens ou restrições do processo de produção. A utilização de BAC melhora a resolução destas situações [46].

Apesar das inúmeras vantagens, o BAC também apresenta algumas desvantagens, em relação ao betão corrente, nomeadamente [46, 61, 55]:

- a) O elevado custo, que pode resultar da elevada percentagem de materiais finos;
- b) No estado endurecido, o BAC apresenta maior susceptibilidade a fenómenos de retracção e fluência em relação ao betão corrente. A solução neste caso pode estar na optimização das misturas, nomeadamente a redução dos materiais finos através da optimização dos agregados;
- c) O BAC requer um maior controlo das matérias-primas e do betão no estado fresco.

2.3.5 - Custo

O BAC pode ter um elevado custo comparativamente ao betão corrente, devido à elevada percentagem de materiais finos. No entanto, pensa-se que futuramente os custos elevados possam ser revertidos.

2.3.6 - Propriedades no estado fresco

O BAC, em relação ao betão corrente, é mais susceptível a fenómenos de retracção e fluência. A optimização das misturas, nomeadamente a redução dos materiais finos através da optimização do agregado, poderá ser a solução.

2.3.7 - Maior controlo das matérias-primas

O BAC necessita de um maior controlo das matérias-primas, uma vez que, este é influenciado pela variabilidade dos seus materiais constituintes.

2.4 - Materiais constituintes do BAC

Na produção do BAC podem ser utilizados os mesmos materiais que no betão corrente. Apesar disso, as *Guidelines* Europeias de 2005 [27] para o BAC, mencionam que se pode fazer outros tipos de adições para a sua produção. As adições são usadas com frequência para incrementar e manter a coesão e resistência à segregação do betão. As adições, ao substituírem o cimento, ajudam a reduzir o calor de hidratação e a retracção térmica do betão. No entanto, estas devem

ser ensaiadas minuciosamente e de forma individual, para se poder observar os efeitos a curto e a longo prazo no BAC [27].

2.4.1 - Materiais finos

A dimensão dos materiais considerados finos varia de País para País. No Japão são considerados materiais finos as partículas inertes cujo tamanho máximo não excede 0,090mm [88, 13]. Na Europa, os materiais finos podem variar entre 0,075 e 0,125mm [46]. Em alguns casos são também consideradas as partículas finas transportadas pelos agregados, em especial os agregados finos [46].

A selecção dos materiais finos é de grande importância, uma vez que as propriedades destes materiais afectam o grau de auto-compactabilidade e as propriedades do betão no estado endurecido. Uma das principais características dos materiais finos é a sua elevada superfície específica, o que pode proporcionar uma grande capacidade de adsorver água na sua superfície [27].

As adições permitem corrigir a quantidade de finos até se conseguir uma relação água/finos (A/F), em volume, compreendida entre 0,9 e 1,05. Estas também actuam aumentando a compacidade dos materiais cimentícios e melhorando a fluidez do betão fresco [46].

Segundo a Norma Portuguesa (NP-ENV 206), as adições são constituídas por material inorgânico finamente dividido e são usadas no betão com a finalidade de melhorar certas propriedades ou para lhe proporcionar propriedades especiais. As adições podem ser de dois tipos: as adições do tipo I - quase inertes (por exemplo, o fíler calcário); e as adições do tipo II - pozolânicas ou hidráulicas latentes (por exemplo, escórias de alto-forno, cinzas volantes e sílica de fumo) [56].

2.4.1.1 - Cimento

As propriedades do BAC, tanto no estado fresco como no estado endurecido, são influenciadas pelas características e quantidade de cimento. Desta forma, através do cimento, é possível alterar e melhorar algumas dessas propriedades. A referida influência pode ser repartida por dois efeitos: 1) alteração da trabalhabilidade do BAC devido à dispersão das partículas de cimento, afectada pelos adjuvantes; e 2) alteração da viscosidade plástica da pasta devido à distribuição das dimensões e forma das partículas [62].

No primeiro efeito, verifica-se que a não adsorção do adjuvante de modo uniforme pelas partículas de cimento, implica uma menor dispersão das mesmas, condicionando a trabalhabilidade do BAC. Tal alteração deve-se ao facto de ocorrer uma rápida hidratação

inicial. Isso ocorre, porque o aluminato tricálcico (C3A) e o alumino-ferrato tetracálcico (C4AF) adsorvem rapidamente uma quantidade substancial de moléculas dos adjuvantes na sua superfície após o contacto com a água. O adjuvante que resta, é posteriormente adsorvido na superfície do silicato tricálcico (C3S) e silicato bi-cálcico (C2S), componentes estes que existem em maior percentagem na composição do cimento. Pode-se inferir que, a quantidade adsorvida pelo silicato tricálcico (C3S) e silicato bi-cálcico (C2S) depende da quantidade inicial adsorvida pelo aluminato tricálcico (C3A) e pelo alumino-ferrato tetracálcico (C4AF), [26, 62].

Nos cimentos ricos em aluminato tricálcico (C3A) e alumino-ferrato tetracálcico (C4AF), a adsorção dos adjuvantes não é uniforme na superfície do cimento, o que faz, com que a acção de dispersão seja prejudicada. Apesar disso, a “etringite”, produto da hidratação dos C3A e C4AF com o gesso, interage com as partículas de cimento e reduz a fluidez. Desta forma, os cimentos Portland de baixo calor de hidratação com pequena fase intersticial de C3A e C4AF, ou o cimento rico em C2S, acentuam de modo eficaz a acção dispersante dos superplastificantes e podem ser considerados adequados para o fabrico de BAC. Particularmente, os cimentos ricos em “belite”, onde a quantidade de C2S é alta, inibem o calor de hidratação e são ideais para usar no BAC de alta resistência [46, 62].

Relativamente ao segundo efeito referido, os autores supracitados opinam que a distribuição granulométrica e a forma das partículas de cimento são factores físicos que influenciam o comportamento reológico das pastas. Assim, se a superfície específica do cimento aumenta, o número de partículas na pasta aumenta, obtendo-se uma maior superfície de contacto com a água. Em consequência, a distância entre as partículas diminui e a frequência de colisão e os pontos de contacto entre estas partículas aumenta, conduzindo ao aumento da viscosidade plástica. Tem sido verificado que quanto maior for a compacidade do cimento maior é a coesão da pasta. Neste sentido, foi desenvolvido um cimento, formado por partículas grossas e finas de “clinker”, estabilizado de forma mecânica, o qual apresentou menor resistência em idades curtas devido à sua menor finura [46].

Em síntese, a restrição quanto ao tipo de cimento a utilizar *per si* não apresenta requisitos especiais [86]. Por exemplo, as *guidelines* Europeias de 2005 [27] referem que podem usar-se todos os cimentos no BAC conforme a norma NP EN 197-1:2001. A escolha correcta do tipo de cimento depende dos requisitos específicos para a sua aplicação.

2.4.1.2 - Adições tipo I - adições quase inertes

Fíler calcário

O fíler calcário é um material proveniente de rochas calcárias ou jazidas aluvionares, cujo principal componente é o carbonato de cálcio (CaCO₃) [30]. É um material fino, no qual pelo

menos 85% das partículas têm dimensão inferior a 80 µm e não são superiores a 315 µm [21]. Pode apresentar uma superfície específica Blaine desde os 2000 cm²/g até valores acima dos 6000 cm²/g [24]. Segundo o LNEC E378, a sua utilização em betão com um cimento tipo I, não deve exceder a percentagem de 20% em relação à massa total do ligante [23].

Para Ho *et al.* [34] este material pode ser utilizado para aumentar a viscosidade da pasta, em especial, quando se pretende aumentar do volume de finos. O fíler calcário é adequado para o BAC, uma vez que, permite uma maior uniformidade da granulometria da mistura, desta forma, controla-se melhor a quantidade de água usada, conduzindo a melhoria da trabalhabilidade e diminuindo a exsudação [27].

O fíler calcário é cada vez mais usado no BAC, para estruturas com grandes massas de betão, onde ocorre frequentemente fendilhação devido aos gradientes térmicos. A utilização desta adição reduz o calor de hidratação diminuindo o aumento de temperatura do betão [62].

Fíler granítico

Existem poucos estudos relativos à utilização de fíler granítico em betões. No entanto, Ho *et al.* [34] referem um estudo da utilização de fíler granítico em BAC, onde é comparado o efeito do fíler calcário e das cinzas volantes com o fíler granítico. Este estudo revela que o consumo de superplastificante nos betões que incorporaram fíler granítico é superior, para se obter propriedades reológicas semelhantes. Os mesmos autores mencionaram ainda que, o fíler granítico pode ser usado nos BAC, no entanto, previamente à sua utilização devem ser analisadas possíveis reacções de alcalinidade, devido à finura do fíler granítico.

Estudos realizados por Nepomuceno *et al.* [47], comparando as adições de fíler granítico, cinzas volantes e fíler calcário, quer em argamassas, quer em BAC, permitiu-lhes concluir que as misturas produzidas com fíler granítico se revelaram muito promissoras, tendo em vista a sua utilização na produção de BAC. Os resultados obtidos indicam que o fíler granítico se revelou adequado, pelo menos em termos físicos, como adição mineral para substituição parcial do cimento na produção de BAC. Em geral, os consumos de superplastificante nos betões que incorporaram fíler granítico foram semelhantes aos consumos de superplastificante obtidos nos betões com adições de fíler calcário ou cinzas volantes, em condições de escoamento semelhantes. Por outro lado, os consumos de água de amassadura em misturas com fíler granítico igualaram os consumos de água das misturas de referência só com cimento, independentemente da percentagem de substituição do cimento pela adição. Sob condições semelhantes, as dosagens de água das misturas que incorporaram fíler granítico superaram sempre os consumos de água das misturas com fíler calcário ou cinzas volantes.

2.4.1.3 - Adições tipo II - adições pozolânicas ou hidráulicas latentes

Escórias de alto-forno de elevada finura

As escórias granuladas de alto-forno são um subproduto industrial, obtido da fabricação do “ferro-gusa”, na siderurgia de aço. É uma adição do tipo II, com propriedades hidráulicas latentes, reagindo apenas na presença de água. Nawa *et al.* [45] explicam que, quando as escórias são arrefecidas suficientemente rápido em água, obtêm-se grãos em forma de areia e vidro (amorfos) [30].

As escórias granuladas de alto-forno são partículas finas, com superfície específica de Blaine superior a 275 m²/kg, com baixo calor de hidratação [30]. A sua aplicação no BAC diminui a tixotropia, mantém a trabalhabilidade do betão durante mais tempo. No entanto, a estabilidade do BAC, pode ser afectada quando utilizadas grandes quantidades de escória granulada de alto-forno. As consequências podem ser problemas de consistência e o lento endurecimento pode incrementar o risco de segregação [27].

Segundo Nawa *et al.* [45], a escória de alto-forno de elevada finura têm sido usada na produção de cimentos ou como adição em betões de elevada fluidez, devido à tixotropia da pasta que incorpora escórias granuladas de alto-forno com elevada finura ser menor que a tixotropia da pasta de cimento Portland.

Para avaliar a viabilidade técnica de utilização do agregado siderúrgico na construção de infra-estruturas viárias e obras geotécnicas, foram desenvolvidos estudos, que revelaram que as escórias de aciaria produzidas em Portugal apresentam, à semelhança de escórias de aciaria produzidas noutros Países, características adequadas à sua utilização neste tipo de obras, sem perda da qualidade da construção, sem prejuízos para a saúde pública e para o ambiente, e possibilitando a preservação dos recursos naturais [43].

Cinzas volantes e biomassa

As cinzas volantes são um subproduto, obtido das centrais termoeléctricas, quando se queimam carvões pulverizados [30]. Estas são obtidas por precipitação electrostática ou mecânica das poeiras arrastadas pelos gases de combustão da queima. São adições do tipo II, com propriedades pozolânicas, que só reagem na presença de hidróxido de cálcio e água [30].

Almeida [2] diz que a qualidade das cinzas depende do tipo de carvão e da caldeira utilizada. As que têm propriedades pozolânicas são utilizadas na produção de betão, aplicado principalmente em obras de arte. Estas cinzas são constituídas por um pó fino, formado por partículas esféricas e vítreas, composto essencialmente por SiO₂ (sílica) e Al₂O₃ (óxido de alumínio). Uma vez que as cinzas de boa qualidade apresentam uma forma esférica, a deformabilidade do betão é

melhorada pelo efeito de rolamento. Por esta razão, as cinzas volantes são utilizadas frequentemente no BAC.

As cinzas volantes usadas no BAC aumentam a sua coesão e reduzem a sensibilidade a variações de quantidade de água, aumentando a trabalhabilidade do betão. No entanto, em grandes quantidades podem provocar uma pasta demasiado coesa, que pode diminuir a fluidez [27]. Neste contexto, Xie *et al.* [96], mencionam estudos com cinzas volantes, referindo que estas actuam de forma semelhante aos agentes de viscosidade, uma vez que permitem aumentar a viscosidade no estado fresco obtendo assim uma boa resistência à segregação, sem diminuir a fluidez. Algumas das suas características são: a durabilidade, a retenção, a trabalhabilidade e retracção.

Camões [9] realizou um estudo, para avaliar a possibilidade de produzir betões de desempenho melhorado, ou elevado desempenho, fabricados com quantidades reduzidas de cimento e recorrendo à incorporação de materiais correntes, de baixo custo. Assim as composições de betão estudadas foram produzidas com 400 kg/m³, 500 kg/m³ e 600 kg/m³ de materiais finos (cimento+cinzas volantes) e com uma quantidade de substituição de cimento por cinzas volantes fixa de 60% (em massa). Estes estudos demonstraram que é possível produzir betão de elevada trabalhabilidade com cerca de 35 MPa de resistência à compressão aos 28 dias de idade utilizando apenas 160 kg/m³ de cimento e 400 kg/m³ de materiais finos (C400). Este valor de resistência à compressão é suficiente para cumprir os requisitos exigidos na grande maioria das aplicações práticas de betão estrutural. Os resultados obtidos demonstram que é possível atingir resistências à compressão aos 365 dias de idade de cerca de 40 MPa (C400), 60 MPa (C500) e 80 MPa (C600).

Este estudo revelou ainda que os betões com elevado volume de cinzas volantes são vantajosos no que concerne ao desenvolvimento da resistência ao longo do tempo, classificando-os como betões de elevado desempenho [9]. O mesmo autor menciona a importância das condições de cura em obra, uma vez que estas podem diferir consideravelmente das testadas, comprometendo drasticamente o desempenho destes betões, pelo que é necessário assegurar que a cura e conservação sejam cuidadas [9].

No entanto, Pereira de Oliveira [69], realizou um estudo tendo utilizado como material ligante um cimento Portland, e as adições incluíram o fíler calcário, uma cinza resíduo de biomassa e pó de vidro. Neste estudo, verificou que as cinzas de biomassa são as que exigem maior volume de água e percentagem de superplastificante para atingir o alvo de auto-compactabilidade.

Sílica de fumo (microssílica)

A sílica de fumo é um pó amorfo, muito fino, obtido a partir da siderurgia de silício metálico, ligas de ferro-silício ou outros produtos siliciosos, em fornos eléctricos a arco [46]. É uma adição

do tipo II, com propriedades pozolânicas e o seu componente principal é o SiO₂, o qual deve ser superior a 85% [22]. A sua superfície específica BET (*Brunauer, Emmett e Taylor*) está normalmente compreendida entre 20000 e 35000 m²/kg [30, 22]. De acordo com a especificação do LNEC E378, a sua utilização em betão não deve exceder os 10% em relação à massa total do ligante [23].

Segundo Almeida [2], a intervenção da sílica de fumo ocorre de duas formas: fisicamente, como fíler, densifica a microestrutura; e quimicamente, ao reagir de forma rápida com o hidróxido de cálcio, libertado durante a hidratação do cimento, para formar o silicato de cálcio hidratado, que é o efeito pozolânico.

Estudos de Domone *et al.* [13] demonstram que, a introdução de microssílica em combinações ternárias com outros componentes, é muito útil na retenção da trabalhabilidade. No entanto, Nepomuceno [46] refere que, devido à sua especificidade o BAC necessita de uma grande quantidade de materiais finos, pelo que não é viável utilizar a microssílica como única adição em misturas binárias, uma vez que este material é em geral, excessivamente dispendioso em comparação com os outros componentes do betão.

Pó de vidro

Os materiais pozolânicos continuam a ser insuficientes para satisfazer a procura na indústria de construção civil. Assim, torna-se necessário a busca de alternativas para satisfazer as necessidades crescentes em detrimento do cimento na produção de argamassas e betões.

Recentemente, têm sido realizados alguns estudos, os quais utilizam o vidro como parte do agregado grosso de betões.

O vidro resulta da mistura de vários materiais inorgânicos naturais (areia, calcário, dolomite, feldspato, alumina calcinada, hidróxido de cálcio, e vidro reciclado). Depois de ser fundido, é arrefecido de forma controlada. No final obtém-se um material duro, estável, inerte, amorfo e isotrópico [36].

Neste contexto, o estudo de Shao [83] menciona que o vidro devido à redução da resistência e à excessiva expansão, não apresenta uma solução viável de uso nos betões.

A magnitude da expansão do vidro depende directamente da dimensão das partículas. Neste contexto, os estudos de Karamberi e Moutsatsou [36] revelam que um dos factores chave para a ocorrência significativa da reacção química álcalis-sílica (RAS) é o tamanho da partícula de vidro.

Neste sentido, os estudos de Shao [83] mostram que, as partículas com dimensão inferior a 75 mm não causam expansão significativa e suficiente para alteração da durabilidade, assim, a

optimização da dimensão das partículas, obtém materiais com efeitos pozolânicos através da reciclagem de resíduos de vidro.

Recentemente, em Portugal, Pereira de Oliveira e Santos [71] realizaram um estudo com o objectivo de verificarem a potencialidade pozolânica dos vidros de resíduos de garrafas, bem como a eventual reacção expansiva, do tipo álcalis-sílica. Assim, puderam constatar que fracções granulométricas de vidro inferiores a 75 mm, em substituição do cimento na percentagem até 25% de pó de vidro, não provocam perda significativa da resistência à compressão da argamassa. Relativamente à expansão deletéria, a argamassa com resíduos de vidro apresenta resultados bastantes inferiores ao limite máximo de expansão de 0,1%, considerado na norma ASTM C 1260-94. As determinações de expansão que utilizam o molde prescrito na ASTM C 1260 quando comparadas com as determinações realizadas com o molde prescrito nas normas da série EN 1015 apresentam diferenças muito pouco significativas. Desta forma, é expectável, a fabricação de materiais pozolânicos a partir da reciclagem de embalagens de vidros coloridos.

Resíduos potencialmente reactivos

Dos resíduos potencialmente reactivos, fazem parte o vidro colorido de garrafas e um subproduto da indústria mineira, que se apresenta em forma de lama residual, ambos produzidos em larga escala.

Estes produtos apresentam teores elevados de sílica, óxido de silício (SiO_2) nas suas composições. Desta forma, são potencialmente reactivos (como material pozolânico) para cooperarem para a melhoria das propriedades mecânicas das argamassas. A pozolanicidade do resíduo de vidro é obtida, em argamassas de cimento, quando esses resíduos são reduzidos a partículas com tamanhos menores que 150 μm [83].

Estudos revelam que, as lamas residuais de minas existem em grande disponibilidade, aproximadamente 16 milhões de toneladas por ano (Mt/ano) e, certificam o seu potencial reactivo na síntese de ligantes geopoliméricos [36].

Neste sentido, a incorporação destes resíduos em argamassas de construção é importante, trazendo benefícios ambientais e económicos.

Em 2010, Pereira de Oliveira *et al.* [70], realizaram um estudo experimental no intuito de verificar a influência de resíduos potencialmente reactivos oriundos da indústria do vidro e da indústria mineira, nas propriedades das argamassas de construção. Estes investigadores referem que, a incorporação do pó de resíduos do vidro, cinza e lamas residuais calcinadas das Minas da Panasqueira, concede às argamassas comportamentos semelhantes aos 28 dias e superiores aos

90 dias de idade. Assim, os resultados obtidos viabilizam a utilização dos resíduos como componentes de argamassas de construção.

2.4.2 - Adjuvantes

Segundo a Norma Portuguesa NP EN 206-1, adjuvante é o material adicionado em pequenas quantidades em relação à massa de cimento, durante o processo de mistura do betão, com o objectivo de modificar as propriedades do betão fresco ou endurecido [55]. As *guidelines* Europeias de 2005 [27] referem que o uso de adjuvantes no BAC deve ser segundo a norma NP EN 934-2:2000.

Os adjuvantes tipicamente usados no BAC são [27, 59]:

- i) os superplastificantes ou redutores de água de alta gama;
- ii) os agentes de viscosidade (*VMA-Viscosity modifying admixtures*);
- iii) outros adjuvantes tais como introdutores de ar, aceleradores e retardadores de presa podem aplicar-se da mesma forma que no betão vibrado corrente, mas o fabricante deve indicar a quantidade e o momento óptimo para se adicionar à mistura.

A escolha do adjuvante ideal deve ter em atenção as propriedades químicas e físicas dos componentes do betão. É aconselhável verificar-se a compatibilidade entre os adjuvantes e os outros constituintes do BAC. No caso de mudança de fornecedor ou de adjuvante, devem realizar-se ensaios de forma a minimizar os efeitos de uma possível alteração no comportamento do betão, apesar de normalmente não serem significativas.

2.4.2.1 - Superplastificantes

A adição de superplastificantes na produção de BAC permite melhorar a fluidez do betão, porque as partículas de cimento, na ausência de adjuvante, formam uma suspensão instável na água, aglomerando/segregando. O papel do adjuvante é de evitar a aglomeração modificando as forças de superfície entre partículas [74].

Os superplastificantes utilizados no BAC podem-se agrupar em dois grupos: agentes redutores de água de alta gama e agentes introdutores de ar e redutores de água de alta gama. Os primeiros são utilizados principalmente na indústria da pré-fabricação de produtos de betão. Os segundos, melhoram a capacidade de retenção da fluidez do betão e o agente introdutor de ar mantém o teor de ar no betão num nível constante, sendo mais aplicados na indústria do betão pronto [62].

Recentemente surgiram os superplastificantes denominados de nova geração, desenvolvidos à base de polycarboxilatos modificados (*polycarboxylate-based agents, PC*) que têm uma maior capacidade de reduzir a água [84]. Permitem reduções de água até 40%, e contribuem igualmente para a retenção da trabalhabilidade impedindo a prematura humidificação dos grãos de cimento e mantêm o efeito dispersante por mais tempo [46]. Estes polímeros têm uma estrutura facilmente controlável e afetam as propriedades de adsorção e dispersão das partículas coloidais. Estão carregados negativamente com grupos carboxilatos ou hidróxilos que lhes permitem ser adsorvidos pelas partículas de cimento, enquanto as cadeias laterais promovem a repulsão estérica [74].

Os estudos de Camões [9] demonstram que a incorporação de um superplastificante de última geração, à base de copolímeros, permite fabricar betões com elevado volume de cinzas volantes apresentando elevada trabalhabilidade, reduzindo significativamente a dosagem de água da amassadura.

No presente estudo foi utilizado um superplastificante da terceira geração para a argamassa, com a referência comercial de Sika® ViscoCrete® 3005. Este cumpre os requisitos da Norma NP EN 934-2: T 3.1/3.2, como superplastificante ou forte redutor de água para betão, permite obter uma forte plastificação e uma boa manutenção de consistência, aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas [85].

O Sika® ViscoCrete® 3005 actua sobre as partículas do ligante através dos mecanismos de adsorção superficial e efeito espacial. Permite uma elevada redução da água da mistura ou um aumento marcado da trabalhabilidade. Consegue-se assim [85]:

- a) Um nível de redução de água muito elevado, que pode atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de compacidade elevada e de permeabilidade muito baixa;
- b) Um efeito plastificante intenso, que permite obter consistências favoráveis para uma colocação fácil;
- c) Uma boa manutenção de consistência, que pode atingir as 2 horas a 20°C, dependendo do tipo de cimento, da consistência inicial e da dosagem do adjuvante; composições adequadas para betão auto-compactável (BAC) em obra ou em prefabricação, com bom desenvolvimento de resistências;
- d) Um comportamento mais favorável quanto à retração e quanto à fluência.

Neste sentido, também as *guidelines* Europeias de 2005 [27], para o BAC, mencionam que os superplastificantes devem garantir a fluidez e redução de água adequadas, mantendo o efeito de dispersão das partículas durante o transporte e colocação do betão. A consistência requerida depende do tipo de aplicação, a que se destina o betão. Por exemplo, o betão para pré-

fabricação necessita de menor tempo de manutenção de consistência (trabalhabilidade) em relação ao betão aplicado em obra.

Assim, pode-se dizer que os superplastificantes são componentes indispensáveis, uma vez que na ausência destes, as pequenas partículas de cimento tendem a flocular devido às forças atractivas, de tipo *Van Der Waals*, que se geram entre elas. Esta floculação tende a reter água e, quanto maior for esse efeito, maior será a tixotropia da pasta de cimento, ou seja, menor será a sua capacidade de fluir quando sujeita à acção da gravidade [61].

2.4.2.2 - Agentes de viscosidade

Os agentes de viscosidade são adjuvantes que modificam a coesão do BAC sem alterar significativamente a sua fluidez. Os agentes de viscosidade usados nos BAC são normalmente constituídos por polissacarídeos solúveis em água, mas podem também utilizar-se outros materiais, tais como: derivados químicos de biopolímeros (por exemplo, éteres celulósicos ou fécula modificada) ou minerais como a sílica precipitada [78, 38]. Entre os agentes de viscosidade mais comuns em betões incluem-se derivados de celulose, que é um polissacarídeo natural, não iónico e de elevada massa molecular [37, 42]. Este tipo de adjuvante pode representar aproximadamente 0,1% a 0,2% da massa do material cimentício [12].

Alguns autores [6, 33] mencionam que a utilização de agentes de viscosidade na produção de BAC aumenta a coesão, reduz a exsudação, permite a utilização de uma maior variedade de materiais, tais como agregados de granulometria descontínua e areia britadas. As *guidelines* sobre agentes de viscosidade para betão, de 2006 [15], vão de encontro com os autores supracitados, ao mencionarem alguns dos potenciais benefícios dos agentes de viscosidade, tais como:

- i) Redução da sensibilidade da mistura de BAC, à variação do teor de humidade dos agregados;
- ii) Minimizar os efeitos provocados pela mudança das propriedades dos materiais;
- iii) Permitir uma diminuição na quantidade de finos na mistura;
- iv) Baixar o nível de controlo de produção;
- v) Permitir a obtenção de misturas mais fluidas sem o risco de ocorrer segregação e exsudação.

Nepomuceno [46] menciona estudos que revelam que os agentes de viscosidade à base de glicol conferem maior estabilidade, enquanto os agentes de viscosidade à base de *welan gum* permitem maior estabilidade na capacidade e velocidade de deformação.

A norma NP EN 934-2:2000 não especifica requisitos para os agentes de viscosidade [27].

2.4.2.3 - Introdutores de ar

A introdução de micro-bolhas de ar no interior do betão, através de agentes introdutores de ar, permite aumentar a sua resistência à acção de gelo/degelo. No betão fresco, as bolhas de ar vão adsorver uma pequena quantidade de água na sua superfície. As bolhas de ar não são capazes de suportar o choque das partículas dos agregados, o que faz com que tenham alguma influência na prevenção dos choques entre as partículas. No entanto, quando há falta de agregados finos, as bolhas de ar permitem corrigir a granulometria, melhorando a trabalhabilidade, devido ao efeito de “rolamento de esferas” [62, 27].

2.4.3 - Agregados

Segundo a norma NP EN 206-1, os agregados podem ser definidos como material mineral granular adequado para aplicar no betão. Existem vários tipos de agregados: os naturais, os artificiais ou os reciclados de materiais previamente usados na construção [55].

As *guidelines* Europeias de 2005 [27], referem que para se produzir um BAC com qualidade, os agregados devem ser controlados de forma minuciosa, tendo em conta: o teor de humidade, a absorção de água e a sua curva granulométrica. Na escolha dos agregados é importante ter em conta a forma e a distribuição do tamanho das partículas, uma vez que estes afectam a compacidade e o índice de vazios do betão.

2.4.3.1 - Agregados finos

Dos agregados finos fazem parte as areias, cuja máxima dimensão das partículas não excede os 5 mm. As areias artificiais apresentam normalmente uma superfície específica superior, provocando um maior consumo de água para conseguir atingir o mesmo grau de fluidez [86].

A quantidade de adições deve ser definida em função do tipo e da granulometria. Numa curva granulométrica bem graduada, os elementos de menores dimensões preenchem os espaços deixados pelos de maiores dimensões, o que proporciona uma superior resistência à segregação, uma maior compacidade e uma maior fluidez [86].

Segundo as *guidelines* Europeias de 2005 [27], quando a quantidade de agregados finos é elevada, a quantidade de pasta entre as partículas diminui, o que resulta numa redução da fluidez do betão. No entanto, se essa quantidade for demasiado baixa pode dar origem a segregação/exsudação. Desta forma, na composição de um BAC, é necessário definir a quantidade certa de agregados finos.

Neste sentido, pode-se dizer que as características dos agregados finos (distribuição granulométrica, forma das partículas e quantidade), têm mais relevância nas propriedades no estado fresco do BAC, que as dos agregados grossos, uma vez que estas vão influenciar o seu comportamento. As recomendações usualmente estabelecidas para os agregados finos de betões correntes devem-se aplicar aos agregados finos para BAC [27].

2.4.3.2 - Agregados grossos

Os agregados grossos incluem todas as partículas com diâmetro superior a 5 mm. Tal como mencionado anteriormente, todas as recomendações estabelecidas para os agregados grossos de betões correntes devem-se aplicar aos agregados grossos para BAC.

Segundo as *guidelines* Europeias de 2005 [27], o factor principal na determinação do tamanho máximo dos agregados grossos é o espaçamento entre as armaduras. Segundo este guia, a máxima dimensão dos agregados grossos deve ser limitada de 12 a 20 mm. A granulometria e a forma dos agregados interferem directamente na fluidez, na capacidade de passagem do betão e na quantidade de pasta do BAC.

2.4.4 - Água

Segundo as *guidelines* Europeias de 2005 [27], para o BAC, a água deve ser utilizada conforme com a norma NP EN 1008. Além da função de hidratação do cimento, a água permite alterar a viscosidade e a deformabilidade do betão fresco.

A dosagem da água deve manter-se igual, de mistura para mistura. Pois o aumento da quantidade de água na mistura de betão provoca um aumento na deformabilidade e uma redução na viscosidade da mistura. Por sua vez, a redução da viscosidade incrementa a segregação da mistura [62].

Os estudos de Rangel [76] revelam que, no betão com agregados reciclados, no estado fresco, à necessidade de acrescentar mais água à mistura, quando comparado com o betão sem agregados reciclados. A necessidade de aumentar a água, pode suceder devido ao facto dos agregados reciclados absorverem grande quantidade de água, quando comparados com os valores dos agregados naturais.

2.5 - Propriedades do BAC no estado fresco

A auto-compactabilidade do betão no estado fresco está relacionada com a sua reologia e trabalhabilidade.

2.5.1 - Reologia

O betão fresco pode ser definido como uma suspensão de partículas, com extensa granulometria, exibindo um comportamento semelhante ao de um fluido [55]. O comportamento deste, nas fases de colocação e compactação, depende do seu comportamento reológico [91]. Assim, o comportamento reológico do betão no estado fresco é caracterizado pela tensão inicial de corte (τ_0') e pela viscosidade plástica (μ'), que são definidas de acordo com o modelo de Bingham [91].

Sedran e Larrard [82] descrevem os estudos realizados no LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes, France*), os quais confirmaram que as duas propriedades supracitadas podem ser grosseiramente estimadas através do ensaio de espalhamento. O diâmetro médio de espalhamento pode-se relacionar com a tensão de corte através da Equação 2.1, enquanto o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 500 mm no mesmo ensaio pode-se relacionar com a viscosidade plástica, através da Equação 2.2.

$$\tau_0' = (808 - Sl) \cdot \frac{M \cdot g}{11740} \quad \text{(Equação 2.1)}$$

Onde:

Sl é o diâmetro médio de espalhamento, em mm,

g é a aceleração da gravidade,

M é a densidade, em kg/m³.

$$\mu' = \frac{M \cdot g}{10000} \cdot (0,026 \cdot Sl - 2,39) \cdot T_{50} \quad \text{(Equação 2.2)}$$

Onde:

T₅₀ é o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 500 mm no ensaio de espalhamento, medido em segundos.

Nos BAC é importante que a tensão de cedência seja baixa, de modo a aproximar o seu comportamento do fluido puramente viscoso. Mas um valor muito baixo desta tensão de cedência pode originar um betão com tendência à segregação devido à diferente densidade dos seus componentes. Assim, o balanço entre fluidez e resistência à segregação é primordial na avaliação reológica para se atingir os critérios de auto-compactabilidade dos BAC [90].

Para Khayat e Tangtermsirikul [39], existem mecanismos que influenciam os parâmetros reológicos, tais como o atrito inter-partículas e a quantidade de água livre, que depende da tensão na superfície e da dispersão das partículas. A dispersão das partículas e a tensão superficial podem ser modificadas pelo uso de superplastificantes adequados e por uma compactidade adequada das partículas finas.

Neste contexto, também Vieira [95] refere que as alterações nos agregados podem influenciar o comportamento dos BAC. Constata-se que uma diminuição do teor de agregado implica um decréscimo do valor da tensão de cedência e da viscosidade. Esta alteração deve-se ao aumento da influência da pasta, associado ao seu maior volume. O aumento dos parâmetros reológicos com a angulosidade dos agregados obriga a um maior volume de pasta para manter as características de fluidez do betão, o que diminui o volume de agregados. Da mesma forma, o aumento da finura das areias irá causar um acréscimo na tensão de cedência e na viscosidade. Um menor teor de agregado fino relativamente ao grosso diminui a tensão de cedência por conduzir a uma granulometria da mistura descontínua, aumentando a probabilidade de contactos entre as partículas mais grossas e por conseguinte um aumento da viscosidade do betão.

Existem vários tipos de equipamentos para avaliar as propriedades reológicas do betão fresco, argamassas e pastas, dos quais se destacam os reómetros BML e BTRHEON [46].

Avaliar o comportamento reológico do betão fresco constitui uma tarefa complexa devido à variedade da sua composição, uma vez que tem elevado número de diferentes materiais, com propriedades físicas e mecânicas distintas e que interagem entre si. Para avaliar o comportamento reológico dos betões através do conhecimento das propriedades dos seus constituintes, seria necessário avaliar o efeito de todas as interações entre os constituintes da mistura o que seria impraticável [55].

2.5.2 - Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é definida por Skarendahl *et al.* [91] como sendo a capacidade do betão, depois de colocado, se mover e preencher todos os espaços no interior da cofragem por acção da gravidade, originando um betão de qualidade uniforme.

A trabalhabilidade quando adequada pressupõe a obtenção de uma adequada auto-compactabilidade. A auto-compactabilidade como propriedade do betão fresco é caracterizada essencialmente pela capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem [91].

2.5.2.1 - Capacidade de enchimento

A capacidade de enchimento ou deformabilidade de um BAC está relacionada com a facilidade do betão no estado fresco se deformar e preencher todos os espaços, contornando os obstáculos através do seu peso, sem recurso a qualquer método de compactação, sem a ocorrência de segregação e sem bloqueio do fluxo do betão pela cofragem [86].

Segundo Khayat e Tangtermsirikul [39], a capacidade de enchimento pode ser melhorada através das seguintes acções:

- Aumentar a deformabilidade da pasta, com auxílio de adjuvantes superplastificantes e equilíbrio da razão água/(materiais finos);
- Reduzir o atrito entre as partículas, por baixar o volume de agregados grossos (grande quantidade de pasta) e distribuição óptima dos finos relativamente aos agregados e cimento usado.

A avaliação da capacidade de enchimento em termos de deformação pode ser feita através do ensaio de espalhamento com o cone de Abrams, enquanto a velocidade de deformação pode ser avaliada a partir do tempo que o betão leva a atingir um diâmetro de 500 mm. Também se pode utilizar o ensaio da “Caixa-Kajima”, o qual permite dar uma indicação sobre a capacidade de enchimento/deformabilidade. Este ensaio, pretende simular o comportamento do BAC em condições extremas, e reproduzir a capacidade do betão se auto-compactar na presença de zonas com alta densidade de armaduras [86].

Neste contexto, para o betão atingir uma boa capacidade de enchimento é necessário haver um equilíbrio entre a capacidade de deformação e a velocidade de deformação, ou seja, o betão deve possuir baixo atrito entre as partículas e uma pasta com excelente deformabilidade [91].

2.5.2.2 - Resistência à segregação

Numa mistura com uma boa resistência de segregação, as partículas de agregado grosso têm de permanecer dispersas na matriz argamassa, enquanto o BAC escoar na direcção horizontal, ou seja, a distribuição das partículas do agregado grosso no betão tem de ser relativamente equivalente em todas as localizações e em diferentes níveis em altura [44].

Skarendahl *et al.* [91] referem que o BAC, quer em repouso quer em movimento, não deve apresentar os seguintes tipos de segregação: exsudação da água, segregação da pasta ou do agregado e segregação do agregado grosso que conduza ao bloqueio. Outros aspectos como a boa uniformidade na distribuição dos poros de ar também têm sido referidos [86].

De acordo com Maragon [44, 91], para atingir uma adequada resistência à segregação, deve-se:

- 1) Reduzir a segregação dos sólidos limitando a quantidade de agregado; reduzir a máxima dimensão do agregado; baixar razão água/(materiais finos) e usar um agente de viscosidade;
- 2) Minimizar a exsudação da água livre reduzindo a dosagem de água, reduzir a razão água/(materiais finos), usar materiais finos com elevada superfície específica e usar um agente de viscosidade.

A resistência à segregação pode ser avaliada através dos ensaios da “Caixa-L”, “Caixa-U”, “Caixa” e ensaio de espalhamento (muito favorável para a avaliação da exsudação).

2.5.2.3 - Capacidade de passagem

A fluidez também pode ser designada de capacidade de passagem. Segundo Silva [86], esta consiste na capacidade que o betão tem de fluir livremente dentro da cofragem, através das armaduras de forma bidimensional ou de aberturas estreitas na cofragem.

Desta forma, para o BAC funcionar de forma eficiente deve possuir suficiente fluidez e ao mesmo tempo suficiente resistência à segregação. Nos casos onde existem aberturas estreitas na cofragem ou onde existe congestionamento de armaduras, uma exigência adicional deve ser atendida, evitar o bloqueio dos agregados grossos, provocados pela formação de “pontes”, conforme demonstrado na Figura 2.1 [91].

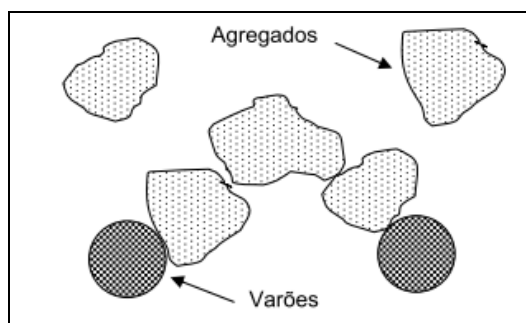


Figura 2.1 - Formação de pontes [46]

Segundo Skarendahl *et al.* [91], mesmo num BAC com uma boa capacidade de enchimento e resistência à segregação, pode ocorrer bloqueio se a dimensão máxima do agregado é muito grande ou conteúdo de agregados grossos é muito elevado.

Silva [86] refere que para o betão atingir uma capacidade de passagem adequada há alguns aspectos a considerar, tais como:

- Melhorar a coesão para reduzir a segregação do agregado, usando uma baixa razão água/materiais finos e um agente de viscosidade;
- Compatibilizar as características das aberturas e dos agregados grossos, reduzindo o volume de agregados grossos e a máxima dimensão dos agregados.

2.5.3 - Ensaios para avaliar as propriedades do BAC no estado fresco

A necessidade de avaliar as propriedades e o desempenho para um BAC levou ao desenvolvimento de novos ensaios. Neste sentido, existem vários ensaios de controlo e caracterização de BAC, divididos em dois grupos:

- 1) Ensaios que permitem de forma indirecta avaliar o comportamento reológico do BAC - o ensaio de espalhamento (através do conhecido cone de Abrams) e o ensaio de fluidez (“Funil-V”);
- 2) Ensaios de auto-compactabilidade - o ensaio da “Caixa”, “Caixa-L”, “Caixa-U” e “Caixa-Kajima” [86].

Quando se pretende determinar a consistência do BAC, esta deve ser realizada no momento de utilização do betão, de acordo com a NP EN 12350-8 [53]. Se o betão for entregue num camião misturador ou equipamento agitador, a consistência de ser medida através de uma amostra pontual obtida na primeira descarga.

2.5.3.1 - Ensaio de espalhamento (*Slump-flow*)

Para avaliar as propriedades do BAC no estado fresco, o ensaio de espalhamento é um dos mais utilizados em todo o mundo. Takada [92, 53] considera que este é um método usado em betões muito fluidos com superplastificante e que não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão exceda os 40 mm.

Este ensaio deve ser realizado de acordo com a NP EN 12350-8 [53]. O procedimento consiste em avaliar a fluidez e a velocidade de escoamento do BAC, na ausência de obstruções. O valor do

parâmetro é a indicação da capacidade de enchimento do BAC. O tempo t_{500} é uma medida de velocidade de escoamento e uma indicação da viscosidade relativa do BAC. O betão é vertido para dentro de um cone, o cone é levantado, e mede-se o tempo entre o levantamento do cone e o momento em que o espalhamento atinge um diâmetro de 500 mm, t_{500} . São medidos o maior diâmetro de espalhamento do betão e o diâmetro na direcção normal a esta. O espalhamento é a média destes valores [53].

O ensaio de espalhamento permite recolher as seguintes informações [91]:

- A capacidade a nível qualitativo de enchimento e sobre a susceptibilidade da ocorrência de segregação e de exsudação;
- O valor do diâmetro médio de espalhamento (*Slump flow*);
- O tempo de escoamento t_{500} ;
- O tempo de escoamento final (da remoção do cone até ao final do escoamento);
- O grau de segregação (observação visual).

O equipamento utilizado neste ensaio é o mesmo do ensaio de espalhamento através do cone de Abrams (Figura 2.2) para betão convencional, apesar de o procedimento ser diferente [86].

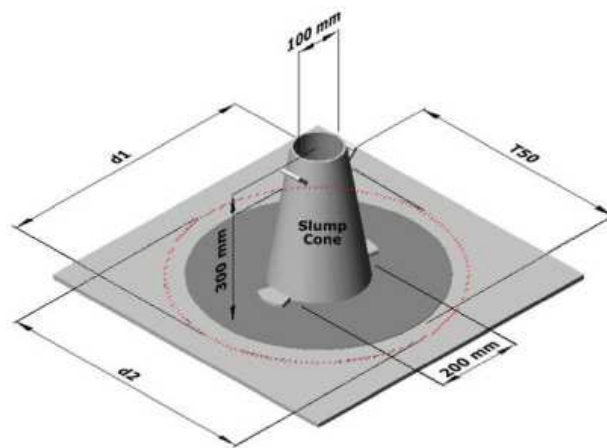


Figura 2.2 - Placa base e cone de Abrams, (em mm) [11]

Contudo, é de referir que este ensaio, *per si*, não é suficiente para avaliar a trabalhabilidade de um BAC, sendo sempre desejável conjugar com outros dos ensaios referidos nos pontos seguintes [86].

2.5.3.2 - Ensaio de fluidez (“Funil-V”)

O ensaio de fluidez com o “Funil-V” permite avaliar a fluidez, a viscosidade e a resistência à segregação de um BAC.

Recentemente, foi publicada a NP EN 12350-9 [54], a qual especifica que a dimensão máxima do agregado não deve exceder os 22,4 mm.

No entanto, Takada [92] refere que este ensaio foi concebido para betões altamente fluidos, incorporando superplastificantes e não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão exceda os 25 mm.

Este ensaio deve ser realizado de acordo com a NP EN 12350-9 [54].

Silva [86] descreve o ensaio de fluidez, mencionando que após o enchimento do funil (Figura 2.3), a comporta da base é aberta e dá início à contagem do tempo (em segundos) para a descarga do betão. A contagem de tempo termina quando, ao observar o funil de cima para baixo, surge o primeiro raio de luz. Normalmente, o parâmetro medido através deste ensaio é o tempo (t) de descarga, o qual é medido em segundos. A partir deste parâmetro pode calcular-se a velocidade relativa do escoamento.

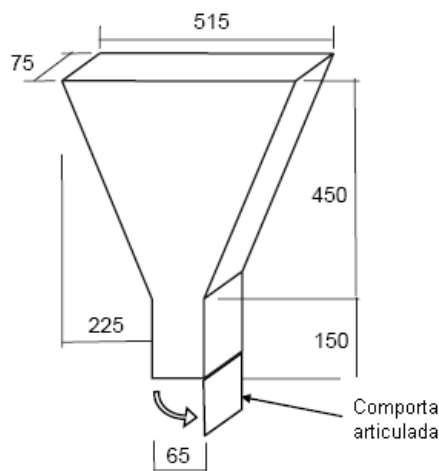


Figura 2.3 - Dimensões do funil em V (em mm) [27]

Khayat e Tangtermsirikul [40] salientam que uma viscosidade muito elevada tende a resultar num tempo (t) elevado, enquanto uma viscosidade muito baixa também pode resultar num tempo (t) muito longo se ocorrer segregação ou bloqueio dos agregados.

2.5.3.3 - Ensaio da “Caixa” ou da “Caixa-U”

Os ensaios da “Caixa” ou da “Caixa-U” permitem medir a capacidade de enchimento ou a fluidez. São semelhantes ao da “Caixa-L” [86]. Takada [92] salienta que este método é usado em betões muito fluidos com superplastificantes e não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão excede os 25 mm.

O equipamento de ensaio da “Caixa-U” consiste numa caixa em forma de U [86]. O princípio de funcionamento deste ensaio está ilustrado esquematicamente na Figura 2.4. Este consiste em encher o compartimento “A” da caixa com betão no estado fresco e de seguida abre-se a comporta e mede-se a altura H no compartimento “B”.

Ouchi [67] menciona que o betão ao apresentar uma altura de enchimento (H) na “Caixa-U” superior a 300 mm pode ser considerado como auto-compactável para aplicação em estruturas.

Um betão com baixa capacidade de deformação conduz a valores baixos do parâmetro (H). Apesar disso, se ocorrer o bloqueio da mistura na passagem pelo obstáculo, como resultado da segregação entre a argamassa e os agregados grossos, um betão com elevada capacidade de deformação também pode levar a baixos valores do parâmetro (H), conforme demonstrado na Figura 2.5.

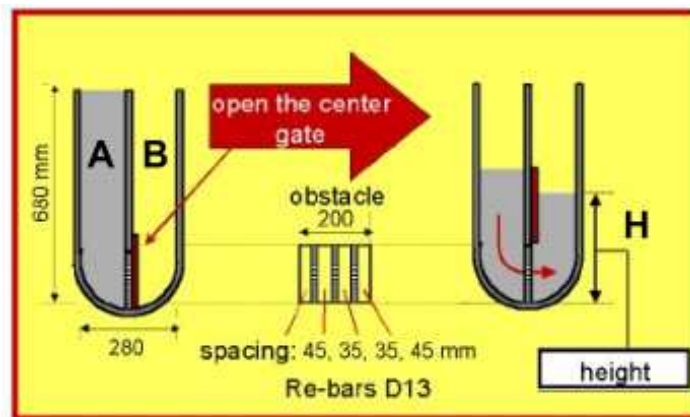


Figura 2.4 - Esquema do ensaio da “caixa U” [67]

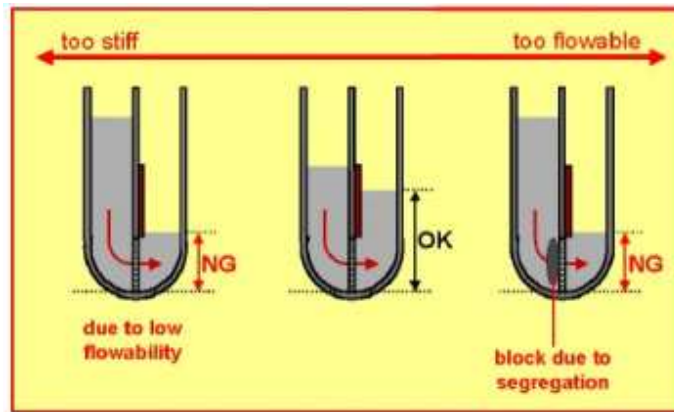


Figura 2.5 - Esquema da auto-compatibilidade da “caixa U” [67]

O ensaio da “Caixa” distingue-se da “Caixa-U” por apresentar uma base plana. Devido a esta alteração, o ensaio da “Caixa” é mais sensível a betões com menor resistência à segregação, o que facilita a sua detecção. O funcionamento do ensaio da “Caixa” é demonstrado na Figura 2.6, sendo em tudo semelhante àquele já descrito para a “Caixa-U”. Este ensaio é usado em betões muito fluidos com superplastificantes, não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão excede os 25 mm [67].

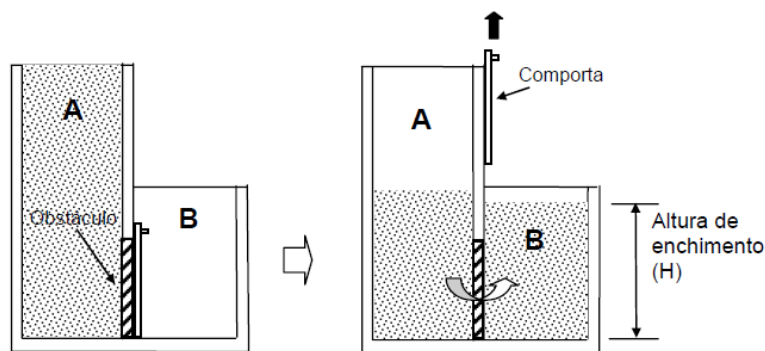


Figura 2.6 - Esquema de funcionamento do ensaio da “Caixa” [46]

2.5.3.4 - Ensaio da “Caixa-L”

O ensaio da “Caixa-L” permite avaliar a capacidade de enchimento e a capacidade de passagem do BAC através de aberturas estreitas [27, 51].

Este ensaio deve ser realizado de acordo com a NP EN 12350-10 [51]. O funcionamento do ensaio da “Caixa-L” (Figura 2.7) é semelhante ao da “Caixa-U” e “Caixa”. O ensaio é utilizado para 60

avaliar a capacidade de passagem do BAC, ao escoar através de espaços confinados, incluindo espaços entre armaduras e outras obstruções, sem segregar ou bloquear. Existe o ensaio com dois varões e o ensaio com três varões que simula uma maior densidade de armaduras.

O ensaio inicia-se colocando a caixa numa superfície horizontal e nivelada. Após a abertura da comporta que separa os dois compartimentos, o betão escoar através dos espaços entre os varões lisos colocados na vertical. Medem-se as alturas na sessão vertical da caixa (H_1) e no fim da sessão horizontal (H_2). Determina-se a razão H_2/H_1 , e têm-se a medida da capacidade de passagem ou bloqueio do BAC [51].

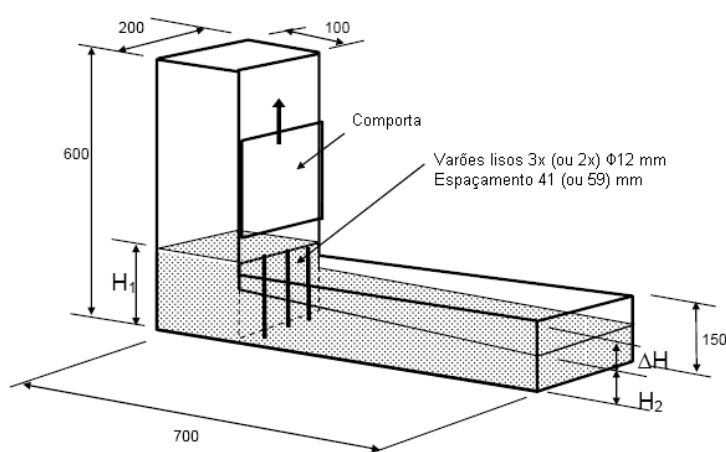


Figura 2.7 - Dimensões da caixa em L (em mm) [27]

Este ensaio permite obter a seguinte informação relativamente ao escoamento: o tempo para uma distância de escoamento particular (T_{20} e/ou T_{40}), o tempo para completar o escoamento, a “taxa de bloqueio” (diferença de alturas) e o grau de segregação (observação visual).

2.6 - Propriedades do BAC no estado endurecido

As propriedades do BAC no estado endurecido são indispensáveis na verificação da segurança das estruturas e para se prever o seu comportamento no período de vida útil. Nestas propriedades estão incluídas: a resistência mecânica, retracção, a durabilidade e a elasticidade.

De acordo com a NP EN 206-1, as propriedades e exigências de um BAC no estado endurecido são praticamente as mesmas do que para um betão convencional [55].

2.6.1 - Resistência mecânica

A resistência à compressão de um BAC é uma das propriedades mais importantes. O BAC tem uma razão água/finos semelhante à de um betão corrente, mas normalmente tem um valor de resistência à compressão superior devido à falta de vibração, que melhora a interface entre os agregados e a pasta endurecida. Ao longo do tempo, o desenvolvimento da resistência é semelhante [27].

Os estudos realizados por Vasconcelos e Cabral [93] sobre o comportamento do BAC no estado fresco e no estado endurecido, demonstram que o BAC com agregados reciclados apresenta um comportamento similar nos ensaios no estado fresco, porém no estado endurecido observa-se uma redução na resistência à compressão. Isto deve-se possivelmente à menor resistência mecânica do próprio agregado reciclado, além da sua alta porosidade e alta absorção de água.

Rangel [76] corrobora com os autores supracitados, ao mencionar que o BAC com agregados grossos reciclados (BRC40) na resistência à compressão sofre um pequeno decréscimo da resistência. O valor máximo de perda de resistência à compressão encontra-se nos 2,2%, obtido no betão com maior incorporação de agregados grossos. No entanto, esta redução de resistência à luz do desvio padrão revela-se insignificante.

2.6.2 - Retracção

Os fenómenos de retracção e conseqüente fissuração tendem a ser mais significativos num BAC do que num betão convencional. Estudos relatados por Skarendahl [88] revelam que há uma maior retracção de secagem no BAC comparativamente ao betão normal, enquanto outros relatam o oposto. As mesmas contradições são encontradas na literatura em relação à retracção autogénea. A principal razão para esta diferença prende-se essencialmente com a escolha dos materiais constituintes, a influência da combinação dos vários agregados, especialmente a razão entre agregado mais grosso e o mais fino [88].

2.6.3 - Durabilidade

A durabilidade do betão está relacionada com os parâmetros da mistura que afectam a densidade e a composição química dos ligantes, as condições de colocação, compactação, acabamento e cura. Desta forma, a durabilidade deste depende da permeabilidade da camada de recobrimento, que impede a entrada de substâncias (dióxido de carbono, cloretos, sulfatos, alcalis, ácidos, etc.) que podem iniciar e propagar acções de degradação. As características de durabilidade dependem também do material seleccionado [27]. Uma deficiente compactação da

camada de recobrimento é um factor determinante na diminuição da durabilidade da estrutura quando exposta em ambientes agressivos [27].

Skarendahl [88] menciona estudos da microestrutura, nos quais têm sido referidas tanto altas como baixas capacidades de transporte de gases e líquidos para o BAC, em comparação com o betão corrente. Neste sentido, por vezes o BAC apresenta uma capacidade de transporte inferior devido à densa microestrutura, que é causada pela ausência de vibração e o uso de uma grande quantidade de partículas finas. Isto proporciona uma melhoria da durabilidade baseada numa reduzida carbonatação e redução de penetração de cloretos.

2.6.4 - Módulo de elasticidade

O volume e o tipo de agregados utilizados no betão influenciam o valor do módulo de elasticidade deste. Assim, a utilização de um agregado com elasticidade elevada incrementa a elasticidade do betão [27].

Segundo Cabral [7], o módulo de elasticidade do BAC reciclado apresenta valores inferiores aos do BAC natural, atingindo um valor médio 16% inferior. Isto deve-se provavelmente à inserção de mais pasta na mistura, uma vez que o agregado reciclado possui grande quantidade de pasta em sua composição, predispondo o betão a ficar mais deformável. Neste contexto, o módulo de elasticidade de um betão pode ser relacionado com a sua resistência, ou seja, num betão com elevada resistência o módulo de elasticidade tem tendência a aumentar. Por outro lado, este valor tem tendência a diminuir com o aumento da quantidade da pasta de cimento e com o aumento da porosidade do betão [86].

Rangel [76] nos seus estudos concluiu que o módulo de elasticidade foi pouco afectado com a incorporação de agregados grossos reciclados, registando-se uma redução máxima de 3,08% aos 28 dias, para o betão BRC40.

2.7 - Conclusões

A utilização do BAC à escala mundial tem aumentado face às vantagens que este oferece, quer a nível da melhoria da produtividade, quer no ambiente de trabalho e homogeneidade do material colocado nas estruturas. Para se atingir a auto-compactabilidade recorre-se a quantidades elevadas de finos quando comparadas com o betão convencional. Assim, obtém-se normalmente um produto mais caro e com possibilidade de ocorrência de retracção e consequente fissuração, bem como um aumento do calor de hidratação.

Os materiais constituintes do BAC são os mesmos que os utilizados nos betões correntes.

Existem vários métodos para o cálculo da composição do BAC, tais como: o método Geral, o método proposto pela JSCE e o método de Nepomuceno.

A nível reológico o BAC caracteriza-se por baixa tensão de cedência (elevada fluidez) e elevada viscosidade plástica (elevada resistência à segregação).

Para que o betão atinja a auto-compactabilidade é necessário cumprir os seguintes requisitos funcionais de trabalhabilidade: capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem.

É importante a avaliação das características do BAC no estado fresco. A avaliação dos parâmetros reológicos (tensão de corte e viscosidade plástica) pode ser feita recorrendo ao uso de reómetros. No entanto, devido ao seu custo elevado, existem em poucos laboratórios.

Para a avaliação dos parâmetros de trabalhabilidade (auto-compactabilidade) foram desenvolvidos vários ensaios, tais como: o ensaio de espalhamento, fluidez (“Funil-V”), “Caixa-U”, “Caixa” e “Caixa-L”.

Na ausência de reómetros, os ensaios de espalhamento e fluidez podem ser usados para determinar as propriedades reológicas do betão fresco, enquanto um dos ensaios “Caixa-U”, “Caixa” ou “Caixa-L” pode ser usado para avaliar as exigências funcionais da auto-compactabilidade.

Em relação ao BAC no estado endurecido, com a mesma razão água/finos que um betão corrente, o BAC atinge resistências à compressão ligeiramente superiores. Apesar dos fenómenos de fluência e retracção, ainda não estão bem estudados, o BAC é mais susceptível a fenómenos de fluência e de retracção quando comparado com um betão corrente.

Os cuidados a ter com a produção, transporte e colocação do BAC são de uma forma geral, bastante semelhantes aos do betão corrente.

Todas as recomendações utilizadas para produzir betões correntes podem ser aplicadas ao BAC.

Capítulo 3 - Métodos de Dosagem Suportados Pelo Estudo da Fase Argamassa

3.1 - Introdução

Desde o aparecimento do BAC que têm sido publicados vários trabalhos sobre os métodos de estudo da sua composição, propriedades, aplicações, vantagens e desvantagens, entre outros. Apesar disso, nos métodos de estudo de composição, a abordagem, por comparação com os betões convencionais, tem sido mais complexa.

Os estudos publicados revelam as potencialidades deste material, havendo exemplos de projectos executados.

Os métodos convencionais para determinar a composição do betão corrente não são aplicáveis ao BAC, uma vez que este apresenta um valor para a classe de consistência superior à classe mais alta prevista na norma NP EN 206-1. Neste sentido, foi necessário adoptar novas metodologias para o estudo da composição da mistura. Assim, têm sido propostos vários métodos, no entanto, apresentam limitações. Alguns métodos consistem em sequências de cálculo, enquanto outros resultam em recomendações, traduzindo-se em intervalos limite para cada material na mistura [46, 91].

Neste capítulo é descrito o método de composição de BAC que serviu de base para o presente estudo, bem como alguns métodos que o precederam. A escolha dos métodos abordados incidiu no facto de estes serem os únicos que tratam a argamassa e o betão de forma separada. Dos métodos existentes, é de realçar o Método Geral, proposto pelo professor Okamura, pela sua simplicidade de aplicação; o método proposto pela Sociedade Japonesa de Engenharia Civil (JSCE), pelo facto de ser o único que prevê a introdução de agentes de viscosidade na mistura e o método proposto pelo professor Miguel Nepomuceno, o qual define uma metodologia para a composição de BAC.

3.2 - Método proposto por Okamura

O “Método Geral” (Figura 3.1) proposto pelo professor Okamura [91, 62] é um método relativamente simples, que permite o estudo das composições de BAC. O método baseia-se em manter fixa a quantidade de agregados, ajusta-se apenas a razão água/finos e a dosagem de superplastificantes de forma a obter a auto-compactabilidade.

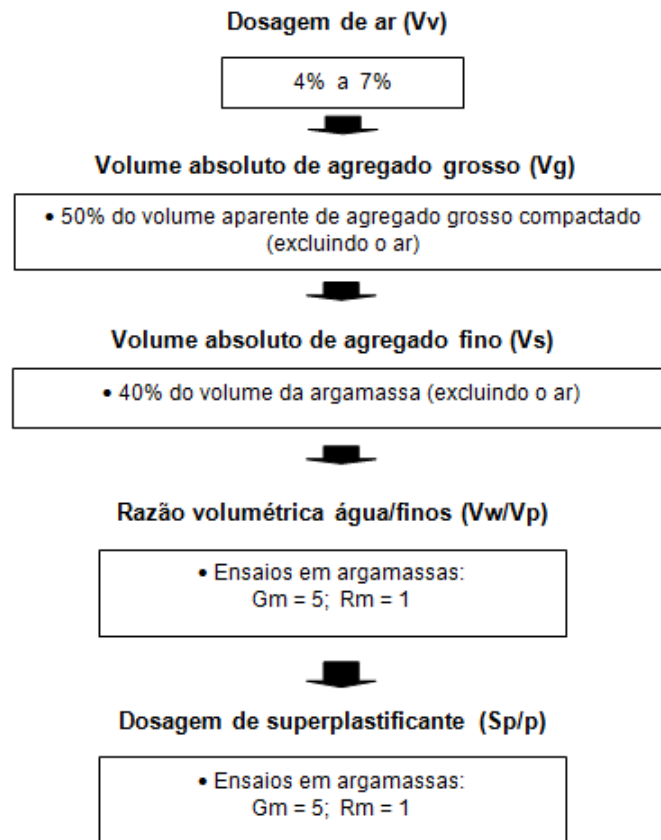


Figura 3.1 - Método de concepção da composição proposto por Okamura *et al.* [14]

No método geral os materiais utilizados incluem: agregados grossos com uma variação de dimensão entre os 5 mm e os 20 mm, agregados finos com máxima dimensão de 5 mm e um cimento Portland de baixo calor de hidratação. As dosagens dos agregados finos e grossos são estimadas de forma conservadora de modo a garantir a auto-compactabilidade do betão, mesmo que ocorram pequenas variações nestas dosagens durante a produção. Ou seja, a auto-compactabilidade do betão é determinada acima daquilo que seria necessário, pelo que o método geral é considerado conservador.

Alguns autores propuseram modificações a este método devido às suas limitações. Uma das limitações é o facto de não existir referência quanto à estimativa da resistência à compressão para a fase de estudo da composição do betão, sob pretexto de que quando se impõe como requisito uma baixa relação água/cimento, esta dá origem a resistências adequadas para a maioria das situações [46].

As proporções da mistura (por m^3 de betão), obtidas através da implementação deste método, são definidas a partir das seguintes dosagens: volume de ar; volume de agregados grossos; volume de agregados finos; razão volumétrica água/finos e dosagem de superplastificante.

3.2.1 - Volume de ar

O volume de ar (V_v) deve estar entre 4 a 7%, sendo que parte deste volume é introduzido para resistir à acção do gelo-degelo, podendo também levar a uma redução de água e cimento. O volume vai depender das classes de exposição a que está sujeita a estrutura [46, 62, 91].

3.2.2 - Volume de agregados grossos

O volume de agregado grosso (V_g) é 50% do volume ocupado pelas partículas de agregado grosso compactado, na unidade de volume aparente de 1 m^3 , excluindo o volume de ar previsto para a composição [46, 62, 91].

O volume ocupado pelas partículas de agregado grosso compactado na unidade de volume aparente de 1 m^3 ($V_{g, \text{lim}}$) é no limite equivalente à razão entre o valor da baridade compactada e o valor da massa volúmica do agregado. Assim, o volume absoluto de agregados grossos a utilizar, é definido pela seguinte equação:

$$V_g = 0,50 \times V_{g, \text{lim}} \cdot (1 - V_v) \quad \text{(Equação 3.1)}$$

Onde:

V_g é o volume de agregado grosso para a mistura, em m^3/m^3 ,

V_v é o volume de ar (vazios) previsto para a mistura, em m^3/m^3 ,

$V_{g, \text{lim}}$ é o volume aparente de agregado grosso compactado, em m^3/m^3 .

A Equação 3.1 permite determinar o volume de agregados grossos na mistura, contabilizando indirectamente o efeito das partículas e a sua distribuição granulométrica. Quanto mais contínua for a distribuição granulométrica, maior será o arranjo entre as partículas, menor será o volume de vazios, e conseqüentemente, maior será o valor da baridade. Pode-se referir que, um maior valor da baridade equivale a um maior volume de agregados grossos presentes na composição do betão.

3.2.3 - Volume de agregados finos

O volume de agregados finos (V_s) é cerca de 40% do volume da argamassa constituinte do betão, excluindo o volume de vazios. Neste método, fazem parte dos agregados finos todas partículas cuja dimensão varia entre os 0,09 mm e os 5 mm. Será considerado material fino se estiver

abaixo deste intervalo, e agregado grosso se estiver acima [46]. Pode-se saber a percentagem de material fino presente no agregado fino através da distribuição granulométrica, sendo o volume do agregado fino a utilizar na mistura dado pela Equação 3.2:

$$V_s = \frac{0,40 \times (1 - V_v - V_g)}{1 - K_{sf}} \quad \text{(Equação 3.2)}$$

Onde:

V_s é o volume de agregados finos na mistura, em m³/m³,

V_v é o volume de ar previsto para a mistura, em m³/m³,

V_g é o volume de agregados grossos para a mistura, em m³/m³,

K_{sf} é a percentagem unitária do volume de material fino presente na unidade de volume de agregado fino.

3.2.4 - Razão volumétrica água/finos e dosagem de superplastificante

A razão volumétrica água/finos (V_w/V_p) é influenciada pelas características físicas e químicas dos materiais finos, agregados finos e adjuvantes. Atendendo a este pressuposto, este método prevê que a razão volumétrica água/finos e também a dosagem de superplastificante ($S_p/p\%$) sejam determinados através de ensaios com argamassas, com o objectivo de obter determinados parâmetros reológicos [46, 86, 91]. Os parâmetros reológicos das argamassas são obtidos através da realização do ensaio de espalhamento e do ensaio de fluidez (“funil-V”). A argamassa será considerada adequada para a produção de BAC se apresentar simultaneamente um valor da área de espalhamento relativa (G_m) igual a 5 no ensaio de espalhamento e um valor da velocidade relativa de escoamento (R_m) igual a 1 no ensaio de fluidez. O valor de (G_m) é obtido pela Equação (3.3), enquanto (R_m) é obtido pela Equação (3.4). A sigla (D_m) significa o diâmetro médio de espalhamento, em mm; a sigla (D_0) o diâmetro inicial na base do cone, em mm, enquanto a sigla (t) representa o tempo de escoamento no “funil-V”, em segundos.

$$G_m = \left(\frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1 \quad \text{(Equação 3.3)}$$

Onde:

G_m é a área de espalhamento relativa,

D_m é o diâmetro médio de espalhamento, em mm,

D₀ é o diâmetro inicial na base do cone, em mm.

$$Rm = \left(\frac{10}{t} \right) \quad \text{(Equação 3.4)}$$

Onde:

Rm é a velocidade relativa de escoamento, em s^{-1} ,

t é o tempo de escoamento, em segundos.

3.3 - Método proposto pela JSEC

Em Julho de 1998, a Sociedade Japonesa de Engenharia Civil (JSCE), com base em vários estudos, publicou guia de recomendações para a construção com BAC, nas quais propõe um procedimento para obtenção da composição, (Figura 3.2).

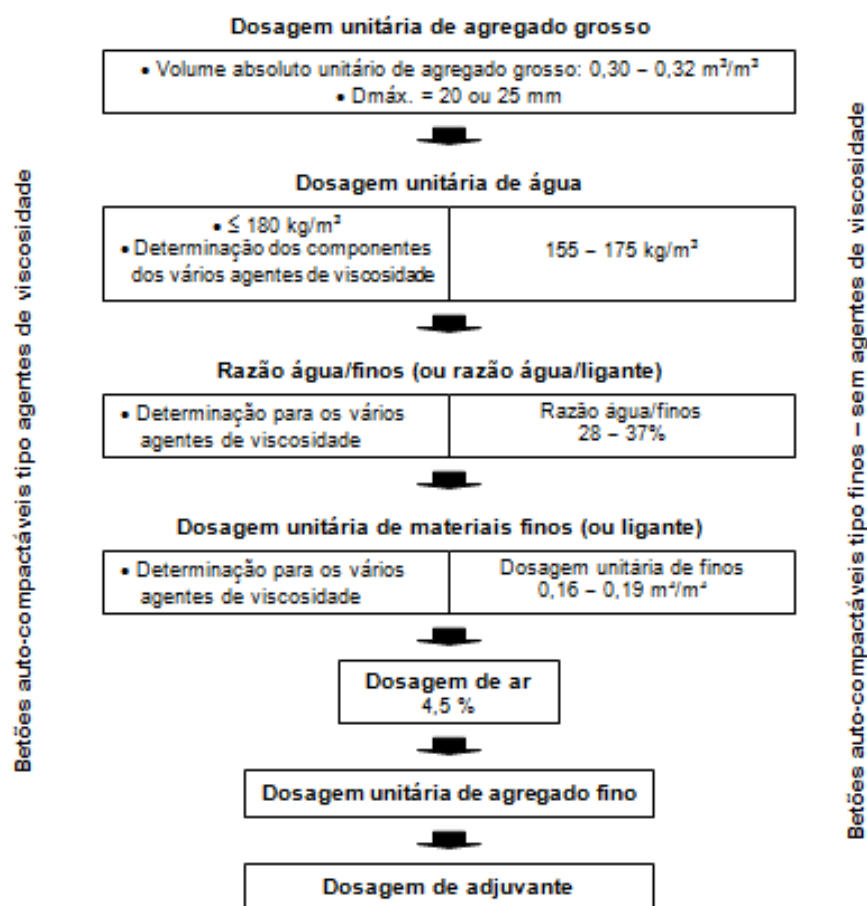


Figura 3.2 - Método proposto pela JSCE [45]

Neste método, o volume de água, o volume de materiais finos ou de ligante, por unidade de volume de betão, e a razão água/finos, podem variar consoante o tipo de BAC que se está a estudar, e o tipo de agente de viscosidade [46]. Assim, são definidos três níveis de auto-compactabilidade para o betão em estado fresco, Quadro 3.1. O nível da auto-compactabilidade mais adequado é estabelecido em função do desempenho pretendido, dos elementos que se pretendem betonar, como a dimensão e forma das cofragens, a densidade e a disposição das armaduras [46, 62].

Quadro 3.1 - Requisitos funcionais e de auto-compactabilidade [45]

Nível de auto-compactabilidade		1	2	3
Condições estruturais	Espaçamento mínimo entre varões, em mm	35 a 60	60 a 200	≥ 200
	Densidade de armadura nos elementos estruturais, em kg/m^3	≥ 350	100 a 350	≤ 100
Altura de enchimento no ensaio da “Caixa-U” ou “Caixa” (H), em mm		≥ 300 Obstáculo R1	≥ 300 Obstáculo R2	≥ 300 Obstáculo R3
Volume de agregado grosso, por unidade de volume de betão (Vg), em m^3/m^3		0,28 a 0,30	0,30 a 0,33	0,32 a 0,35
Diâmetro médio de espalhamento do betão no ensaio “Slump-flow” (Dm), em mm		600 a 700	600 a 700	500 a 650
Resistência à segregação	Tempo de escoamento no ensaio de fluidez do betão (t), em segundos	9 a 20	7 a 13	4 a 11
	Tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de espalhamento de 500 mm (T_{50}), em segundos	5 a 20	3 a 15	3 a 15

Os três níveis de auto-compactabilidade estão apresentados resumidamente, no Quadro 3.1, sendo o nível 2 de auto-compactabilidade o mais frequente em termos de espaçamento entre varões e densidade de armaduras.

Quadro 3.2 - Síntese do método proposto pela JSCE [13, 45]

Factor	Sem agente de viscosidade	Tipo de agente de viscosidade			
		Celuloso	Acrílico	Glicol	Polissacáridos
Agregados grossos	0,30 - 0,32 m ³ /m ³ (Nota 1)				
Água (Nota 2)	155 - 175 kg/m ³	170 - 180 kg/m ³		155 - 170 kg/m ³	
Água/Finos (Nota 3)	0,28 - 0,37 em massa	Depende das propriedades pretendidas para o betão endurecido			
Finos (Nota 4)	0,16 - 0,19 m ³ /m ³	300 - 450 kg/m ³	400 - 450 kg/m ³	400 - 480 kg/m ³	> 0,13 m ³ /m ³
Ar	Normalmente 4,5 % (Nota 5)				
Agregados finos	Mediante o cálculo a partir das quantidades de agregado grosso, água, materiais finos e quantidade de ar				
Superplastificante	A partir da experiência do passado ou informação do fabricante				
Agente de viscosidade		0,15 - 0,30 % da massa de água	3 - 5 % da massa de água	2 - 3 % da massa de água	0,05 % da massa de água
<p>Nota 1: Pode ser superior se for exigido um menor grau de auto-compactabilidade (por exemplo como definido no ensaio Caixa-U);</p> <p>Nota 2: Se a durabilidade não for uma preocupação principal, a quantidade de água pode subir até 190 kg/m³;</p> <p>Nota 3: Se não for alcançada a necessária auto-compactabilidade, adiciona-se mais ligante para reduzir a razão água/finos;</p> <p>Nota 4: Esta quantidade é calculada a partir da dosagem de água e da razão água/finos. Os valores fornecidos são valores típicos;</p> <p>Nota 5: Este valor depende da máxima dimensão do agregado, resistência necessária e condições de exposição ambiental.</p>					

De referir que, quando se passa do nível 1 para os níveis superiores, o volume de agregados grossos aumenta e, conseqüentemente, a quantidade de agregados finos e de materiais finos diminuem. Os materiais finos representam a maior parcela do custo dos materiais utilizados na composição dos betões auto-compactáveis. De seguida, é descrito o método para a obtenção das proporções da mistura, por m³ de betão, a partir da implementação do procedimento da Figura 3.2.

3.3.1 - Volume de agregados grossos

O volume de agregados grossos, deve ser ajustado de acordo com o nível de auto-compactabilidade pretendido, indicado no Quadro 3.1. A máxima dimensão dos agregados grossos deve estar compreendida entre 20 a 25 mm.

3.3.2 - Volume de água

Se não forem usados agentes de viscosidade na mistura, o volume de água deve situar-se entre os 155 a 175 kg/m³ [46, 62, 91]. Quando são utilizados agentes de viscosidade na mistura, o volume de água deve ser no máximo 180 kg/m³. É de notar, tal como se pode observar no Quadro 3.2, que a quantidade de água a adicionar na mistura depende do tipo de agente de viscosidade. No caso de o agente de viscosidade ser à base de celulose ou acrílico deve situar-se entre 170 a 180 kg/m³, mas se for à base de Glicol ou polissacarídeos esta deve estar compreendida entre 155 a 170 kg/m³ [46, 62, 91]. Nos casos em que a durabilidade não é um factor condicionante, o volume de água pode ser aumentado até 190 kg/m³ [46, 62, 91].

3.3.3 - Razão água/finos

Quando não são utilizados agentes de viscosidade na mistura, a razão água/(materiais finos) está geralmente compreendida entre 28 a 37% (em massa). Quando se utilizam agentes de viscosidade, a razão água/(materiais finos) deve ser calculada tendo em conta o desempenho requerido para o betão no seu estado endurecido. Se o betão não alcançar a auto-compactabilidade, deve aumentar-se a quantidade de materiais finos de forma a reduzir a razão água/(materiais finos) [46, 62, 91].

3.3.4 - Volume de finos

Quando não são utilizados agentes de viscosidade, o volume de material fino é determinado a partir do volume de água e da razão água/(materiais finos) definidos anteriormente. O volume de materiais finos está geralmente compreendido entre 0,16 a 0,19 m³/m³. Para o caso de se utilizar agentes de viscosidade, o volume de materiais finos a utilizar é geralmente o que está indicado no Quadro 3.2 [46, 62, 91].

3.3.5 - Volume de ar

O volume de ar valor recomendado pela JSCE é de 4,5% [46, 62, 91].

3.3.6 - Volume de agregados finos

O volume de agregados finos é determinado através do volume de agregados grossos, volume de água, razão água/(materiais finos), volume de materiais finos e de ar [46, 62, 91].

3.3.7 - Dosagem de adjuvantes

A dosagem de superplastificante deve ser determinada a partir de ensaios já realizados ou com base em informação do fabricante [91]. Relativamente aos agentes de viscosidade, a dosagem é determinada em função do tipo de agente. Geralmente usam-se as dosagens que se apresentam Quadro 3.2.

3.4 - Método proposto por Nepomuceno

Em 2005, o professor Miguel Nepomuceno desenvolveu um estudo no qual definiu uma metodologia para a composição de BAC tendo por base o método de Okamura *et al.* e da JSCE [46]. O presente trabalho teve por base o método proposto por Nepomuceno, pelo que, este método será abordado de uma forma mais ampla.

Nepomuceno [46] observou que os métodos propostos por Okamura *et al.* e pela JSCE são os mais generalizados pela sua simplicidade, mas apresentam algumas limitações inerentes, associadas à dificuldade em otimizar e modelar as misturas com vista à obtenção de um qualquer valor médio especificado para a resistência à compressão do betão na fase de estudo da composição. Em resultado da apreciação então efectuada, Nepomuceno desenvolveu uma nova abordagem, introduzindo novos parâmetros para o cálculo da composição dos betões auto-compactáveis que permitissem responder a algumas dessas limitações, admitindo como ponto de partida o método proposto por Okamura *et al.* Foi também seu objectivo inicial desenvolver um procedimento de cálculo expedito, cuja primeira e fundamental abordagem seria suportada por ensaios em argamassas, como propôs Okamura.

Na sua investigação, Nepomuceno definiu um intervalo de variação para cada um dos parâmetros que caracterizam o escoamento das argamassas (G_m e R_m), conducente à obtenção de betões auto-compactáveis. Para cada família de materiais finos (i.e., para cada associação de materiais finos), as dosagens de superplastificante e de água de amassadura que conduziram aos parâmetros G_m e R_m pretendidos foram determinados por estudos experimentais em argamassas adoptando uma metodologia que difere ligeiramente daquela proposta por Okamura *et al.*. Introduziu novos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) nas argamassas e de agregados grossos (V_m/V_g) nos betões e fez variar estes parâmetros abaixo e acima dos valores correspondentes propostos por Okamura *et al.*, por forma a avaliar uma possível optimização das misturas, principalmente através da redução do volume de pasta. Finalmente, analisou os parâmetros que melhor se adequaram ao controlo da resistência à compressão das argamassas e, indirectamente, ao controlo da resistência dos betões.

O método proposto por Nepomuceno é direccionado unicamente para os betões cuja viscosidade é controlada pela inclusão de uma grande quantidade de materiais finos (solução mais corrente). O método inclui um conjunto de correlações com associações binárias de materiais finos, que combinam dois tipos de cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N) e três adições: fíler calcário, cinzas volantes e fíler granítico, o que facilita a optimização da mistura e permite estimar, na fase de estudo da composição, a resistência à compressão do betão. Este método é esquematizado em várias fases, resumidas no fluxograma da Figura 3.3.

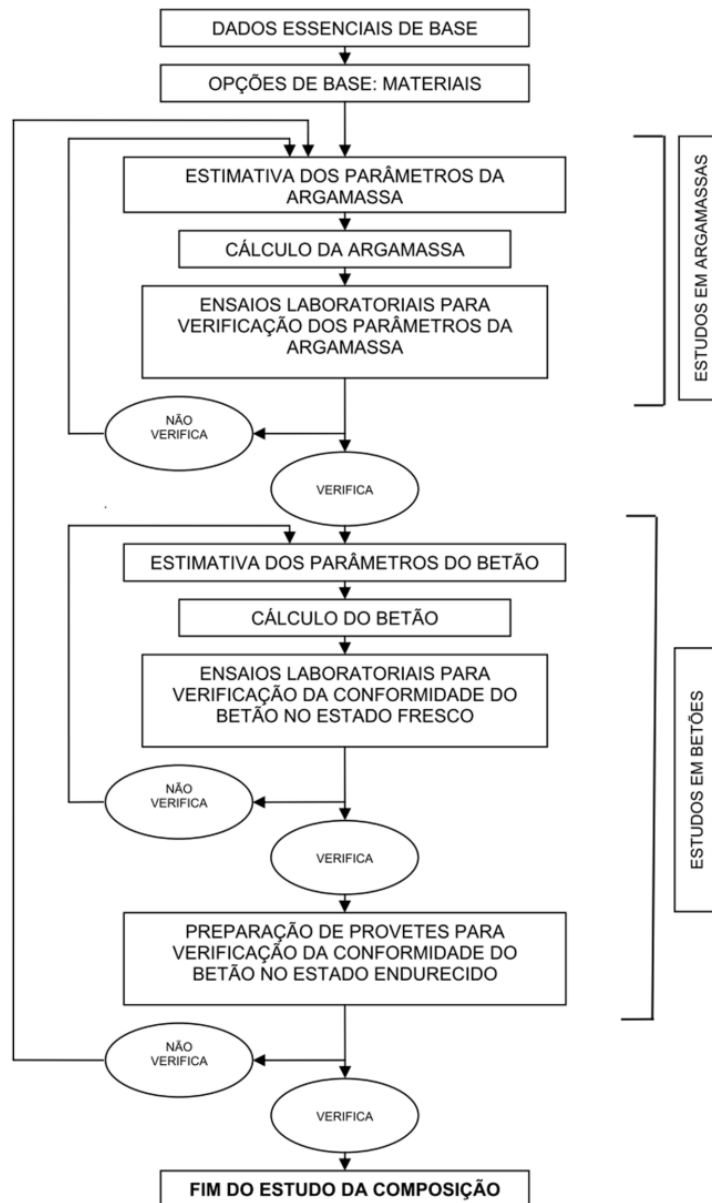


Figura 3.3 - Método de concepção da composição proposto por Nepomuceno [46]

3.4.1 - Dados essenciais de base

Numa primeira fase são definidas as propriedades pretendidas para o BAC, quer no estado fresco, quer no estado endurecido. São designados como dados essenciais de base as características de cada elemento a betonar, o espaçamento entre armaduras, a classe de exposição ambiental, condições de transporte, condições de betonagem, etc. No método descrito, as propriedades do BAC no estado endurecido são definidas apenas pela resistência à compressão, expressa pelo seu valor médio aos 28 dias de idade ($f_{cm, 28}$).

O principal requisito do betão fresco é a obtenção da auto-compactabilidade, através da adopção de agregados grossos com uma máxima dimensão de 19,1 mm e ensaios de auto-compactabilidade com espaçamentos reduzidos entre varões, de forma a ter um grau de exigência elevado. Também permite determinar o grau de auto-compactabilidade pretendido, traduzido pelos parâmetros (H_2/H_1) ou (H) medidos, respectivamente, no ensaio da “Caixa-L” e da “Caixa” [46].

3.4.2 - Opções de base: Materiais

Este método permite utilizar outros materiais diferentes dos utilizados. No entanto, é necessária a obtenção de correlações adequadas para esses materiais, semelhantes às desenvolvidas neste método [46]. O tipo de ligante usado deve recair sobre o cimento CEM II/B-L32,5N ou o cimento CEM I 42,5R. A escolha da adição mineral pode ser uma cinza volante, fíler calcário ou fíler granítico. Deve-se apenas utilizar associações binárias, envolvendo um dos cimentos e uma das adições. O cimento será escolhido tendo em conta a resistência à compressão pretendida, através da análise das correlações entre a resistência à compressão dos BAC aos 28 dias de idade e a razão W/C. O superplastificante deve ser o mesmo utilizado por Nepomuceno, o Sika ViscoCrete-3000 ou um com a mesma base química [46].

Na selecção dos agregados finos pode-se optar por uma qualquer combinação de areias naturais roladas, desde que se obtenha uma curva granulométrica da mistura próxima da curva de referência do conjunto dos agregados finos ilustrada no Quadro 3.3 e na Figura 3.4.

Quadro 3.3 - Curva de referência dos agregados finos [46]

Peneiro	Malha [mm]	Areia 01	Areia 05	Mistura (Curva de Referência)
		a ₁	a ₂	
		0,40	0,60	
Percentagens acumuladas de passados				
3 □	76,20	100,00	100,00	100,00
(*) 2 □	50,80	100,00	100,00	100,00
1 □½	38,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1 □	25,40	100,00	100,00	100,00
3/4 □	19,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1/2 □	12,70	100,00	100,00	100,00
3/6 □	9,52	100,00	100,00	100,00
N.º 4	4,76	100,00	99,94	99,96
N.º 8	2,38	99,97	98,56	99,12
N.º 16	1,19	99,89	84,75	90,81
N.º 30	0,590	91,06	43,13	62,30
N.º 50	0,297	48,16	2,97	21,05
N.º 100	0,149	11,49	0,21	4,72
N.º 200	0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo		0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ▶		1,494	2,705	2,220
(*) Série secundária				
Peneiros para o cálculo do módulo de finura				

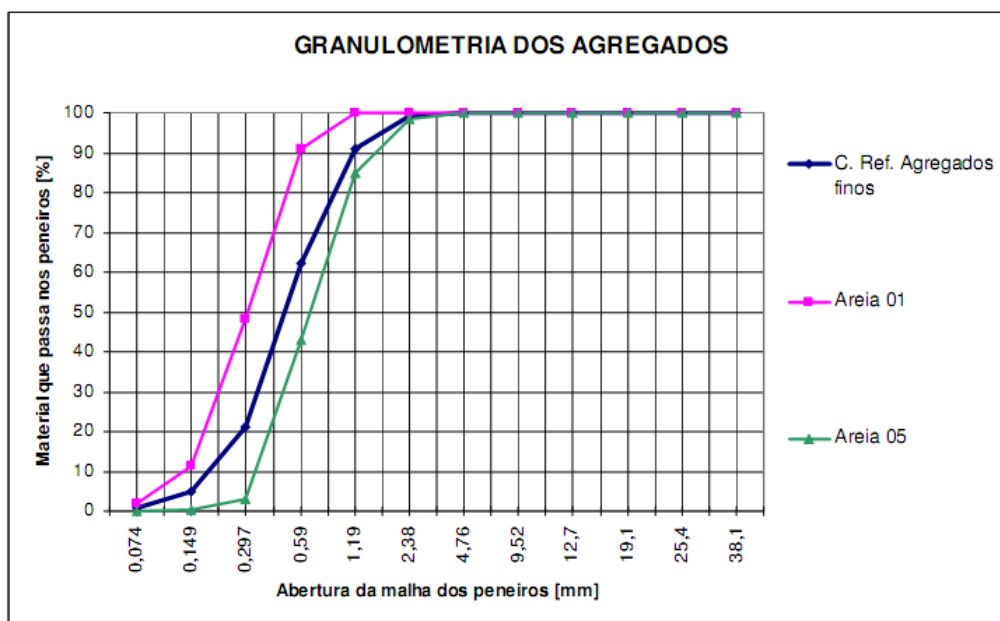


Figura 3.4 - Curva de referência dos agregados finos [46]

Na escolha dos agregados grossos deve ter-se em atenção que a máxima dimensão do agregado mais grosso não deve ultrapassar os 19,1 mm. Pode optar-se por qualquer combinação de material britado, desde que a curva granulométrica da mistura seja próxima da curva de

referência dos agregados grossos definida neste método e que se ilustra no Quadro 3.4 e na Figura 3.5.

Quadro 3.4 - Curva de referência dos agregados grossos [46]

Peneiro	Malha [mm]	Brita 3/6	Brita 6/15	Mistura (Curva de Referência)
		g1	g2	
		0,50	0,50	
Percentagens acumuladas de passados				
3□	76,20	100,00	100,00	100,00
(*) 2□	50,80	100,00	100,00	100,00
1□½	38,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1□	25,40	100,00	100,00	100,00
3/4□	19,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1/2□	12,70	100,00	89,14	94,57
3/6□	9,52	100,00	49,79	74,90
N.º 4	4,76	70,84	2,24	36,54
N.º 8	2,38	11,68	0,29	5,99
N.º 16	1,19	4,28	0,20	2,24
N.º 30	0,590	2,46	0,16	1,31
N.º 50	0,297	1,46	0,12	0,79
N.º 100	0,149	0,90	0,09	0,50
N.º 200	0,074	0,50	0,05	0,28
Resíduo		0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ▶		5,084	6,471	5,777
(*) Série secundária				
Peneiros para o cálculo do módulo de finura				

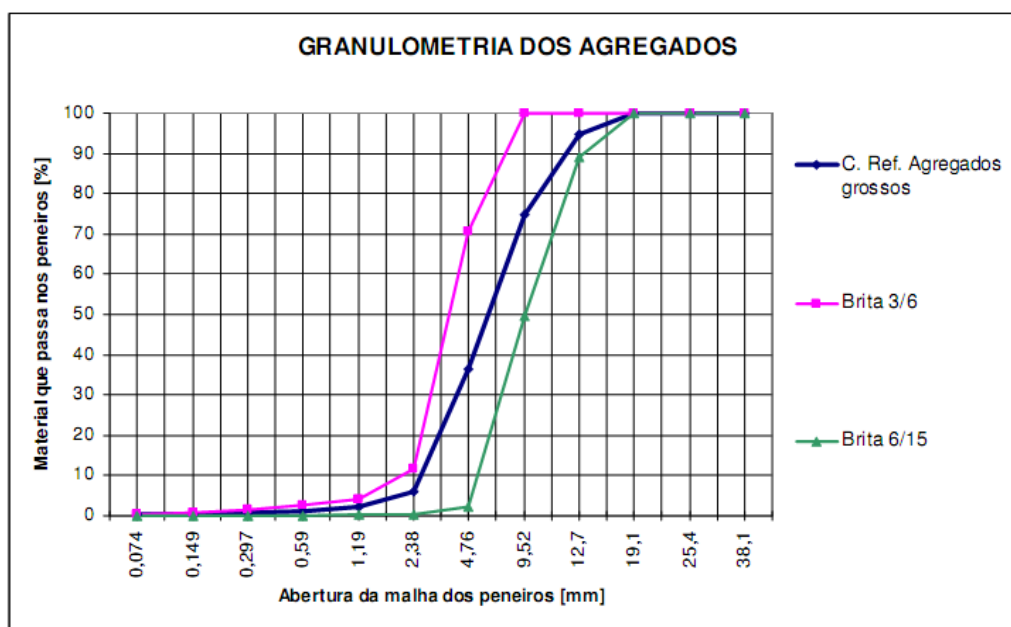


Figura 3.5 - Curva de referência dos agregados grossos [46]

3.4.3 - Estudos em argamassas

O estudo da argamassa inicia-se com a definição da razão W/C adequada, tendo como objectivo obter a resistência pretendida no betão. Após este pressuposto, é possível estimar a razão W/C desse betão, sendo a mesma que a razão W/C definida nas argamassas. A relação entre a resistência à compressão do betão e a razão W/C em massa depende do tipo de cimento, como mostra a Figura 3.6.

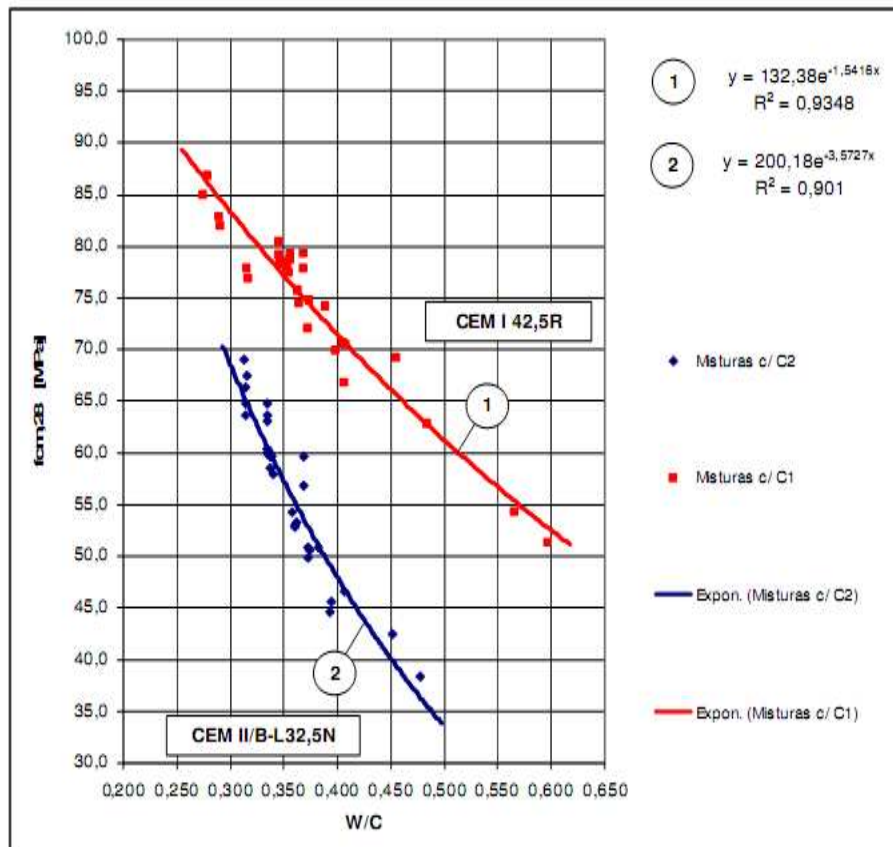


Figura 3.6 - Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C [46]

De seguida, é necessário definir-se o tipo de adição que se pretende usar. Assim, nesta fase, estão definidos o tipo de cimento, o tipo de adição e a razão W/C da argamassa.

O passo seguinte consiste em determinar a percentagem de substituição do cimento pela adição escolhida. Para isso é necessário adoptar um valor para a razão volumétrica (V_p/V_s), o qual pode variar entre 0,60 e 0,80. Para a fase inicial do estudo recomenda-se a adopção de $V_p/V_s = 0,80$. Após este procedimento, determina-se a percentagem de substituição do cimento pela adição através das correlações ilustradas da Figura 3.7 à Figura 3.12.

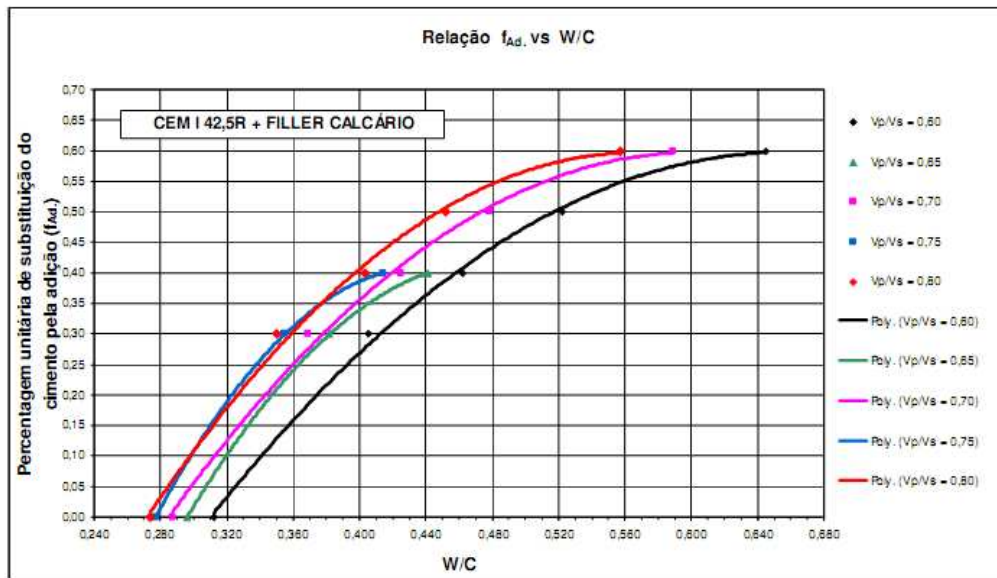


Figura 3.7 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filler calcário [46]

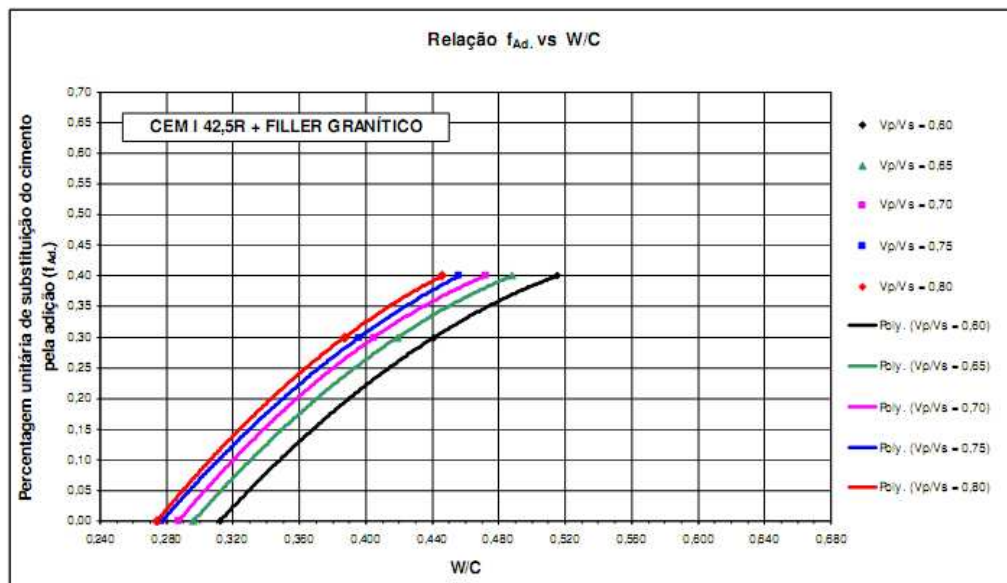


Figura 3.8 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filler granítico [46]

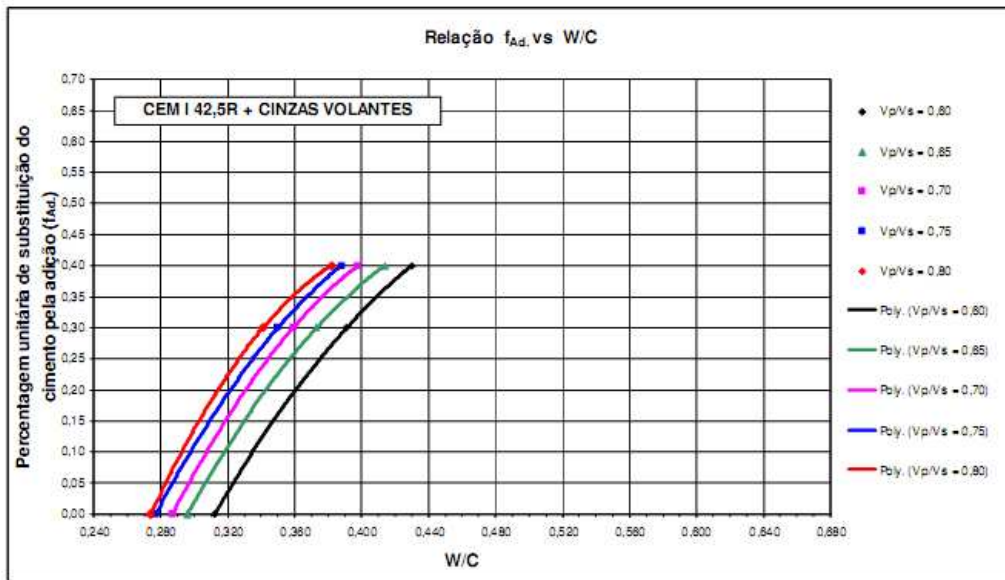


Figura 3.9 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes [46]

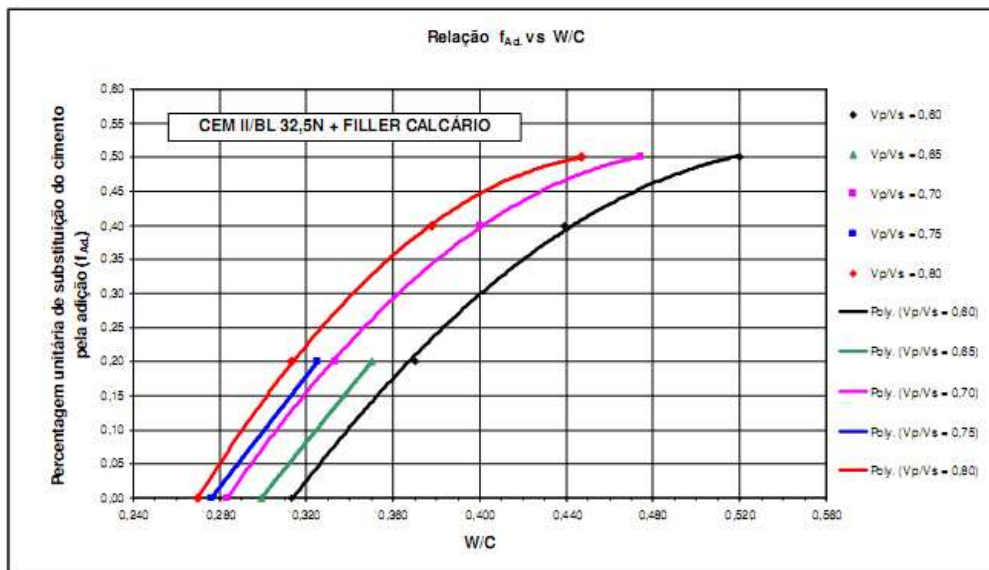


Figura 3.10 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e fíler calcário [46]

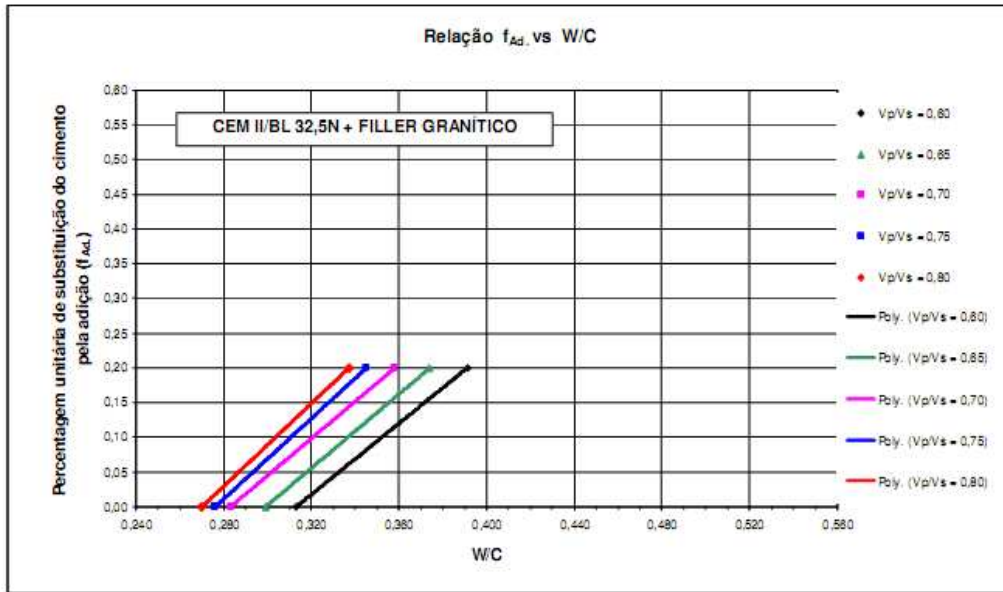


Figura 3.11 - Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e filler granítico [46]

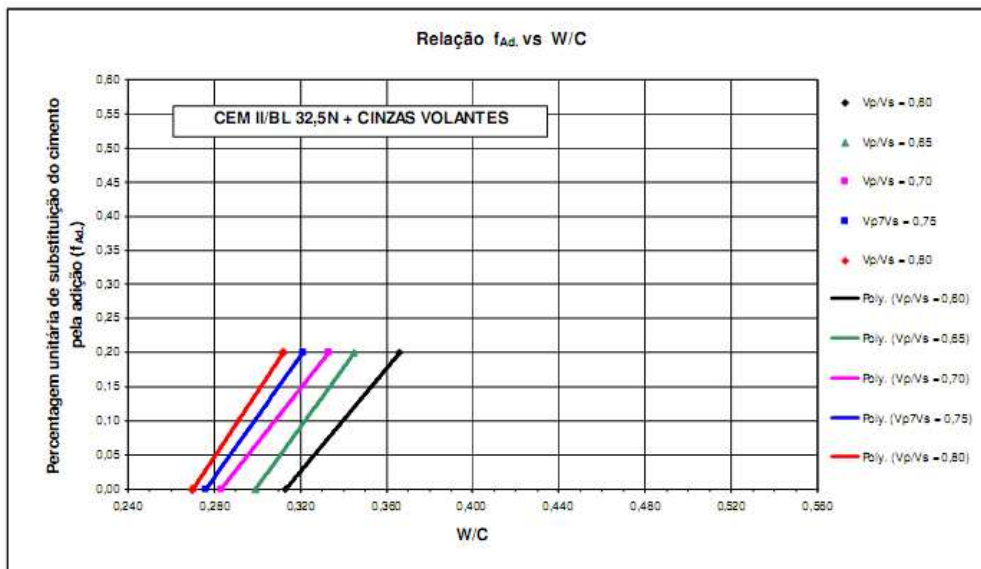


Figura 3.12 - Relação f_{Ad} vs W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e cinzas volantes [46]

Uma vez definidos o parâmetro (V_p/V_s), a “família de finos” e as fracções volumétricas das areias que conduzem à curva de referência estabelecida, determinam-se de forma experimental os valores de (V_w/V_p) e ($S_p/p\%$) que conduzem às propriedades reológicas pretendidas. Para se

definir os parâmetros iniciais, os valores de (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$ podem ser estimados através das correlações ilustradas da Figura 3.13 à Figura 3.16.

A argamassa calculada através dos parâmetros iniciais é ensaiada em laboratório para determinar os parâmetros reológicos G_m e R_m , respectivamente, através dos ensaios de espalhamento e de fluidez (“Funil-V”).

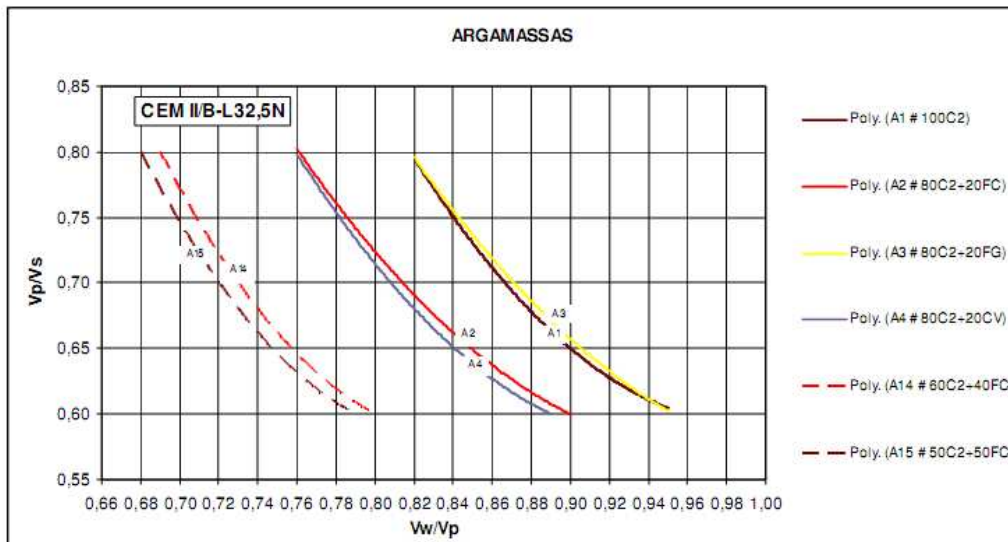


Figura 3.13 - Relação V_p/V_s vs V_w/V_p para as famílias com CEM II/B-L32,5N [46]

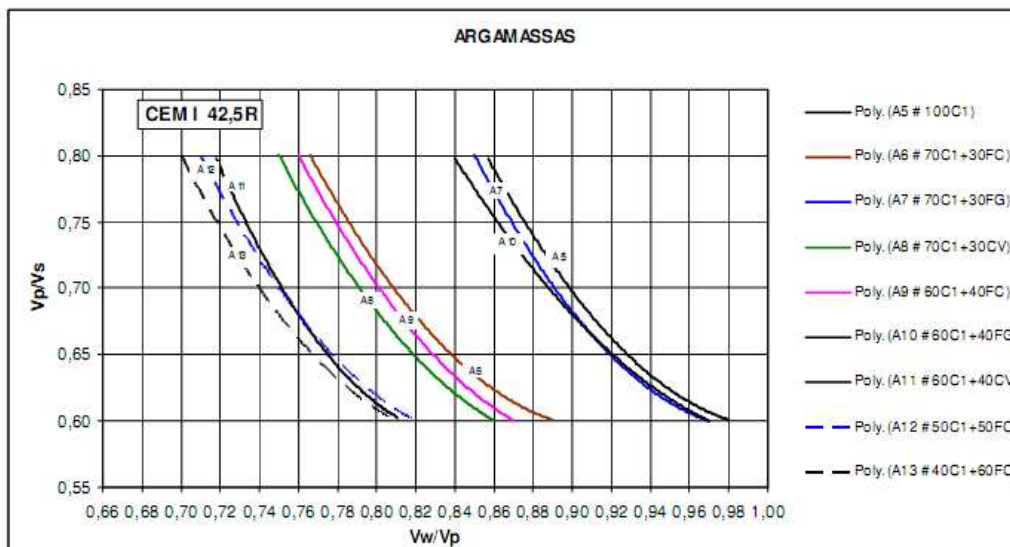


Figura 3.14 - Relação V_p/V_s vs V_w/V_p para as famílias com CEM I 42,5R [46]

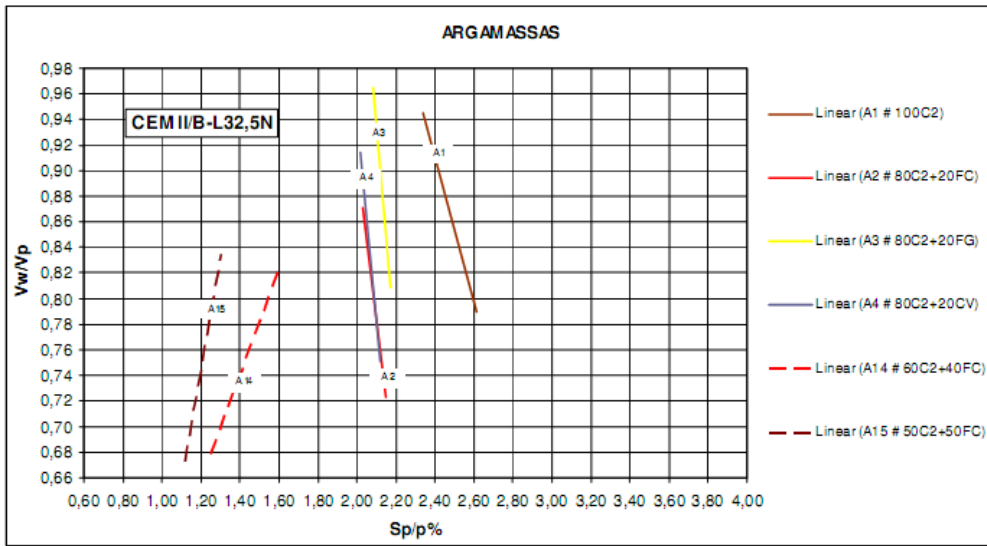


Figura 3.15 - Relação V_w/V_p vs $S_p/p\%$ para as famílias com CEM II/B-L32,5N [46]

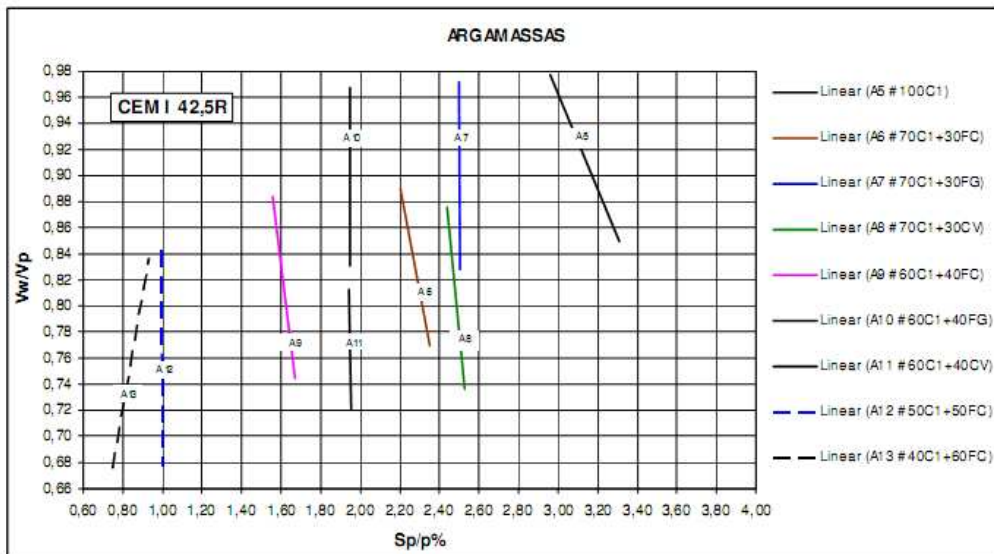


Figura 3.16 - Relação V_w/V_p vs $S_p/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R [46]

3.4.4 - Cálculo das argamassas

No cálculo das argamassas são utilizados os seguintes parâmetros:

1. Percentagem unitária em volume absoluto dos agregados finos (V_s):

$$V_s = a_1 \times V_s + a_2 \times V_s \quad \text{(Equação 3.5)}$$

Onde:

a_1 é a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/2,

a_2 é a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/4.

2. Parâmetros que definem a família de finos (V_p):

$$V_p = fc1 \times V_p + fc2 \times V_p + fcv \times V_p + fms \times V_p + ffc \times V_p + ffg \times V_p \quad \text{(Equação 3.6)}$$

Onde:

$fc1$ é percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo I 42,4R,

$fc2$ é percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo II/B-L32,5N,

fcv é percentagem unitária em volume absoluto das cinzas volantes,

fms é percentagem unitária em volume absoluto da microssílica,

ffc é percentagem unitária em volume absoluto do filer calcário,

ffg é percentagem unitária em volume absoluto do filer granítico.

3. O parâmetro que define a relação em volume absoluto entre as quantidades de materiais finos e de agregados finos (V_p/V_s);

4. O parâmetro que define a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e de materiais finos (V_w/V_p);

5. O parâmetro que representa a relação percentual em massa entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos ($S_p/p\%$).

Considerando como unidade de volume o m^3 , a fórmula fundamental do cálculo das argamassas assume a seguinte expressão:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad \text{(Equação 3.7)}$$

Onde:

V_p é o volume absoluto de materiais finos, em m^3/m^3 ,

V_w é o volume de água, em m^3/m^3 ,

V_s é o volume absoluto de agregados finos, em m^3/m^3 ,

V_{sp} é o volume de superplastificante, em m^3/m^3 ,

V_v é o volume de vazios, em m^3/m^3 .

Desprezando a contribuição do volume de vazios resulta:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = 1,0 \quad \text{(Equação 3.8)}$$

Neste caso:

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times V_p + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = 1,0 \quad \text{(Equação 3.9)}$$

Desta forma, obtêm-se:

$$V_p = \frac{1,0}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right)} \quad \text{(Equação 3.10)}$$

$$V_w = \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p \quad \text{(Equação 3.11)}$$

$$V_{sp} = \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p \quad \text{(Equação 3.12)}$$

$$V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \quad \text{(Equação 3.13)}$$

Nas expressões anteriores apenas desconhece-se o (V_{sp}/V_p), que pode ser determinado pela equação:

$$\left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) = \left(\frac{Sp}{P}\right) \times \frac{\delta_p}{\delta_{s_p}} \quad \text{(Equação 3.14)}$$

Onde:

$$\delta_p = fc1 \times \delta_{c1} + fc2 \times \delta_{c2} + f_{cv} \times \delta_{cv} + fms \times \delta_{ms} + ffc \times \delta_{FC} + ffg \times \delta_{FG} \quad \text{(Equação 3.15)}$$

e

$$\left(\frac{Sp}{P}\right) = \left(\frac{Sp}{P} \%\right) / 100 \quad \text{(Equação 3.16)}$$

Após se determinar o valor de V_p , podem ser determinadas as dosagens dos materiais finos a partir das seguintes expressões:

$$V_{c1} = fc1 \times V_p ; V_{c2} = fc2 \times V_p \quad \text{(Equação 3.17)}$$

$$V_{cv} = f_{cv} \times V_p ; V_{ms} = fms \times V_p \quad \text{(Equação 3.18)}$$

$$V_{FC} = ffc \times V_p ; V_{FG} = ffg \times V_p \quad \text{(Equação 3.19)}$$

Onde:

V_{c1} é o volume absoluto de cimento tipo I 42,5R, em m^3/m^3 ,

V_{c2} é o volume absoluto de cimento tipo II/B-L32,5N, em m^3/m^3 ,

V_{cv} é o volume absoluto de cinzas volantes, em m^3/m^3 ,

V_{ms} é o volume absoluto de microsilica, em m^3/m^3 ,

V_{FC} é o volume absoluto de fíler calcário, em m^3/m^3 ,

V_{FG} é o volume absoluto de fíler granítico, em m^3/m^3 ,

Os restantes parâmetros assumem o significado já anteriormente referido.

Também, conhecido o valor de V_s , podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados finos a partir das expressões:

$$V_{s1} = a_1 \times V_s \quad \text{(Equação 3.20)}$$

$$V_{s2} = a_2 \times V_s \quad \text{(Equação 3.21)}$$

Onde:

V_{s1} é o volume absoluto do agregado fino 1 (Areia 0/2), em m^3/m^3 ,

V_{s2} é o volume absoluto do agregado fino 2 (Areia 0/4), em m^3/m^3 ,

a_1 é a percentagem unitária do agregado fino 1 (Areia 0/2),

a_2 é a percentagem unitária do agregado fino 2 (Areia 0/4).

A necessidade de fazer um número elevado de argamassas fez com que Nepomuceno desenvolvesse uma folha de cálculo (em Excel) para o estudo das argamassas. Esta folha de cálculo também vai ser utilizada neste trabalho, permitindo determinar com maior rapidez as quantidades dos materiais para as argamassas [46]. A verificação dos parâmetros reológicos faz-se com a realização do ensaio de espalhamento e o ensaio de fluidez (“Funil-V”) [46].

3.4.5 - Estudos em betões

O estudo da composição do betão faz-se mediante a definição do volume de vazios (V_v) e da razão (V_m/V_g) que é determinada consoante a auto-compactabilidade pretendida. O volume de vazios (V_v) assume um valor constante de $0,030 m^3$ por m^3 de betão. Os resultados obtidos neste método permitiram concluir que o ensaio da “Caixa-L” é o mais recomendado para avaliar o grau de auto-compactabilidade através do parâmetro (H_2/H_1) [46].

Nepomuceno [46] introduz um novo parâmetro na sua proposta designado (MN), que é o produto do parâmetro (V_p/V_s) pelo parâmetro (V_m/V_g). Definido o parâmetro (MN) e o parâmetro V_p/V_s é possível determinar o parâmetro (V_m/V_g). O parâmetro (MN) pode ser definido através da Figura 3.17 tendo em conta o grau de auto-compactabilidade avaliado pelo parâmetro (H_2/H_1) no ensaio da “Caixa-L” e o diâmetro médio de espalhamento avaliado no ensaio de espalhamento (D_m).

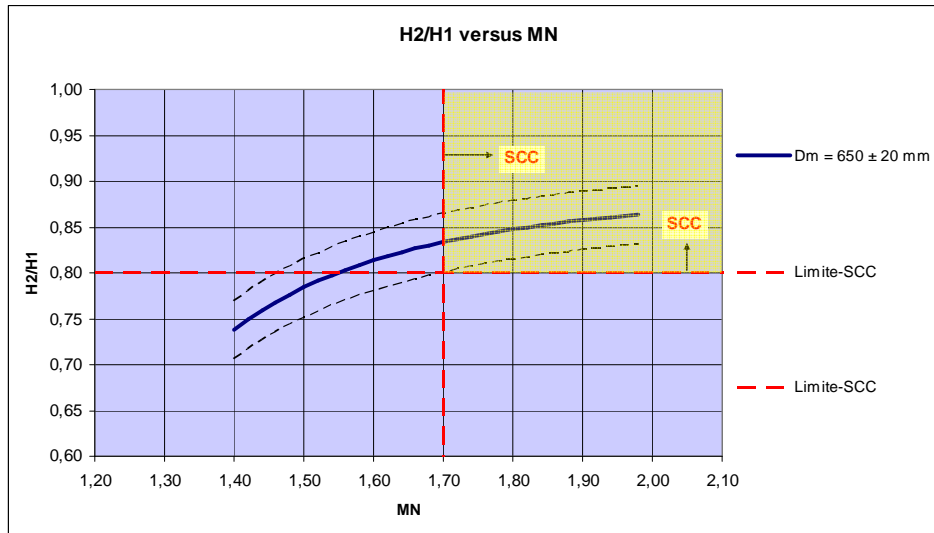


Figura 3.17 - Relação entre MN e H2/H1 quando Dm varia entre os 630 e 670 mm [46]

O gráfico apresentado na Figura 3.17 traduz o modelo geral proposto por Nepomuceno [46] quando o diâmetro de espalhamento assume o valor constante de 650 mm. Esse modelo é traduzido graficamente na Figura 3.18 e analiticamente pela Equação 3.22, apresentando um coeficiente de correlação próximo de 0,90. Na Equação 3.22, as constantes assumem os seguintes valores: $a = 2,188490958$; $b = -0,09966278$ e $c = -673,282885$.

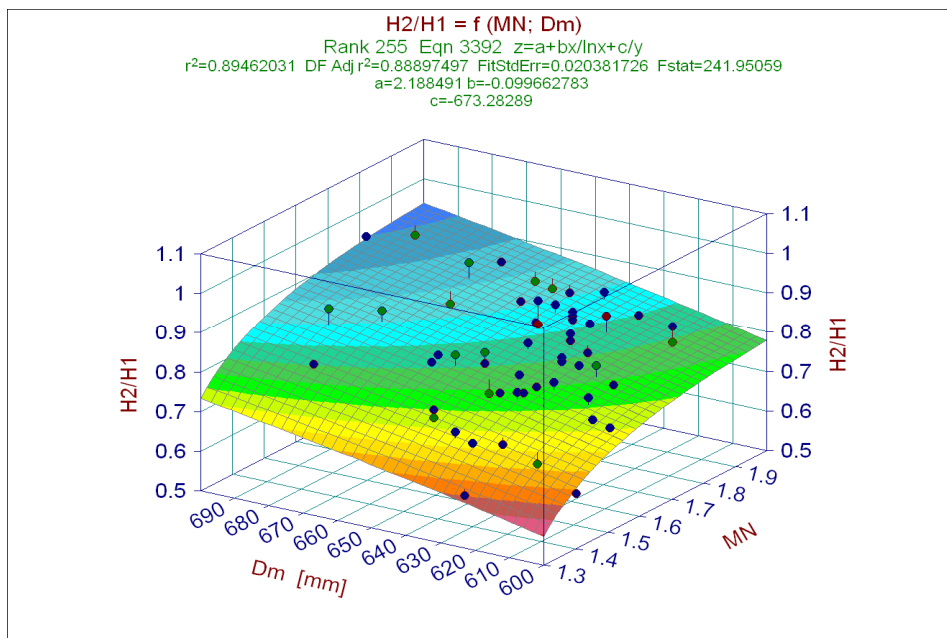


Figura 3.18 - Modelo matemático para a auto-compactabilidade - “Caixa-L” [46]

$$\frac{H2}{H1} = a + b \times \frac{MN}{\ln(MN)} + \frac{c}{Dm} + \frac{x^3}{a!} \quad \text{(Equação 3.22)}$$

Após se determinarem todos os parâmetros, procede-se ao cálculo dos betões. Desta forma, Nepomuceno apresenta um exemplo para uma situação de dois agregados finos, três agregados grossos e uma qualquer mistura de finos [46].

No cálculo dos betões são utilizados os seguintes parâmetros:

1. Percentagem unitária em volume absoluto dos agregados finos (V_s):

$$V_s = a_1 \times V_s + a_2 \times V_s \quad \text{(Equação 3.23)}$$

Onde:

a_1 é a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/2,

a_2 é a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/4.

2. Percentagem unitária em volume absoluto dos agregados grossos (V_g):

$$V_g = g_1 \times V_g + g_2 \times V_g + g_3 \times V_g \quad \text{(Equação 3.24)}$$

Onde:

g_1 é a percentagem unitária em volume absoluto da Brita 3/6,

g_2 é a percentagem unitária em volume absoluto da Brita 6/15,

g_3 é a percentagem unitária em volume absoluto da Brita 15/25.

3. Parâmetros que definem a família de finos (V_p):

$$V_p = fc1 \times V_p + fc2 \times V_p + fcv \times V_p + fms \times V_p + ffc \times V_p + ffg \times V_p \quad \text{(Equação 3.25)}$$

Onde:

$fc1$ é percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo I 42,4R,

$fc2$ é percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo II/B-L32,5N,

fcv é percentagem unitária em volume absoluto das cinzas volantes,

fms é percentagem unitária em volume absoluto da microssilica,

ffc é percentagem unitária em volume absoluto do fíler calcário,

ffg é percentagem unitária em volume absoluto do fíler granítico.

4. O parâmetro que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos (V_m/V_g);

5. O parâmetro que define a relação em volume absoluto entre as quantidades de finos e de agregados finos (V_p/V_s);

6. O parâmetro que define a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e de materiais finos (V_w/V_p);

7. O parâmetro que representa a relação percentual em massa entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos ($S_p/p\%$).

A fórmula fundamental do cálculo dos betões para um volume de 1m^3 é a seguinte:

$$V_p + V_w + V_s + V_g + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad \text{(Equação 3.26)}$$

Onde:

V_p é o volume absoluto de materiais finos, em m^3/m^3 ,

V_w é o volume de água, em m^3/m^3 ,

V_s é o volume absoluto de agregados finos, em m^3/m^3 ,

V_g é o volume absoluto de agregados grossos, em m^3/m^3 ,

V_{sp} é o volume de superplastificante, em m^3/m^3 ,

V_v é o volume de vazios, em m^3/m^3 .

Considerando:

$$V_m = 1 - V_g - V_v \quad \text{(Equação 3.27)}$$

Da fórmula fundamental resulta:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = V_m \quad \text{(Equação 3.28)}$$

Ou seja:

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times V_p + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = V_m \quad \text{(Equação 3.29)}$$

Onde:

$$V_m = V_g \times \left(\frac{V_m}{V_g} \right) \quad \text{(Equação 3.30)}$$

Assim, obtêm-se as seguintes expressões para o cálculo dos betões:

$$V_g = \frac{1 - V_v}{1 + \left(\frac{V_m}{V_g} \right)} \quad \text{(Equação 3.31)}$$

$$V_m = V_g \times \left(\frac{V_m}{V_g} \right) \quad \text{(Equação 3.32)}$$

$$V_p = \frac{V_m}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p} \right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)} + \left(\frac{V_{sp}}{V_p} \right)} \quad \text{(Equação 3.33)}$$

$$V_w = \left(\frac{V_w}{V_p} \right) \times V_p \quad \text{(Equação 3.34)}$$

$$V_{sp} = \left(\frac{V_{sp}}{V_p} \right) \times V_p \quad \text{(Equação 3.35)}$$

$$V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)} \quad \text{(Equação 3.36)}$$

Nota-se que:

$$\left(\frac{V_{sp}}{V_p} \right) = \left(\frac{S_p}{p} \right) \times \frac{\delta_p}{\delta_{s_p}} \quad \text{(Equação 3.37)}$$

Onde:

$$\delta_n = \sum (\text{Percentagem do fino } i \times \text{Massa volúmica do fino } i) \quad \text{(Equação 3.38)}$$

e

$$\left(\frac{Sp}{p}\right) = \left(\frac{Sp}{p}\% \right) / 100 \quad \text{(Equação 3.39)}$$

Uma vez conhecido o valor de V_p , podem ser determinadas as dosagens dos materiais finos (V_i) a partir da expressão:

$$V_i = \text{Percentagem do fino } i \times V_p \quad \text{(Equação 3.40)}$$

Da mesma forma, conhecido o valor de V_s podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados finos a partir da seguinte expressão:

$$V_{s1} = a_1 \times V_s \text{ e } V_{s2} = a_2 \times V_s \quad \text{(Equação 3.41)}$$

Onde:

V_{s1} é o volume do agregado fino 1 (Areia 0/2), em m^3/m^3 ,

V_{s2} é o volume do agregado fino 2 (Areia 0/4), em m^3/m^3 ,

a_1 é a percentagem unitária do agregado fino 1 (Areia 0/2), em volume absoluto no total de agregados finos,

a_2 é a percentagem unitária do agregado fino 2 (Areia 0/4), em volume absoluto no total de agregados finos.

Conhecido ainda o valor de V_g podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados grossos a partir da expressão:

$$V_{g1} = g_1 \times V_g, V_{g2} = g_2 \times V_g \text{ e } V_{g3} = g_3 \times V_g \quad \text{(Equação 3.42)}$$

Onde:

V_{g1} é o volume do agregado grosso 1 (Brita 3/6), em m^3/m^3 ,

V_{g2} é o volume do agregado grosso 2 (Brita 6/15), em m^3/m^3 ,

V_{g3} é o volume do agregado grosso 3 (Brita 15/25), em m^3/m^3 ,

g_1 é a percentagem unitária do agregado grosso 1 (Brita 3/6), em volume absoluto no total de agregados grossos,

g_2 é a percentagem unitária do agregado grosso 2 (Brita 6/15), em volume absoluto no total de agregados grossos,

g_3 é a percentagem unitária do agregado grosso 3 (Brita 15/25), em volume absoluto no total de agregados grossos.

Através das massas volúmicas é possível converter as dosagens em volume absoluto para valores em massa, obtendo-se assim dosagens por m^3 de betão. Foi desenvolvida uma folha de cálculo em Excel para determinar mais rapidamente as dosagens dos constituintes do betão.

3.5 - Conclusões

Têm sido realizados vários estudos para a obtenção de BAC de forma a dar resposta às características exigidas. Relativamente ao cálculo de misturas de BAC, é de referir três métodos, pela sua aceitação generalizada: o método proposto por Okamura *et al.*, o método proposto pela JSCE e o método de Nepomuceno.

O método de Okamura *et al.* [13, 45, 68] foi pioneiro no desenvolvimento do BAC, apesar da sua simplicidade serviu como base para muitos outros métodos. É um método conservador uma vez que garante sempre a auto-compactabilidade acima do que seria exigido. Apresenta como principal limitação a ausência de qualquer referência quanto ao nível de resistência à compressão pretendida para um dado betão. No entanto, a baixa razão W/C imposta pelo método resulta em resistências aceitáveis para a maior parte das estruturas.

O método proposto pela JSCE [13, 45] é o único que lida directamente com a possibilidade de utilização de agentes de viscosidade, podendo variar as dosagens de água, materiais finos e também a razão água/materiais finos. Este método estabelece três níveis de requisitos funcionais e de auto-compactabilidade na abordagem ao betão fresco. Assim, dependendo das exigências da estrutura é definido o nível de auto-compactabilidade.

Reconhece-se a necessidade de adequar os métodos de cálculo à realidade, pelo que têm sido desenvolvidos, nomeadamente em Portugal, alguns estudos nessa área, nomeadamente a Tese de Miguel Nepomuceno [46] com o tema “Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis”. Este método serviu de base para o presente trabalho, no processo de cálculo. Apresenta algumas vantagens em relação aos anteriores, nomeadamente:

- Preocupação em simplificar o processo com a realização do menor número possível de misturas experimentais;
- Tentativa de redução das quantidades de pasta e conseqüente redução dos custos;
- Procura de um melhor comportamento do betão no estado endurecido no que diz respeito a fenómenos tais como retracção e fluência;
- Relacionar na fase de cálculo a resistência mecânica pretendida com os parâmetros de base;
- Optimização geral de todo o processo de cálculo.

O método de Nepomuceno [46] introduziu novos parâmetros para melhor controle da resistência à compressão. Neste método foram estudadas as argamassas separadamente dos betões. No estudo das argamassas é estabelecida a razão W/C em função da resistência pretendida, coincide com a razão W/C dos betões.

Nesta fase é também definido o parâmetro V_p/V_s que deve situar-se entre 0,65 e 0,80. Definidos estes parâmetros determina-se a percentagem de substituição do cimento pela adição através das correlações. Para concluir o estudo das argamassas, determina-se experimentalmente os parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$ que conduzem às propriedades reológicas estabelecidas e definidas por R_m e G_m e que por sua vez são avaliados através dos ensaios de espalhamento e de fluidez.

No estudo dos betões o volume de vazios é definido como uma constante da ordem $V_v = 0,03 \text{ m}^3$.

O parâmetro V_m/V_g é definido em função do grau de auto-compactabilidade pretendido para o betão e avaliada através do parâmetro H_2/H_1 na “Caixa-L”. Este método introduz ainda nesta fase o parâmetro MN que é o produto dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g .

Capítulo 4 - Resíduos de Construção e Demolição

4.1 - Introdução

A utilização dos RCD, de forma ordenada e bem fiscalizada, traz vantagens económicas, sociais e ambientais. Assim, ocorre economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais pelos RCD, diminuição da poluição gerada pelo entulho e suas consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos, preservação de recursos naturais não renováveis, aumento da vida útil dos aterros, etc. [1]. Portugal, a par da Espanha, da Grécia e da Irlanda, apresentam os valores mais baixos de utilização dos RCD. A Holanda e a Bélgica são os países que fazem mais reciclagem dos materiais [1].

4.2 - Caracterização dos resíduos de construção e demolição

A sustentabilidade da construção, tem sido objecto de estudo nos últimos anos, nas áreas da qualidade, segurança e tecnologias que permitam poupar a utilização de recursos naturais e energéticos. Uma vez que o sector da construção civil produz resíduos em grandes quantidades, há necessidade de reciclar os materiais para serem reaproveitados.

4.2.1 - Definição

São considerados RCD quaisquer resíduos oriundos das actividades de construção, quer sejam construções novas, reparações, demolições, quer envolvam actividades de obras de arte, solos ou resíduos de vegetação presentes nas limpezas de terreno [35, 3].

4.2.2 - Consequências da geração de RCD

Apesar da construção civil ser uma actividade que sempre produziu resíduos, só nas últimas décadas houve preocupação com a gestão destes. Assim, torna-se imperativo a redução dos detritos, devido às razões económicas e ambientais que deles advêm, tais como, o consumo de recursos naturais, de energia e a poluição. Neste sentido, para melhorar a gestão dos resíduos têm sido efectuados vários estudos, com o objectivo de implementar medidas [48].

Sabe-se que o volume de RCD depende da intensidade da actividade de construção em cada país e da tecnologia empregada. Atendendo a este pressuposto, de acordo com o Ministério do Ambiente e Ornamento do Território, estima-se que na União Europeia a construção civil produza uma quantidade RCD equivalente a 22% do total de resíduos produzidos, correspondendo a 100 milhões de toneladas de RCD produzidos anualmente [1]. Em Portugal, em 2005, estima-se que a produção de RCD foi de 7,5 milhões de toneladas [1]. Salienta-se também o estudo efectuado por Pereira *et al.* [43] sobre gestão dos resíduos de construção e demolição na Zona Norte de Portugal. Este revela que são produzidos anualmente cerca de 2,1 milhões de toneladas de RCD. Anualmente são produzidas cerca de 800 000 toneladas de resíduos minerais (betão, alvenarias, etc.), das quais 85% se destinam a aterro. A taxa média de reciclagem de RCD é de cerca de 5%.

O destino a dar a estes resíduos é actualmente uma das maiores dificuldades e preocupações dos intervenientes no sector da construção, devido aos elevados custos de aterro, transporte e à escassez de locais próprios para a recepção destes materiais.

O aproveitamento destes materiais ou fracção, é maior quanto menor for a presença dos poluentes e matérias indesejáveis. Assim, deve evitar-se a presença de materiais prejudiciais para o ambiente ou comprometam o desempenho do betão. Os poluentes mais comuns são o amianto e outras fibras minerais, os metais pesados, alguns solventes e tintas com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Desta forma a demolição deve ser selectiva e criteriosa [25].

Neste contexto, os RCD, necessitam de ser avaliados face ao risco de conter constituintes poluentes e contaminante.

4.3 - Processamento dos RCD

Segundo Ferreira [29], a reciclagem dos RCD envolve o processo de separação, britagem e peneiração. Este processo é realizado em centrais de reciclagem para a obtenção de agregados reciclados. Para se obter um material reciclado de qualidade, é essencial a separação dos diferentes tipos de material, antes da britagem. A qualidade do produto final está relacionada com o tipo de material a ser processado, a metodologia adoptada durante o processo de triagem, bem como das características da central de reciclagem. Neste contexto, a escolha das técnicas de processamento a serem utilizadas está relacionada com o grau de contaminação (impurezas) dos resíduos e à aplicação a que se destinam. As impurezas como metais, madeiras, plásticos, etc., podem ser removidas manualmente ou através de equipamentos de separação e classificação (separador magnético, tanque de depuração por flutuação ou classificador por ar).

Assim, de forma a garantir a protecção do meio ambiente, protecção da saúde das pessoas, e para os agregados reciclados serem usados no betão, a legislação de Portugal e da Comunidade europeia, prevê a realização de ensaios de lixiviação, exigindo a classificação de resíduos para demolição em aterro para resíduos inertes [25].

4.3.1 - Tipos de demolição

Tendo várias proveniências, os RCD podem-se dividir em 3 grupos, tendo em conta a obra de origem [32]:

- Resíduos de construção;
- Resíduos de reabilitação;
- Resíduos de demolição.

Os resíduos de construção resultam maioritariamente do sobredimensionamento dos materiais necessários, desperdícios decorrentes dos processos construtivos como, embalagens ou restos de materiais não utilizados ou danificados. Os resíduos de demolição são materiais provenientes da demolição de construções e estruturas, constituídos na sua maioria por material inerte. A composição destes depende do tipo de obra a ser demolida, da localização geográfica da obra, da época de construção e do tipo edifício enquanto funcional. No entanto, estes resíduos podem conter contaminantes perigosos como o amianto.

Os resíduos provenientes de reabilitações e remodelações envolvem em geral uma menor quantidade por obra, apresentando diversas composições, dependendo do tipo de reabilitação em causa. Geralmente, assemelham-se com os resíduos de demolição, mas apresentam maior quantidade de materiais típicos de interiores [32].

Atendendo, às várias proveniências dos RCD, é importante fazer-se uma demolição selectiva, para que os materiais resultantes desta cheguem nas condições apropriadas às centrais de reciclagem, o que permite uma melhoria dos materiais a reciclar e redução dos trabalhos de selecção na estação de reciclagem [32].

4.3.2 - Centrais de reciclagem

As centrais de reciclagem permitem o tratamento dos RCD, produzindo agregados reciclados. Assim, o local de instalação de uma central de reciclagem de RCD deve ser o mais próximo possível das fontes geradoras de RCD e dos locais de uso dos reciclados [29]. Estas centrais

podem classificar-se, segundo a sua capacidade de produção, em centrais fixas ou estacionárias (600 toneladas/h ou mais) e em centrais móveis (120 a 200 toneladas/h) [94].

As centrais fixas estão sempre no mesmo local e são as mais comuns, têm elementos transportadores e vários peneiros e possuem frequentemente dois tipos de britadeiras. Os RCD são transportados até estas centrais. De acordo com Ferreira, as principais vantagens deste tipo de estação são [29]:

- Possibilidade de obtenção de produtos reciclados mais diversificados e de melhor qualidade que os produzidos obtidos pelas unidades móveis;
- Possibilidade de utilização de equipamentos maiores e mais potentes que permitem um melhor processo de trituração, retirada de impurezas e peneiração que os equipamentos utilizados em unidades móveis.

No entanto, estas centrais apresentam algumas desvantagens, como:

- O alto investimento;
- Necessidade de grande área para implantação;
- Maiores custos associados ao transporte do material a processar [29].

As centrais móveis podem ser instaladas no local da demolição, têm geralmente uma entrada única de alimentação, uma cinta transportadora, uma britadeira e um ou dois peneiros diferentes [94].

Ferreira também descreve, as principais vantagens deste tipo de central, tais como [29]:

- 1) Custos menores que os das centrais fixas;
- 2) Menor tempo de instalação;
- 3) Redução dos custos de transporte do material de demolição para a central de reciclagem.

A principal desvantagem identificada por Ferreira [29] é a qualidade do produto final ser inferior ao produzido nas centrais fixas.

4.3.3 - Regulamentação existente

Em 1993, o comitê técnico de RILEM (*International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures*), preparou uma especificação para betão com agregados reciclados, a qual, descreve a aplicação de agregados grossos reciclados, com mais de 4 mm em betão [77]. Esta especificação classifica três tipos de agregados, segundo a sua composição:

Tipo I - Agregados provenientes de detritos de alvenaria;

Tipo II - Agregados provenientes de detritos de betão;

Tipo III - Agregados provenientes de uma mistura de agregados naturais e reciclados.

A composição dos agregados do tipo III deve ser pelo menos 80% de agregados naturais e, no máximo 10% de agregados tipo I.

Em Maio de 2006, o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) elaborou a pré-norma prE469 “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos” [32, 25]. Mais tarde, em Setembro de 2006, foi publicada a versão final do documento, a E471 “Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos”. Este guia denomina os agregados grossos reciclados abrangidos pela NP EN 12620 em “Agregados para betão” e estabelece os requisitos mínimos que, devem respeitar para serem utilizados no fabrico de betão de ligantes hidráulicos. Neste guia não constam exigências para os agregados reciclados finos, nem regras para a sua aplicação, por possuírem, frequentemente, uma elevada percentagem de elementos com dimensão inferior a 0,063 mm e uma maior absorção de água, dificultando o controlo da trabalhabilidade e comprometendo a resistência mecânica do betão.

A Especificação LNEC estabelece três classes de agregados provenientes de RCD, tais como [25]:

- ARB1 e ARB2 - constituídas principalmente por betão, que pode estar ou não misturado com agregados não ligados;
- ARC (agregados reciclados compostos) - constituídos por betão, agregados não ligados e os elementos de alvenaria, não havendo exigências quanto às percentagens relativas de cada um deles.

Cada tipo de agregado deve obedecer a determinada composição (Quadro 4.1) e requisitos (Quadro 4.2).

Quadro 4.1 - Composição dos agregados reciclados [32]

Constituintes	ARB1	ARB2	ARC
Betão (%)	90	70	90
Agregados não ligados (%)			
Alvenaria (%)	10	30	
Materiais betuminosos (%)	5	5	10
^a Partículas leves (%)	1	1	1
^b Outros materiais	0,2	0,5	1

^a material com massa volúmica inferior a 1000 kg/m³; caso das partículas leves sejam constituintes minerais não prejudiciais para o betão e para o acabamento superficial, o limite estabelecido pode atingir 3%.

^b vidro, solos argilosos, plásticos, borrachas, metais e matérias putrescíveis.

Quadro 4.2 - Requisitos dos agregados [32]

Requisitos	ARB1	ARB2	ARC
Massa volúmica (kg/m ³)	≥ 2200		≥ 2000
Absorção de água (%)	≤ 7		≤ 7
Teor em finos (%)	≤ 4		≤ 3
Teor de sulfatos solúveis em ácido (%)	≤ 0,8		≤ 0,8

Conforme o Quadro 4.2, as diferenças de composição entre agregados na classe ARB1 pode ter mais facilidade em cumprir estes requisitos, ou para cumprir estes requisitos a composição de RCD se aproxima com mais frequência da classe ARB1. De referir que os ARB2 têm dificuldade em preencher estes requisitos, tanto o betão como a alvenaria, que tenham nos seus constituintes uma quantidade significativa de argamassa. Numa situação padrão, em que a massa volúmica dos agregados de betão ronda os 2300 kg/m³ e a dos agregados de alvenaria os 2000 kg/m³, qualquer um destes tipos de agregados cumprirá as exigências requeridas [32]. Quanto à classe de agregados ARC, apenas haverá dificuldade em respeitar o limite de 2000 kg/m³ caso a composição dos agregados seja exclusivamente constituída por alvenaria.

De referir que, os ARC e os ARB têm o mesmo teor máximo de absorção de água, o que pode provocar uma maior dificuldade do cumprimento dos requisitos para os ARC, uma vez que, com a massa volúmica mínima associada a esta classe de agregados, é de esperar que os agregados tenham uma absorção de água a rondar 10%. Os agregados das classes ARB1 e ARB2 podem ser

utilizadas no fabrico de betão para aplicação em betão armado estrutural. Nestas situações, a proporção máxima de agregados reciclados de betão, no conjunto dos agregados, é 25% para os agregados da classe ARB1 e de 20% para os agregados da classe ARB2. No betão simples, de enchimento ou regularização, a percentagem de substituição pode ser total desde que o betão seja aplicado em ambientes não agressivos. No Quadro 4.3 está explícita a classe máxima de resistência e as condições ambientais permitidas [25].

Quadro 4.3 - Classes de resistência e de exposição ambiental permitidas [25]

Classe do agregado	Classe de resistência	Percentagem de incorporação	Classe de exposição ambiental
ARB1	C 40 / 50	25 %	X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, a XA1
ARB2	C 35 / 45	20 %	

^a em fundações

O guia mencionado limita a taxa de substituição de agregados naturais por reciclados, de forma a evitar grandes variações do módulo de elasticidade, fluência, retracção e durabilidade. Para aplicações em betão armado a proporção máxima de agregados reciclados de betão, no conjunto dos agregados, é de 25% para os agregados da classe ARB1 e de 20% para os agregados da classe ARB2. A utilização de agregados reciclados da classe ARC só é permitida em betões de enchimento ou de regularização, sem qualquer função estrutural e em ambientes não agressivos. No entanto, a utilização de percentagens superiores de agregados reciclados é autorizada desde que sejam realizados estudos específicos [25].

4.3.4 - Aplicação dos RCD

4.3.4.1 - Argamassas

Durante o processo de britagem dos RCD, mesmo quando o objectivo é a produção de agregados grossos, existe uma fracção fina de agregados reciclados produzida. Esta fracção fina dos agregados reciclados influencia negativamente as propriedades do betão [32].

As argamassas constituem uma solução para a utilização da fracção fina dos RCD, pois possuem características que as tornam adequadas à utilização na construção. Estas podem ser utilizadas como revestimento ou assentamento. O revestimento pode ser problemático devido às grandes variações de composição, distribuição granulométrica ou existência de contaminantes nos agregados reciclados, sendo necessário um controlo mais apertado para a sua utilização [32].

4.3.4.2 - Pavimentos rodoviários

A utilização de RCD na construção de pavimentos rodoviários em camadas de base e sub-base é a forma mais simples e económica de aplicação dos materiais reciclados. Isto porque não exige um elevado controlo a nível granulométrico e permite reduções importantes no custo da produção dos agregados, por não ser exigente na selecção dos resíduos [80].

Nas estradas, os agregados finos podem ser usados em várias funções, como estabilizantes nas bases dos pavimentos rodoviários, na absorção de manchas de óleo existentes no pavimento ou para regular a acidez dos solos através da elevada alcalinidade do betão. Em Portugal, em Lisboa, na zona da Expo 98, foi feita a reutilização de fragmentos de demolição de paredes de alvenaria e de elementos de betão de construções, o que permitiu a reciclagem de agregados e sua reutilização como sub-base de pavimentos rodoviários [81].

4.3.4.3 - Sistemas de drenagem

Os RCD podem ser empregues em sistemas de drenagem, com funções de camada drenante em aterro de resíduos sólidos, como elementos de filtro em fossas sépticas, como drenos em trincheiras e valas subterrâneas ou como elemento substituinte em estacas de brita para acelerar recalques e melhorar a capacidade de carga em depósitos de solos moles [32]. A grande porosidade nos RCD de granulometria mais grossa revela uma elevada capacidade de absorção de água, sendo numa vantagem em áreas com dificuldade de escoamento de água.

4.3.4.4 - Betão

A utilização de agregados reciclados em betão é uma forma de se tirar proveito económico dos RCD, no entanto continua a ser objecto de estudo, pois sua utilização não é consensual. O betão produzido com agregados reciclados tem características diferentes das do betão convencional, dependendo do tipo e qualidade dos agregados utilizados. Pode-se obter betão sem funções estruturais, betões com funções estruturais e classes de resistência ditas “normais” e betões de alta resistência [32].

4.3.4.5 - Utilização de agregados reciclados grossos e finos no BAC

Como mencionado anteriormente, uma forma de aproveitamento dos RCD é a reciclagem, transformando os resíduos em agregados reciclados e reutilizando-os na construção civil. A

utilização dos agregados reciclados na produção de BAC, em vez dos agregados naturais, provoca alterações em algumas propriedades deste, quer no estado fresco quer no estado endurecido.

Segundo a especificação do LNEC E471 [25], a utilização de agregados reciclados compostos só é permitida em betões de enchimento ou regularização, sem função estrutural, e em ambientes não agressivos, sendo sempre precedida de estudos.

Os estudos de Brito [5] revelam que a substituição de agregados naturais por agregados reciclados no fabrico de betão pode conduzir a resistências semelhantes às do betão convencional, mantendo a curva granulométrica e a trabalhabilidade do betão fresco, tanto mais quanto:

- i. menor for a taxa de agregados naturais por reciclados;
- ii. menor a substituição de agregados finos reciclados, em detrimento de agregados grossos reciclados;
- iii. melhor as características dos agregados reciclados e menor a quantidade de impurezas;
- iv. menor a classe de resistência do betão produzido;
- v. utilizar a adjuvantes e ligantes de elevada resistência, de modo a compensar as piores características dos agregados reciclados.

Neste contexto, os estudos de Vázquez *et al.* [94] realizados em betão normal, revelam que para uma taxa de substituição de 100% de agregados grossos a diferença de resistência é da ordem dos 20%, enquanto, para substituições de até 50% as diferenças se situam entre os 2 e 15%. Esta diferença pode atingir valores inferiores a 5% quando a taxa de substituição é de 20 a 30%.

Também Rahal [75] obteve resistências à compressão no betão normal com agregados grossos reciclados de cerca de 90% daquela obtida no betão de referência, tendo sido mantidas as proporções de mistura e a trabalhabilidade, esta última devido a um aumento da razão A/C. Verificou uma evolução de 3 e 5% da resistência dos 28 para os 56 dias para o betão de referência e para o betão com agregados grossos reciclados. Este autor afirma que a resistência do betão demolido não limita a resistência à compressão do betão com agregados reciclados [75].

De referir ainda, o estudo de Rangel [76] em betões auto compactáveis, no qual concluiu que, no módulo de elasticidade dinâmico, houve uma perda de 1,2%, 1,8%, 2,4% e 3,1% nos betões com incorporação de agregados grossos reciclados de 10%, 20%, 30% e 40%, quando comparados com os valores obtidos no betão sem incorporação de agregados reciclados. Estes valores de redução do módulo de elasticidade são considerados sem significância quando observados à luz dos respectivos desvios padrões. Pelo que, a incorporação de agregados grossos reciclados no BAC é viável, tendo um bom potencial de utilização na indústria de construção [76].

No mesmo estudo [76] as massas volúmicas no betão em estado endurecido apresentam uma pequena perda de peso com o aumento da incorporação dos agregados reciclados. Esta perda pode ser explicada pelos baixos valores de massa volúmica que os agregados reciclados apresentaram, quando comparados com os valores dos agregados naturais.

Apesar de menos estudada, a inclusão de agregados finos reciclados no betão, segundo Evangelista e Brito [28], não afecta significativamente a resistência à compressão, pela taxa de substituição de agregados finos, pelo menos quando esta taxa não ultrapassa os 30%. No entanto, estes resultados foram obtidos com agregados finos produzidos em laboratório, com granulometria e britagem controladas, sendo de esperar que os agregados finos reciclados obtidos de forma convencional tenham mais impurezas que reduzam a performance do betão. Atendendo a este pressuposto, esta é uma das principais razões pela qual a utilização de agregados finos reciclados é geralmente vetada nos documentos normativos existentes. A utilização de betão pré-fabricado para produção de agregados finos reciclados, com cuidadosa extracção dos mesmos evitaria a presença de impurezas prejudiciais [28].

Os estudos de Cabral [7] revelam que o uso dos agregados reciclados na produção de BAC parece promitente, pois a elevada quantidade de finos presentes nos agregados reciclados pode ajudar na resistência à segregação. Porém, a elevada absorção dos agregados reciclados é um obstáculo, uma vez que estes podem absorver a água da mistura, modificando as propriedades do BAC [7]. Gómez-Soberón, mediu as absorções de água dos agregados finos e agregados reciclados de betão e confirma que a absorção dos agregados finos reciclados de betão é maior do que a dos grossos, e ambas são maiores que a dos naturais [31].

O estudo de Evangelista e Brito [28] analisou a probabilidade de diminuição do módulo de elasticidade, através da substituição da fracção fina natural por reciclada, obtendo reduções de 3,7% e 18,5% para taxas de substituição de 30% e 100%. É de referir que as baixas reduções podem ser explicadas pela adição de superplastificante em todas as séries de betões produzidas. O uso deste pode ter aumentado a rigidez do betão com agregados reciclados de forma mais acentuada do que do no betão com agregados naturais [28].

Também Brito [5] menciona um estudo em que a substituição por agregados finos reciclados é mais lesiva para a durabilidade do betão normal do que a substituição por agregados grossos reciclados, no que diz respeito à carbonatação e ao ataque por cloretos.

De referir também os estudos de Zaharieva *et al.* [97], que avalia a resistência do betão aos ciclos gelo-degelo. Assim, utilizaram quatro famílias de betões (betão de referência, betão com agregados grossos reciclados, betão com agregados grossos e finos reciclados pré-saturados, betão com agregados grossos e finos reciclados) com a mesma dosagem de cimento, superplastificante, trabalhabilidade e massa volúmica dos agregados. Para avaliar a resistência aos ciclos gelo-degelo, estes betões foram sujeitos a quatro níveis de absorção de água. Estes

investigadores inferiram que o betão com agregados reciclados não é adequado para ser utilizado em estruturas expostas a climas rigorosos, justificando este facto com a elevada relação A/C, que induz uma elevada porosidade e fracas resistências mecânicas. Alguns aspectos assumiram importância nos resultados obtidos neste estudo, como sejam: a possibilidade do agregado reciclado libertar água para a pasta de cimento durante o período de congelamento; o comportamento do betão piora com o aumento do grau de saturação, com o tipo de agregado. A inclusão de agregados finos reciclados provocou um decréscimo de resistência bastante superior ao betão com agregados grossos reciclados, relativamente ao betão de referência.

4.4 - Conclusões

Em Portugal, a reciclagem de RCD para a produção de agregados é quase inexistente, salvo raras excepções. A viabilidade da reutilização de entulhos para agregados pode estar dependente de legislação adequada e um controlo eficaz.

Os RCD têm grande impacto no consumo de recursos naturais e conseqüentemente têm impactos ambientais. Com a necessidade de desenvolvimento sustentável e de novas relações da população com o meio ambiente, a construção civil deve passar por transformações. Assim, torna-se imprescindível a reciclagem do RCD e sua utilização. No entanto, as diferentes propriedades dos agregados reciclados provenientes de RCD podem condicionar a sua aplicação em algumas situações. Apesar disso, possibilita a aplicação em situações de menor exigência de qualidade, como por exemplo na pavimentação rodoviária.

Neste sentido, a incorporação de agregados reciclados no BAC pode trazer inúmeras vantagens. No entanto, a utilização de agregados grosso e fino reciclados para produção de um BAC pressupõe a uma escolha adequada dos materiais e processo de mistura, de forma a não prejudicar o seu desempenho. Deste modo é necessária a realização de mais estudos nesta área.

Capítulo 5 - Descrição do Programa Experimental

5.1 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma descrição da metodologia seguida e do programa experimental realizado para atingir os objectivos propostos, bem como os procedimentos adoptados durante a realização dos ensaios. A metodologia utilizada neste estudo reflecte-se no programa experimental e teve como finalidade particularizar atingir os objectivos propostos com um nível de confiança satisfatório e com os menores custos económicos. Os procedimentos de ensaio adoptados neste estudo tiveram como base documentos normativos nacionais sempre que aplicáveis. Na ausência de normas nacionais adoptaram-se normas estrangeiras ou recomendações disponíveis na bibliografia científica consultada.

5.2 - Caracterização dos materiais utilizados

A selecção dos materiais utilizados no presente estudo teve em conta as recomendações obtidas na pesquisa bibliográfica, mas também a disponibilidade de materiais existentes no Laboratório de Tecnologia e Ensaio Mecânicos do DECA da Universidade da Beira Interior (UBI). Esses materiais foram subdivididos nos seguintes grupos: ligante, adição, adjuvante, agregados e água.

5.2.1 - Ligante

Na fase experimental foi utilizado o cimento Portland (CEM I 42,5R). Os resultados da análise química, dos ensaios mecânicos e físicos efectuados para este ligante, no processo de autocontrolo foram fornecidos pelo fabricante (SECIL). Adicionalmente, determinou-se em laboratório a massa específica deste material de acordo com os procedimentos descritos na Especificação do LNEC E64-1960 [26].

5.2.2 - Adições

No programa experimental foram utilizadas duas adições minerais, sendo uma do tipo I (quase inerte) constituída por fíler calcário e a outra do tipo II (pozolânica ou hidráulica latente), constituída por cinzas volantes.

O fíler calcário foi cedido pela empresa *OMYA COMITAL - Minerais e Especialidades, S.A.* e tem a designação comercial de *Betocarb P1-OU*. Esta adição apresenta-se na forma de pó, sendo basicamente constituída por carbonato de cálcio oolítico. Embora a ficha técnica do produto fosse cedida pelo fabricante, a sua massa específica foi determinada no laboratório da UBI de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960 [26]. A Figura 5.1 mostra a zona de carga da fábrica da OMYA COMITAL em Soure.



Figura 5.1 - Imagem da zona de carga da fábrica da OMYA COMITAL em Soure [46]

As cinzas volantes foram cedidas pela central de betão pronto “Betão Liz”, situada no concelho da Covilhã. Estas cinzas foram produzidas na central termoelétrica do Pêgo (concelho de Abrantes) e são fornecidas com regularidade à referida central de betão. Os resultados da análise química e física das cinzas volantes foram cedidos pela empresa fornecedora. As cinzas volantes são constituídas por um pó fino, formado por partículas esféricas e vítreas, composto essencialmente por SiO_2 (sílica) e Al_2O_3 (óxido de alumínio).

5.2.3 - Adjuvante

No presente estudo optou-se pela utilização de um superplastificante de última geração para a argamassa, fornecido pela empresa SIKA, com a designação comercial de Sika® ViscoCrete® 3005. Este adjuvante apresenta-se sob a forma líquida, de cor levemente amarelada e uma densidade de aproximadamente 1,05. Tem uma base química principalmente constituída por carboxilatos modificados. A escolha deste recaiu no facto de ser um adjuvante específico para a produção de BAC. As suas principais características foram obtidas pela ficha técnica do produto.

5.2.4 - Agregados

Tendo em conta a especificidade do estudo da composição dos BAC, a selecção dos agregados dividiu-se em dois grupos:

- Agregados finos naturais,
- Agregados finos reciclados.

As propriedades dos agregados foram avaliadas através de vários ensaios:

- Determinação da massa volúmica dos agregados saturados de água e com a superfície seca, de acordo com a NP 954 [57] e NP 581 [56];
- Determinação da baridade do material seco compactado, de acordo com a NP 955 [18];
- Determinação da absorção de água, de acordo com a NP 581 [56] e Especificação do LNEC E248-1971 [18];
- Análise granulométrica efectuada de acordo com os procedimentos descritos na especificação do LNEC E245-1971 [17].

Relativamente aos agregados finos naturais, a escolha recaiu sobre uma areia natural rolada de grão fino proveniente da Figueira da Foz designada neste trabalho de Areia 0/2 (Figura 5.2) e uma areia natural rolada de grão intermédio proveniente de Abrantes, designada neste trabalho de Areia 0/4 (Figura 5.2). Estas areias foram cedidas pela central de betão pronto “Betão Liz”, situada no concelho da Covilhã.

A Areia 0/2 é basicamente constituída por grãos de areia de pequena dimensão de quartzo, feldspato e micas. A Areia 0/4 pode ser classificada como sendo uma areia natural rolada de origem fluvial. Os grãos de maior dimensão são constituídos principalmente por quartzo, estão também presentes fragmentos rolados de xisto e grãos rolados de quartzito. Os grãos de menor dimensão são constituídos por quartzo, feldspato e micas.

Os agregados finos reciclados (Areia Reciclada) foram obtidos a partir da britagem de antigos provetes de betão. Estes encontravam-se armazenados no Laboratório de Tecnologia e Ensaio Mecânicos do DECA da UBI. A dimensão destes agregados é inferior a 5 mm. No presente estudo serão designados como Areias Recicladas (Figura 5.2).

A selecção destes agregados reciclados resultou na sequência de estudos já realizados na UBI, em 2010, por Rangel [76]. Nesse estudo, Rangel avaliou a utilização da fracção mais grossa (dimensão superior a 5 mm) resultante da britagem de betões para avaliar o impacto da adição de agregados grossos reciclados no BAC. No presente trabalho pretende-se avaliar o impacto da

introdução da parcela reciclada mais fina que sobrou, nomeadamente os agregados finos, que incluem também uma parcela significativa de materiais finos. Optou-se por utilizar directamente essas areias não se tendo efectuado a separação dos finos.



Figura 5.2 - Da esquerda para a direita: Areia Reciclada, Areia 0/4 e Areia 0/2

5.2.5 - Água de amassadura

Relativamente às características da água de amassadura não existiu nenhuma preocupação especial, já que foi usada água potável da rede pública de abastecimento, conforme recomenda a Especificação do LNEC E372 [20].

5.3 - Fracções granulométricas dos agregados finos

O objectivo principal estabelecido para o presente estudo consistiu em avaliar o impacto na resistência à compressão das argamassas decorrente da substituição dos agregados finos naturais por agregados finos reciclados, em percentagens sucessivamente crescentes. Para que isso fosse possível, seria necessário isolar o efeito de outras variáveis sobre a resistência à compressão. Uma dessas variáveis ponderada desde início estava relacionada com a manutenção de um volume e de uma estrutura granular idêntica em todas as argamassas, uma vez que cada uma das argamassas a estudar teria necessariamente proporções diferentes de agregados finos à medida que se incorporava agregados finos reciclados.

Após a determinação das curvas granulométricas dos agregados finos naturais, efectuou-se a estimativa da melhor proporção a adoptar para a Areia 0/2 e Areia 0/4 de modo a obter uma curva granulométrica real o mais próximo possível da curva de referência dos agregados finos proposta por Nepomuceno [46], ilustrada na Figura 5.3.

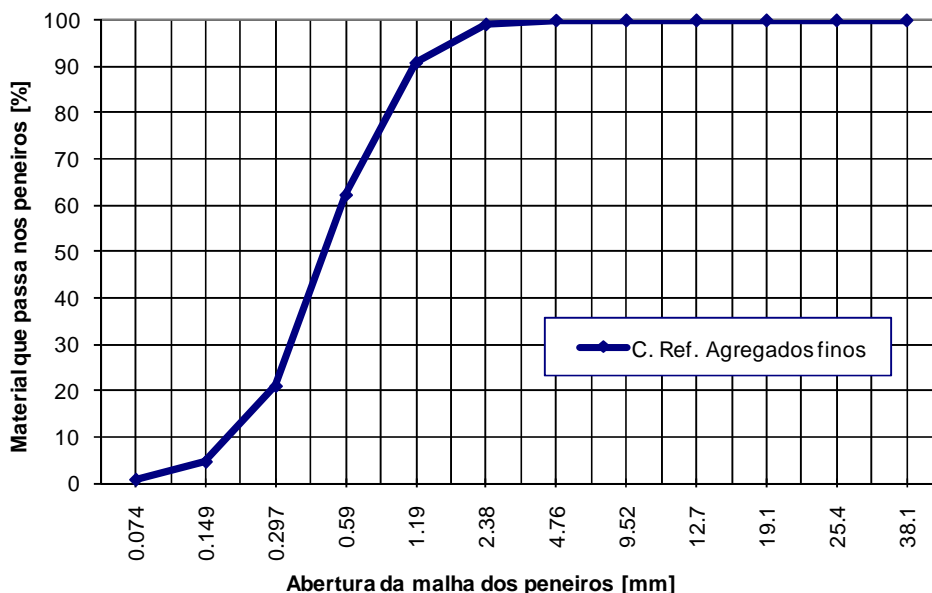


Figura 5.3 - Curva de referência dos agregados finos proposta por Nepomuceno [46]

Uma vez que a curva granulométrica dos agregados finos reciclados era quase sobreposta à curva granulométrica da Areia 0/4, a substituição dos agregados finos naturais por agregados finos reciclados fez-se, em cada caso e para cada percentagem crescente destes agregados, apenas pela substituição directa da Areia 0/4 pela mesma proporção de Areia Reciclada.

5.4 - Associações binárias e ternárias de materiais finos

Ao longo do presente trabalho experimental foram usadas duas séries de argamassas, denominadas de Série 1 e Série 2. A Série 1 incluiu um total de 11 argamassas com a mesma associação binária de materiais finos, incorporando o cimento Portland CEM I 42,5R e fíler calcário. Na Série 1, a primeira argamassa apenas inclui agregados finos naturais e serve de referência para comparação com as restantes argamassas da mesma Série que incorporam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais. A série 2 incluiu um total de 6 argamassas com a mesma associação ternária de materiais finos, incorporando o cimento Portland CEM I 42,5R, as cinzas volantes e o fíler calcário. Também nesta Série, a primeira argamassa apenas inclui agregados finos naturais e

serve de referência para comparação com as restantes argamassas da mesma Série que incorporam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais.

Note-se que as misturas foram classificadas de “binárias” quando associavam um cimento com uma adição mineral e de “ternárias” quando associavam um cimento com duas adições minerais. Os pressupostos e a justificação das opções realizadas no presente estudo, bem como a formulação das argamassas de cada série analisada são a seguir descritas para as argamassas com os dois tipos de associações de materiais finos.

5.4.1 - Associações binárias de materiais finos

O principal objectivo do presente estudo consistiu em avaliar o impacto da introdução de percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados nas argamassas, em substituição parcial dos agregados finos naturais até um limite de 50% de substituição. Para isso foi produzida uma argamassa de referência apenas com agregados finos naturais para servir de base de comparação, com uma resistência média à compressão de 55 MPa e incorporando uma associação binária de materiais finos cujo volume absoluto total incluía 40% de cimento Portland CEM I 42,5R e 60% de fíler calcário. Obteve-se assim uma mistura binária de referência e uma primeira série de argamassas (Série 1). Nesta série, os agregados finos da argamassa de referência foram substituídos em percentagens crescentes de 5% até aos 50%, dando origem a 10 argamassas para além da de referência, conforme se apresenta no Quadro 5.1. Importa referir que a curva granulométrica real da mistura de agregados finos se manteve constante em todas as argamassas desta série.

As misturas apresentadas no Quadro 5.1 são identificadas por uma sigla que traduz a dosagem dos elementos constituintes dessa mistura. Por exemplo, a sigla (40C1+60FC+30ARCF) representa uma mistura de materiais finos cujo volume absoluto total é constituído em 40% por cimento Portland CEM I 42,5R (40C1) e em 60% por fíler de calcário (50FC) e onde os agregados finos naturais foram substituídos em 30% por Areia Reciclada (30ARCF).

Quadro 5.1 - Argamassas com associações binárias de materiais finos (Série 1)

Materiais ▶ Misturas ▼		Materiais Cimentícios		Filer	Agregados		
		Cimento	Adições Tipo II	Adições Tipo I	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia Reciclada
		CEM I 42,5R (C1) $\bar{\delta}_{C1} = 3140$ kg/m ³	Cinzas volantes (CV) $\bar{\delta}_{CV} = 2380$ kg/m ³	Filer calcário (Micro100 AB) (FC) $\bar{\delta}_{FC} = 2720$ kg/m ³	(a1) $\bar{\delta}_{s1} = 2600$ kg/m ³	(a2) $\bar{\delta}_{s2} = 2630$ kg/m ³	(a3) $\bar{\delta}_{s3} = 2310$ kg/m ³
Ref.	1 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC	40%	----	60%	50%	50%	----
Misturas binárias de cimento e adições para a composição dos finos	2 2A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+05ARCF	40%	----	60%	50%	45%	5%
	3 3A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+10ARCF	40%	----	60%	50%	40%	10%
	4 4A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+15ARCF	40%	----	60%	50%	35%	15%
	5 5A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+20ARCF	40%	----	60%	50%	30%	20%
	6 6A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+25ARCF	40%	----	60%	50%	25%	25%
	7 7A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+30ARCF	40%	----	60%	50%	20%	30%
	8 8A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+35ARCF	40%	----	60%	50%	15%	35%
	9 9A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+40ARCF	40%	----	60%	50%	10%	40%
	10 10A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+45ARCF	40%	----	60%	50%	5%	45%
	11 11A_1.HP.55.I.FC.0,80 40C1+60FC+50ARCF	40%	----	60%	50%	----	50%

5.4.2 - Associações ternárias de materiais finos

Por opção, no presente trabalho experimental decidiu-se utilizar directamente os agregados finos reciclados sem exclusão da parcela de materiais finos neles presente. Após imersão dos agregados finos reciclados em água verificou-se que este apresentava elevado teor de hidróxido de cálcio. Esta constatação levou a que se formulasse a hipótese de se efectuar uma segunda série de argamassas que incorporasse na mistura de matérias finos uma pozolana artificial de forma a conter e/ou beneficiar da presença deste hidróxido de cálcio. Nesse pressuposto, efectuou-se uma reformulação da mistura binária de referência da primeira série, reduzindo a percentagem de filer calcário de 60% para 50% e incorporando 10% de cinzas volantes. Obteve-se assim uma mistura ternária de referência e uma segunda série de argamassas (Série 2). Nesta

nova série, os agregados finos da argamassa de referência foram substituídos em percentagens crescentes de 10% até aos 50%, dando origem a 5 argamassas para além da de referência, conforme se apresenta no Quadro 5.2. Importa referir que a curva granulométrica real da mistura de agregados finos se manteve constante em todas as argamassas desta série.

As misturas apresentadas no Quadro 5.2 são identificadas por uma sigla que traduz a dosagem dos elementos constituintes dessa mistura. Por exemplo, a sigla (40C1+50FC+10CV+30ARCF) representa uma mistura de materiais finos cujo volume absoluto total é constituído em 40% por cimento Portland CEM I 42,5R (40C1), em 50% por fíler de calcário (50FC) e em 10% por cinzas volantes (10CV) e onde os agregados finos naturais foram substituídos em 30% por Areia Reciclada (30ARCF).

Quadro 5.2 - Argamassas com misturas ternárias de materiais finos (Série 2)

Materiais Misturas		Materiais Cimentícios		Fíler	Agregados		
		Cimento	Adições Tipo II	Adições Tipo I	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia Reciclada
		CEM I 42,5R (C1) $\delta_{C1} = 3140$ kg/m ³	Cinzas volantes (CV) $\delta_{CV} = 2380$ kg/m ³	Fíler calcário (Micro100 AB) (FC) $\delta_{FC} = 2720$ kg/m ³	(a1) $\delta_{s1} = 2600$ kg/m ³	(a2) $\delta_{s2} = 2630$ kg/m ³	(a3) $\delta_{s3} = 2310$ kg/m ³
Ref.	1 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80 40C1+50FC+10CV	40%	10%	50%	50%	50%	---
Misturas ternárias de cimento e adições	2 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 40C1+50FC+10CV+10ARCF	40%	10%	50%	50%	40%	10%
	3 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 40C1+50FC+10CV+20ARCF	40%	10%	50%	50%	30%	20%
	4 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 40C1+50FC+10CV+30ARCF	40%	10%	50%	50%	20%	30%
	5 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 40C1+50FC+10CV+40ARCF	40%	10%	50%	50%	10%	40%
	6 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 40C1+50FC+10CV+50ARCF	40%	10%	50%	50%	---	50%

5.5 - Estudo em argamassas

5.5.1 - Metodologia adoptada

Após a caracterização dos materiais a utilizar e definição completa das diferentes misturas binárias e ternárias a produzir, deu-se início ao estudo em argamassas. Esse estudo iniciou-se com a definição do procedimento de cálculo das dosagens dos diferentes componentes da argamassa a partir dos parâmetros definidos nas fases precedentes e a adequação da folha de

cálculo Excel proposta por Nepomuceno [46], de modo a incluir 3 agregados finos e contabilizar automaticamente as correções resultantes do teor em água superficial das areias, uma vez que era intenção utilizar os agregados saturados de água. Seguiu-se a produção e ensaio das argamassas no estado fresco e concomitantemente o acerto experimental das dosagens de água e de superplastificante necessários à obtenção das propriedades reológicas adequadas da argamassa conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis. Para as argamassas que apresentaram as propriedades reológicas adequadas foram moldados provetes para o ensaio à compressão aos 28 dias de idade. As várias fases deste processo são descritas nos itens seguintes.

5.5.2 - Procedimento de cálculo das argamassas

No cálculo das argamassas são utilizados os seguintes parâmetros:

1. Percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/2 (a_1), percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/4 (a_2) e percentagem unitária em volume absoluto da Areia Reciclada (a_3), totalizando o volume absoluto de agregados finos (V_s):

$$V_s = a_1 \times V_s + a_2 \times V_s + a_3 \times V_s \quad \text{(Equação 5.1)}$$

2. Os parâmetros que definem a família de finos: as percentagens unitárias em volume absoluto do cimento Portland CEM I 42,5R ($fc1$), das cinzas volantes (fcv) e do fíler de calcário (ffc). Estas percentagens correspondem ao volume absoluto do total de material fino (V_p). A seguinte expressão traduz a participação relativa dos vários componentes:

$$V_p = fc1 \times V_p + fcv \times V_p + ffc \times V_p \quad \text{(Equação 5.2)}$$

3. O parâmetro (V_p/V_s) define a relação em volume absoluto entre as quantidades de finos e de agregados finos;

4. O parâmetro (V_w/V_p) define a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e de materiais finos;

5. O parâmetro ($S_p/p\%$) representa a relação percentual em massa entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos.

Assumindo como unidade de volume o m^3 , a fórmula fundamental do cálculo das argamassas assume a seguinte expressão:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad \text{(Equação 5.3)}$$

Onde:

V_p é o volume absoluto de materiais fino, em m^3/m^3 ,

V_w é o volume de água, em m^3/m^3 ,

V_s é o volume absoluto de agregados finos, em m^3/m^3 ,

V_{sp} é o volume de superplastificante, em m^3/m^3 ,

V_v é o volume de vazios, em m^3/m^3 .

Desprezando a contribuição do volume de vazios resulta:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = 1,0 \quad \text{(Equação 5.4)}$$

Ou seja:

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times V_p + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = 1,0 \quad \text{(Equação 5.5)}$$

Deste modo obtêm-se as seguintes expressões:

$$V_p = \frac{1,0}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right)} \quad \text{(Equação 5.6)}$$

$$V_w = \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p \quad \text{(Equação 5.7)}$$

$$V_{sp} = \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p \quad \text{(Equação 5.8)}$$

$$V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \quad \text{(Equação 5.9)}$$

Nas expressões anteriores apenas desconhece-se o (V_{sp}/V_p), que pode ser determinado:

$$\left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) = \left(\frac{Sp}{P}\right) \times \frac{\delta_p}{\delta_{sp}} \quad \text{(Equação 5.10)}$$

Onde:

$$\delta_p = fc1 \times \delta_{c1} + f_{cv} \times \delta_{cv} + ffc \times \delta_{FC} \quad \text{(Equação 5.11)}$$

e

$$\left(\frac{Sp}{P}\right) = \left(\frac{Sp}{P} \%\right) / 100 \quad \text{(Equação 5.12)}$$

Uma vez conhecido o valor de V_p , podem ser determinadas as dosagens dos materiais finos a partir das seguintes expressões:

$$V_{c1} = fc1 \times V_p \quad \text{(Equação 5.13)}$$

$$V_{cv} = f_{cv} \times V_p \quad \text{(Equação 5.14)}$$

$$V_{FC} = ffc \times V_p \quad \text{(Equação 5.15)}$$

Onde:

V_{c1} é o volume absoluto de cimento tipo I 42,5R, em m^3/m^3 ,

V_{cv} é o volume absoluto de cinzas volantes, em m^3/m^3 ,

V_{FC} é o volume absoluto de fíler calcário, em m^3/m^3 ,

Os restantes parâmetros assumem o significado já anteriormente referido.

Da mesma forma, conhecido o valor de V_s podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados finos a partir das expressões:

$$V_{s1} = a_1 \times V_s \quad \text{(Equação 5.16)}$$

$$V_{s2} = a_2 \times V_s \quad \text{(Equação 5.17)}$$

$$V_{S3} = a_3 \times V_s \quad \text{(Equação 5.18)}$$

Onde:

V_{S1} é o volume absoluto do agregado fino 1 (Areia 0/2), em m^3/m^3 ,

V_{S2} é o volume absoluto do agregado fino 2 (Areia 0/4), em m^3/m^3 ,

V_{S3} é o volume absoluto do agregado fino 3 (Areia Reciclada), em m^3/m^3 ,

a_1 é a percentagem unitária do agregado fino 1 (Areia 0/2),

a_2 é a percentagem unitária do agregado fino 2 (Areia 0/4),

a_3 é a percentagem unitária do agregado fino 3 (Areia Reciclada).

Uma vez conhecidas todas as dosagens em volume absoluto, a sua conversão para valores em massa é feita a partir das massas volúmicas respectivas. Os resultados obtidos referem-se a dosagens por metro cúbico de argamassa.

5.5.3 - Folha de cálculo EXCEL para argamassas

A necessidade de fazer um número elevado de argamassas fez com que Nepomuceno [46] desenvolvesse uma folha de cálculo (em Excel) para o estudo das argamassas. Essa folha de cálculo foi adaptada para incluir 3 agregados finos e utilizada neste trabalho, permitindo determinar com maior rapidez as quantidades dos materiais para as argamassas. No entanto, ao contrário do procedimento adoptado por Nepomuceno, decidiu-se utilizar os agregados finos previamente saturados de água, em especial pelo facto dos agregados finos reciclados apresentarem uma elevada absorção de água, o que poderia dificultar o acerto das propriedades reológicas das argamassas. Em consequência, efectuou-se um ajustamento à referida folha de cálculo de modo a incorporar a compensação automática das dosagens de água e de agregados finos em função dos teores em água superficial medidos imediatamente antes de cada amassadura.

Um exemplo da resposta fornecida pela folha de cálculo adaptada com base na proposta de Nepomuceno é ilustrado no Quadros 5.3, na situação particular de uma mistura em que: $a_1= 0,50$; $a_2= 0,10$; $a_3= 0,40$; $fc1= 0,40$; $V_p/V_s= 0,80$; $V_w/V_p= 0,725$ e $Sp/p\%= 0,385$. Os valores apresentados a azul representam os dados de entrada. No Quadro 5.4 apresenta-se a correcção automática acrescentada na folha de cálculo para as correcções em função do teor em água superficial.

Quadro 5.3 - Exemplo da folha de cálculo EXCEL desenvolvida por Nepomuceno para argamassas

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																	
Identificação da argamassa 5A_2.HP.55.1.FC.CV.0,80.2		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																													
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,725</td> <td style="text-align: center;">0,385</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,725	0,385	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2 a1</th> <th>Areia 0/4 a2</th> <th>Areia R a3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">92,21</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">78,41</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,83</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">12,62</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">2,79</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,67</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,622</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2 a1	Areia 0/4 a2	Areia R a3	Mistura (Curva Real)		0,50	0,10	0,40		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	92,21	1,190	99,54	71,59	53,70	78,41	0,590	74,49	28,00	29,46	51,83	0,297	14,52	1,96	12,90	12,62	0,149	1,14	0,34	5,47	2,79	0,074	0,18	0,14	1,43	0,67	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,622
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																															
0,800	0,725	0,385																																																																															
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2 a1	Areia 0/4 a2	Areia R a3	Mistura (Curva Real)																																																																													
	0,50	0,10	0,40																																																																														
Percentagem de passados																																																																																	
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																													
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																													
2,380	99,94	94,77	81,92	92,21																																																																													
1,190	99,54	71,59	53,70	78,41																																																																													
0,590	74,49	28,00	29,46	51,83																																																																													
0,297	14,52	1,96	12,90	12,62																																																																													
0,149	1,14	0,34	5,47	2,79																																																																													
0,074	0,18	0,14	1,43	0,67																																																																													
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																													
Módulos de finura																																																																																	
	2,104	3,035	3,166	2,622																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </tbody> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																										
Composição da mistura de finos																																																																																	
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																												
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </tbody> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																	
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																												
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </tbody> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630	2310	---	---	---																																																										
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																	
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																												
2600	2630	2310	---	---	---																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </tbody> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																										
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																	
δsp	---	---	---	---	---																																																																												
1050	---	---	---	---	---																																																																												
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,010465 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,334956 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,242843 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003505 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,418695 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,010465 m ³ /m ³	Vp=	0,334956 m ³ /m ³	Vw=	0,242843 m ³ /m ³	Vsp=	0,003505 m ³ /m ³	Vs=	0,418695 m ³ /m ³																																																																
δp=	2854,00 kg/m ³																																																																																
Vsp/Vp=	0,010465 m ³ /m ³																																																																																
Vp=	0,334956 m ³ /m ³																																																																																
Vw=	0,242843 m ³ /m ³																																																																																
Vsp=	0,003505 m ³ /m ³																																																																																
Vs=	0,418695 m ³ /m ³																																																																																
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																														
C1= 420,7 kg	C2= 0,0 kg	CV= 79,7 kg	MS= 0,0 kg	FC= 455,5 kg	FG= 0,0 kg																																																																												
W= 242,8 litros	Sp= 3,51 litros	S1= 544,3 kg	S2= 110,1 kg	S3= 386,9 kg																																																																													
<u>Massa total, em kg</u>		1856,9		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																													
<u>Razão água/cimento</u>		0,485		<u>Razão água/cimento</u>																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,577		<u>Razão água/finos</u>																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,254		<u>Razão água/finos</u>																																																																													
C1= 673,1 g	C2= 0,0 g	CV= 127,6 g	MS= 0,0 g	FC= 728,9 g	FG= 0,0 g																																																																												
W= 388,5 ml	Sp= 5,61 ml	S1= 870,9 g	S2= 176,2 g	S3= 619,0 g																																																																													
<u>Massa total, em g</u>		2971,1		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																													
<u>Razão água/cimento</u>		0,485		<u>Razão água/cimento</u>																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,577		<u>Razão água/finos</u>																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,254		<u>Razão água/finos</u>																																																																													

Quadro 5.4 - Correções da amassadura em função do teor em água superficial dos agregados finos

CORRECÇÕES DA AMASSADURA EM FUNÇÃO DO TEOR EM ÁGUA SUPERFICIAL DOS AGREGADOS FINOS				
Teor em água superficial dos agregados, em %				
Hs1	Hs2	Hs3	---	---
9,23	3,19	7,60	---	---

Nota:	
O teor em água superficial tem por referência o agregado saturado com a superfície seca	

Dosagens corrigidas para o volume de: 1000,00 litros		Dosagens corrigidas para o volume de: 1,60 litros	
C1=	420,7 kg	C1=	673,1 g
C2=	0,0 kg	C2=	0,0 g
CV=	79,7 kg	CV=	127,6 g
MS=	0,0 kg	MS=	0,0 g
FC=	455,5 kg	FC=	728,9 g
FG=	0,0 kg	FG=	0,0 g
W=	152,7 litros	W=	244,37 ml, ou (244,4) g
Sp=	3,51 litros	Sp=	5,61 ml, ou (5,89) g
S1=	594,5 kg	S1=	951,2 g
S2=	113,6 kg	S2=	181,8 g
S3=	416,3 kg	S3=	666,0 g

5.5.4 - Produção das argamassas

Ao longo deste trabalho experimental e para cada uma das misturas identificadas nos Quadros 5.1 e 5.2, respectivamente, as misturas binárias (Série 1) e ternárias (Série 2), foram produzidas várias argamassas até se obter as propriedades reológicas adequadas. Os procedimentos de amassadura foram idênticos em todas essas amassaduras. A sequência de amassadura das argamassas seguiu o procedimento proposto no método de Nepomuceno. Este procedimento é ilustrado de forma esquemática na Figura 5.4.

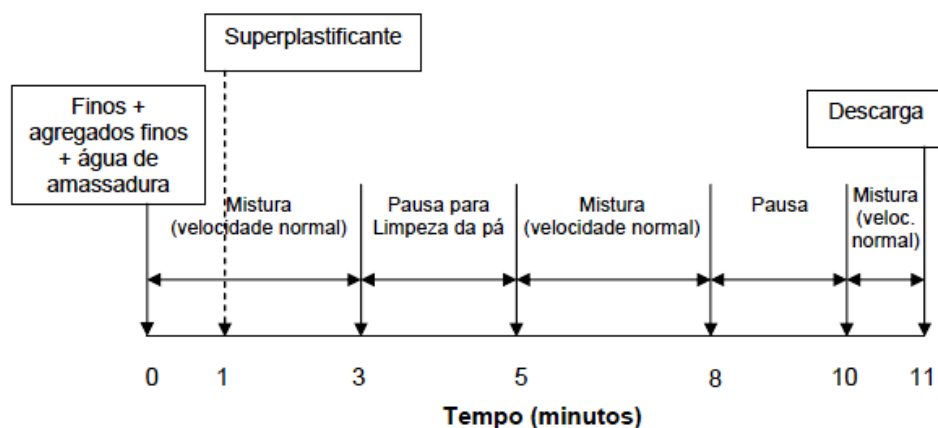


Figura 5.4 - Sequência de amassadura adoptada neste trabalho [46]

Foi necessário introduzir a totalidade da água de amassadura logo no início, evitando que a mistura fosse projectada do recipiente da misturadora, o que sucede sempre que a mistura é excessivamente seca. Por outro lado, foi necessário prever uma paragem para limpeza das pás da misturadora de modo a obter garantias de uma mistura homogénea. A introdução do superplastificante foi efectuada 20 segundos após o início da amassadura sem interrupção do movimento das pás. O processo de entrada dos componentes e de paragem e arranque da misturadora foi controlado manualmente. O tempo de mistura foi medido com um cronómetro que parava sempre que a mistura era interrompida para a limpeza das pás. As amassaduras foram efectuadas através de uma misturadora programável destinada à produção de pastas e argamassas normalizadas (Figura 5.5).



Figura 5.5 - Misturadora de argamassas adoptada neste trabalho

5.5.5 - Ensaios das argamassas no estado fresco

A medição dos parâmetros reológicos requer o uso de reómetros. Contudo, devido ao seu elevado custo, poucos laboratórios dispõem de reómetros para este efeito. Para colmatar esse problema têm sido propostos dois equipamentos alternativos que permitem medir parâmetros estreitamente relacionados com os parâmetros reológicos medidos pelos reómetros [46]. A tensão de corte que está relacionada com a deformabilidade, é medida através do diâmetro de espalhamento de um tronco cónico de argamassa (ensaio de espalhamento), enquanto a viscosidade plástica que está relacionada com a fluidez é medida pelo tempo de escoamento num funil de faces planas (ensaio de fluidez ou também designado “Funil-V”). Esses ensaios têm sido usados por todo o mundo em vários estudos [46].

As opções tomadas ao longo deste trabalho tiveram como base o método de Nepomuceno, logo impunha-se a necessidade de utilizar os mesmos equipamentos propostos por este autor. As dimensões dos equipamentos e os procedimentos adoptados em cada um desses ensaios são a seguir descritos.

5.5.5.1 - Ensaio de espalhamento

Para o ensaio de espalhamento foi utilizado um “cone de espalhamento” cujas dimensões se apresentam na Figura 5.6.

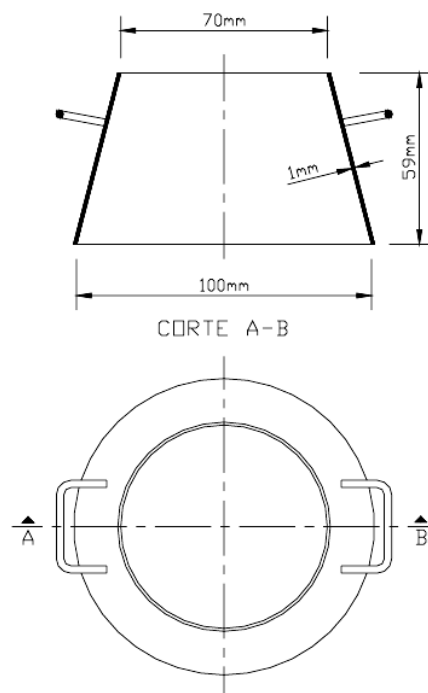


Figura 5.6 - Dimensões do cone de espalhamento em argamassas [46]

Neste ensaio, o cone de espalhamento foi colocado sobre uma superfície lisa, desmpenada, nivelada, sem saliências ou reentrâncias que influenciassem o movimento da argamassa durante a sua deformação. O cone e a superfície que lhe serviu de base foram limpos antes do ensaio com o auxílio de um pano ligeiramente humedecido.

O ensaio de espalhamento iniciou-se com o enchimento do tronco cónico com argamassa no estado fresco, após a sua amassadura. Durante e após o enchimento do tronco cónico teve-se o cuidado de não aplicar inadvertidamente qualquer vibração ou outro modo de compactação (Figura 5.7).



Figura 5.7 - Fase 1 do ensaio de espalhamento - enchimento do tronco cónico [46]

Conforme ilustra a Figura 5.8, o tronco cónico é levantado lentamente por meio de duas pegas laterais e a argamassa espalha-se até atingir o diâmetro máximo de espalhamento. Este coincide com o instante em que o movimento termina (Figura 5.9).



Figura 5.8 - Fase 2 do ensaio de espalhamento - tronco cónico levantado [46]



Figura 5.9 - Fase 3 do ensaio de espalhamento - diâmetro máximo de espalhamento

Após terminado o movimento da argamassa mediram-se os dois diâmetros segundo duas direcções perpendiculares (Figura 5.10). A resposta do ensaio é traduzida pelo diâmetro médio de espalhamento (D_m).

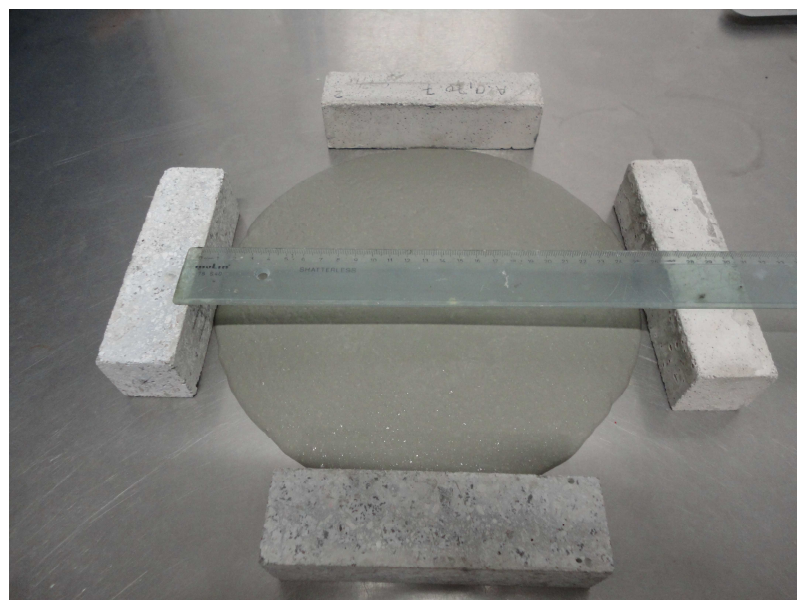


Figura 5.10 - Fase 4 do ensaio de espalhamento - medição de diâmetro

No ensaio de espalhamento o resultado pode ser expresso através do parâmetro medido, ou seja, o diâmetro médio de espalhamento (D_m). No entanto, uma outra forma de expressar o resultado

deste ensaio consiste na determinação da área de espalhamento relativa, traduzida pela seguinte expressão utilizada no método desenvolvido por Okamura e seus colaboradores [13, 45, 64, 68].

$$Gm = \left(\frac{Dm}{D_0} \right)^2 - 1 \quad \text{(Equação 5.19)}$$

Onde:

Gm é a área de espalhamento relativa,

Dm é o diâmetro médio de espalhamento, em mm,

D₀ é o diâmetro inicial na base do cone, em mm.

5.5.5.2 - Ensaio de fluidez (“Funil-V”)

Para o ensaio de fluidez foi utilizado um Funil-V de faces planas cujas dimensões se apresentam na Figura 5.11.

A primeira fase do ensaio consistiu na limpeza do funil com um pano ligeiramente humedecido e no seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada. Durante o ensaio foram evitadas quaisquer acções dinâmicas sobre o funil que influenciem o escoamento da argamassa. Acauteladas as condições anteriores procedeu-se ao enchimento do funil (Figura 5.12). Após o enchimento, a superfície superior foi alisada mas ser exercer qualquer vibração ou outro modo de compactação.

Seguidamente, a comporta colocada na base do funil foi aberta e simultaneamente accionado o cronómetro, dando-se início à medição do tempo de escoamento (Figuras 5.13 e 5.14). O tempo de escoamento decorreu desde o momento exacto em que se abriu a referida comporta até que, observando o funil de cima para baixo, surgiu o primeiro raio de luz no fundo do funil. A resposta do ensaio é traduzida em tempo de escoamento (t).

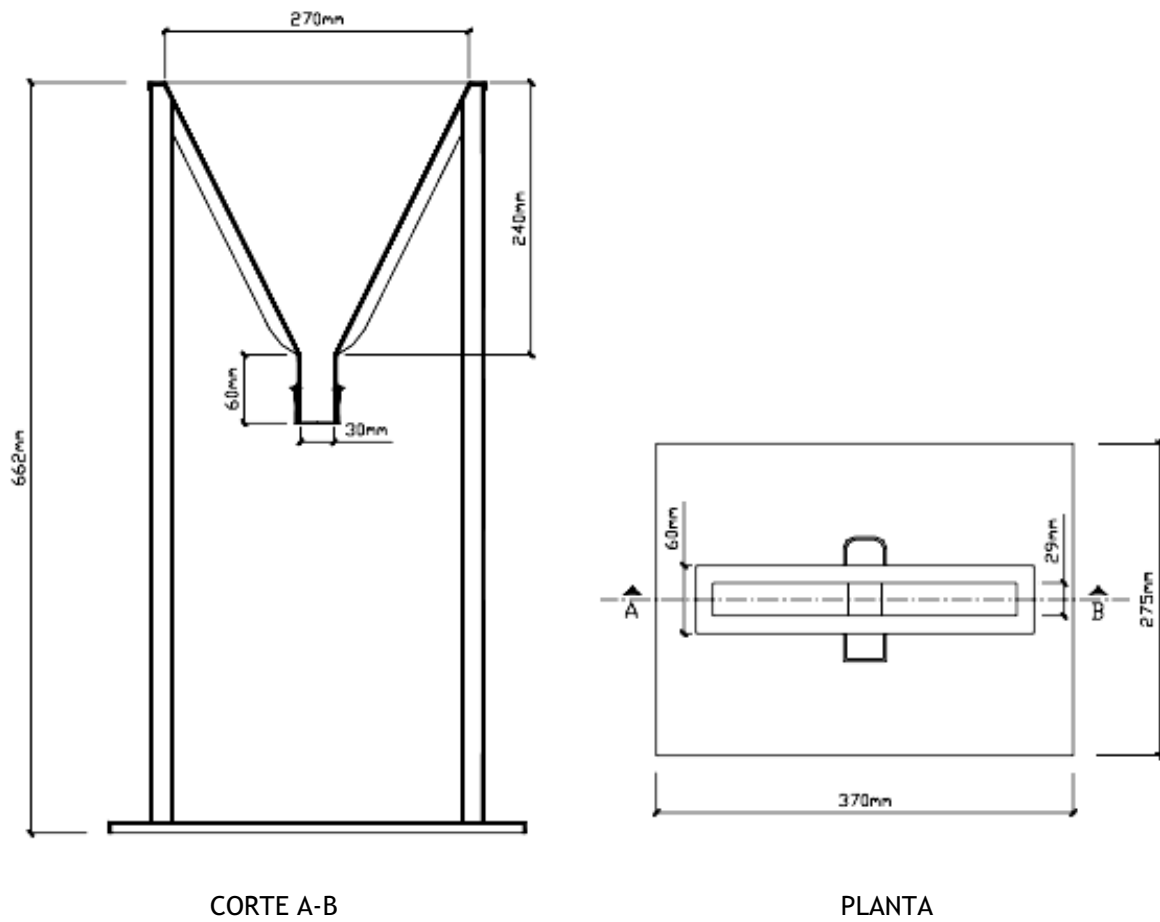


Figura 5.11 - Dimensões do Funil-V para o ensaio de fluidez em argamassas [46]



Figura 5.12 - Enchimento do “Funil-V”



Figura 5.13 - escoamento da argamassa no “Funil-V”



Figura 5.14 - Pormenor da comporta do “Funil-V”

O resultado do ensaio de fluidez pode ser expresso directamente pelo tempo de escoamento (t), medido em segundos. Contudo, uma outra forma de expressar o resultado deste ensaio consiste na determinação da velocidade relativa de escoamento, traduzida pela seguinte expressão utilizada no método desenvolvido por Okamura *et al.* [13, 45, 64, 68].

$$Rm = \left(\frac{10}{t} \right) \quad \text{(Equação 5.20)}$$

Onde:

Rm é a velocidade relativa de escoamento, em s^{-1} ,

t é o tempo de escoamento, em segundos.

5.5.6 - Acerto das propriedades reológicas das argamassas

Os parâmetros reológicos das argamassas conducentes à obtenção de BAC foram definidos por Okamura *et al.* [13, 45, 64, 68]. Tais parâmetros são avaliados com recurso aos ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V) e são traduzidos, respectivamente, em termos da área de espalhamento relativa (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm). Os parâmetros Gm e Rm assumem nesse método os seguintes valores: Gm= 5 e Rm= 1. Na prática os valores mencionados (Gm e Rm) são extremamente sensíveis a qualquer pequena variação das dosagens de água e superplastificante. Por exemplo, a obtenção de Gm= 5 e Rm= 1, valor proposto por Okamura, equivale a uma argamassa com um diâmetro médio de espalhamento de 245 mm e um tempo de escoamento no “Funil-V” de 10 segundos.

Domone *et al.* [14] ao divulgarem a síntese de diferentes estudos realizados no Japão referem a utilização de intervalos distintos e muito mais alargados do que aquele proposto por Okamura e seus colaboradores.

Nepomuceno [46] entendeu que seria mais prático e realista estabelecer um intervalo de variação em vez de estabelecer uma única combinação de valores de Gm e Rm. No seu trabalho de investigação, Nepomuceno [46] propôs um intervalo de variação definido por um valor de Gm entre 5,3 e 5,9 e um valor de Rm entre 1,14 a 1,30. Este intervalo de variação corresponde, respectivamente, a um diâmetro de espalhamento entre 251 a 263 mm e um tempo de escoamento entre os 7,69 e os 8,77. Uma vez que neste trabalho experimental se adoptou a metodologia proposta por Nepomuceno, decidiu-se igualmente adoptar o intervalo proposto por este autor.

A Figura 5.15 identifica o intervalo adoptado neste trabalho, comparando-o com a proposta de Okamura *et al.* [13, 45, 64, 68] e a de outros trabalhos de investigação resumidos por Domone *et al.* [45]

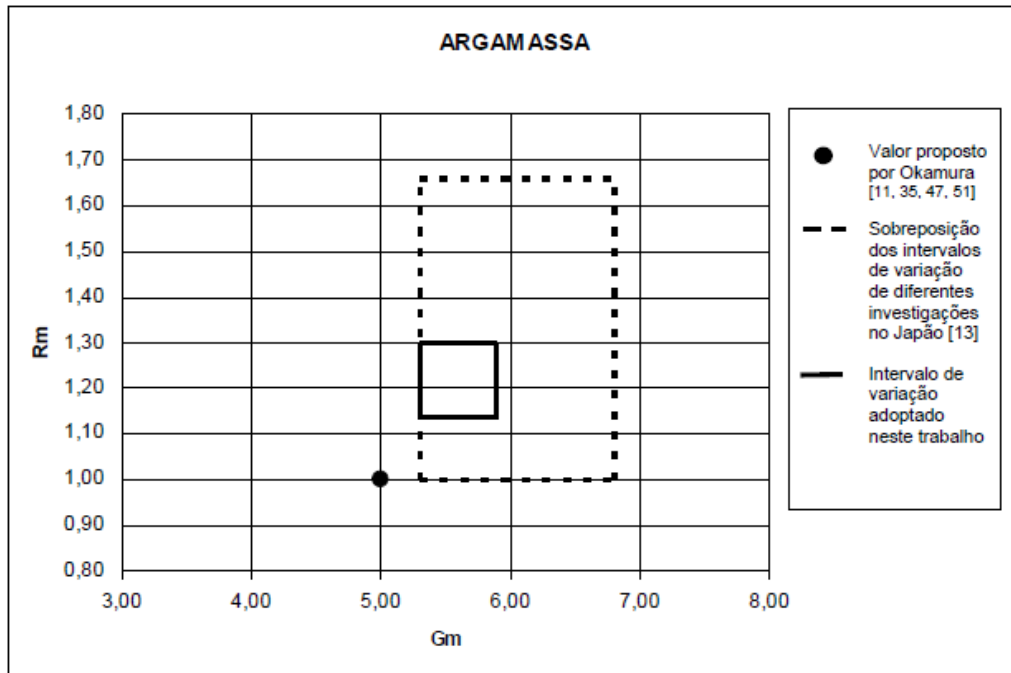


Figura 5.15 - Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adoptados [46]

Ouchi *et al.* [68] descrevem um procedimento para estimar os valores de V_w/V_p e $Sp/p\%$. Nessa proposta os autores apresentam um estudo do comportamento reológico das argamassas, tendo identificado um padrão de comportamento que serviu de base para este trabalho.

Os autores supracitados [68] constataram que a regressão linear traçada para valores constantes de $Sp/p\%$ e variação de V_w/V_p inclina-se para a origem e que a sua inclinação traduz o efeito do superplastificante (Figura 5.16). A inclinação da recta aumenta com o aumento de $Sp/p\%$. Por sua vez, para valores constantes de V_w/V_p e variação de $Sp/p\%$, a equação assume a tendência que se ilustra na Figura 5.17.

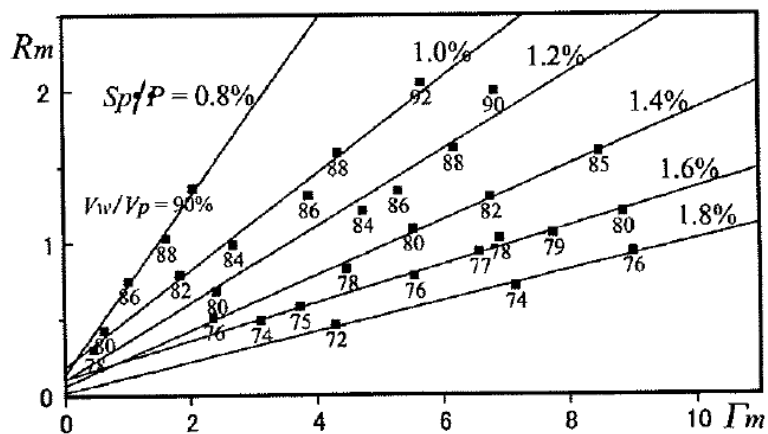


Figura 5.16 - Comportamento reológico das argamassas para $Sp/p\%$ constante [68]

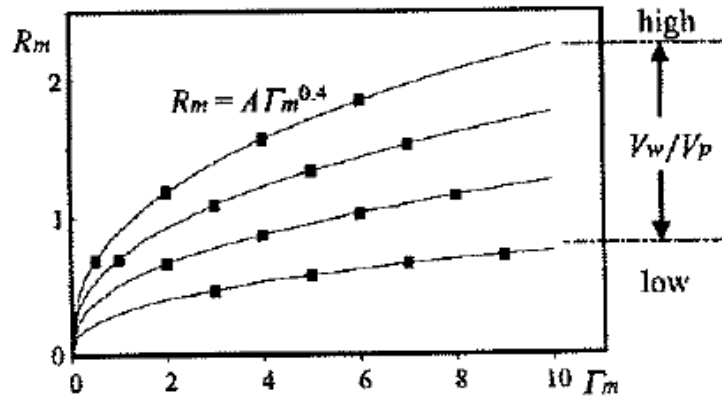


Figura 5.17 - Comportamento reológico das argamassas para V_w/V_p constante [68]

Tendo por base as observações realizadas por Ouchi *et al.* [68], Nepomuceno [46] desenvolveu uma metodologia experimental que permite obter por aproximações sucessivas as propriedades reológicas adequadas para as argamassas. A Figura 5.18 ilustra esquematicamente as alterações induzidas nas propriedades reológicas das argamassas quando se aumenta V_w/V_p mantendo-se constante o valor de $S_p/p\%$. Da mesma forma, a Figura 5.19 mostra essas alterações quando se aumenta $S_p/p\%$, mantendo-se constante V_w/V_p . A reunião destes dois comportamentos permite fazer uma aproximação sucessiva aos valores desejados, ou seja, ao intervalo de variação definido por Nepomuceno (alvo adoptado neste trabalho).

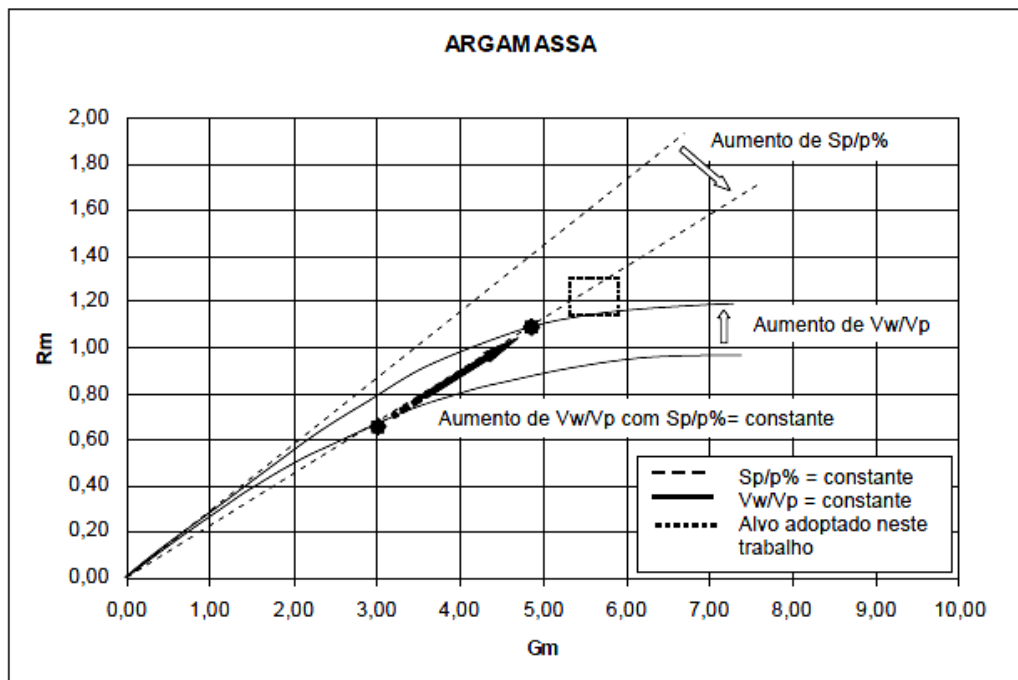


Figura 5.18 - Modificações na reologia com aumento de V_w/V_p mantendo $S_p/p\%$ constante [46]

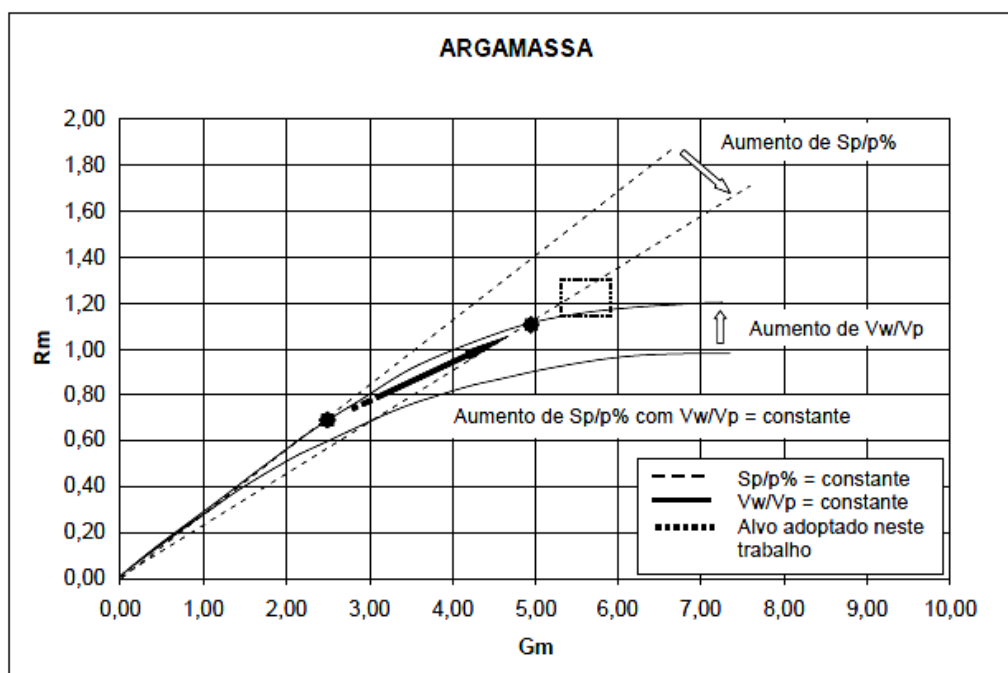


Figura 5.19 - Modificações na reologia com aumento de Sp/p% mantendo Vw/Vp constante [46]

O Quadro 5.5 e a Figura 5.20 ilustram uma das situações típicas identificadas durante o presente trabalho laboratorial. Nesta situação, a alteração coordenada das dosagens de água e de superplastificante, ou seja, da alteração de ambos os parâmetros (V_w/V_p e $S_p/p\%$) permitiu obter as propriedades reológicas adequadas apenas com três amassaduras.

Quadro 5.5 - Parâmetros reológicos Gm e Rm das misturas

ARGAMASSA: 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,710	0,385	203	203	10,72	3,12	0,93
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	0,800	0,725	0,385	235	235	8,41	4,52	1,19
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3	0,800	0,730	0,390	256	257	7,71	5,58	1,30

Após a primeira amassadura experimental com $V_w/V_p = 0,710$ e $S_p/p\% = 0,385$ foi identificada a localização do ponto 1 (Figura 5.20). Neste caso tornou-se evidente que o aumento apenas de V_w/V_p não seria a solução adequada uma vez que o par de valores (G_m , R_m) se deslocaria no sentido ascendente ao longo da recta representada na Figura 5.20. Contudo, a opção pelo aumento de $S_p/p\%$ também não oferece garantias suficientes de convergência. Realizada uma nova amassadura com $V_w/V_p = 0,725$ e $S_p/p\% = 0,385$, localizando o ponto 2, a situação ficou mais

clara. Talvez fosse possível uma melhor aproximação através do aumento de V_w/V_p . Contudo, a opção pelo aumento de $S_p/p\%$ provavelmente potencializaria a convergência, já que a curva de tendência poderia tangenciar o intervalo de variação. Testada a terceira amassadura experimental com $V_w/V_p = 0,730$ e $S_p/p\% = 0,390$ e localizando o ponto 3 constatou-se que a convergência se deu com sucesso.

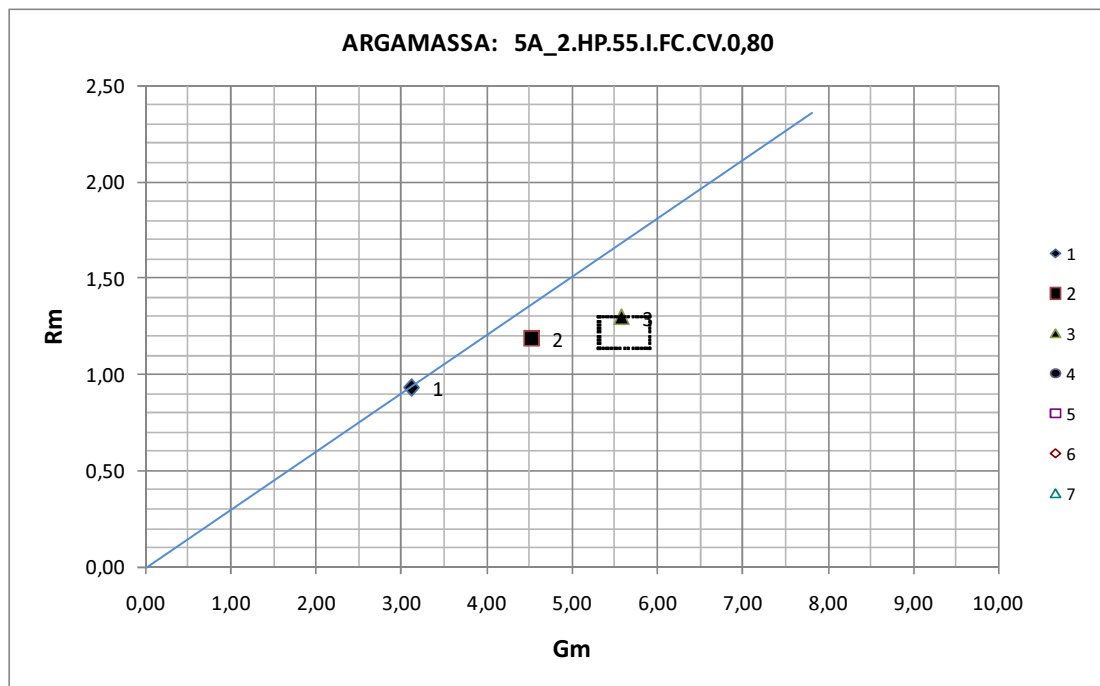


Figura 5.20 - Alterações na reologia com aumento de V_w/V_p e $S_p/p\%$

5.5.7 - Ensaios das argamassas no estado endurecido

Atendendo à metodologia proposta neste estudo, a avaliação das propriedades da argamassa no estado endurecido restringe-se à determinação da resistência à compressão.

Quando as argamassas cumpriam os requisitos impostos para os parâmetros reológicos medidos pelos ensaios de espalhamento e de fluidez, procedeu-se à sua amostragem para avaliação à compressão. Para esse efeito foram utilizados moldes prismáticos de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ de aresta.

Após a aplicação de óleo descofrante, a argamassa fresca foi vertida e a superfície alisada com uma colher de pedreiro (Figura 5.21). Não foi aplicada vibração ou qualquer outra forma de compactação à argamassa.



Figura 5.21 - Enchimento do molde de amostragem

Os provetes moldados permaneceram no interior do laboratório durante 24 horas e conforme ilustra a Figura 5.22 nesse mesmo período foram identificados.



Figura 5.22 - Identificação dos provetes

Após esse período os provetes foram descofrados e colocados em câmara de cura (Figura 5.23), onde permaneceram à temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de aproximadamente 90%

(Figura 5.24), até à data em que foram ensaiados, em conformidade com a Especificação do LNEC E255 [19].



Figura 5.23 - Provetes dentro da câmara de cura



Figura 5.24 - Temperatura e humidade da câmara de cura

Aos 28 dias de idade cada amostra de argamassa foi retirada da câmara de cura e cada um dos provetes prismáticos foi pesado e o seu valor registado para uma posterior estimativa da massa volúmica, antes de se proceder ao ensaio de compressão. Após a pesagem dos provetes

procedeu-se à sua divisão em duas metades (Figura 5.25) e ao polimento das suas superfícies de forma a eliminar qualquer irregularidade no contacto com os pratos do mecanismo de ensaio (Figura 5.26).



Figura 5.25 - Divisão dos provetes



Figura 5.26 - Polimento dos provetes

Regularizadas as superfícies, procedeu-se à realização do ensaio à compressão utilizando a prensa que se ilustra na Figura 5.27.



Figura 5.27 - Prensa usada para os ensaios à compressão

Os ensaios decorreram de acordo com a especificação do LNEC E226-1968 [16] (Figuras 5.28 e 5.29). Os provetes foram ensaiados segundo a direcção perpendicular à direcção de moldagem, ou seja, com a face superior em relação à moldagem voltada para o observador. A taxa de compressão adoptada no ensaio foi de 1,5 kN/s.



Figura 5.28 - Ensaio à compressão das argamassas



Figura 5.29 - Pormenor de ensaio à compressão das argamassas

As Figuras 5.30 e 5.31 mostram os provetes após o ensaio de compressão e conforme ilustrado foi possível identificar uma rotura do tipo normal. Os resultados obtidos, neste estudo, com a aplicação dos métodos aqui mencionados serão apresentados e discutidos no capítulo seguinte.



Figura 5.30 - Geometria de rotura dos provetes após o ensaio à compressão

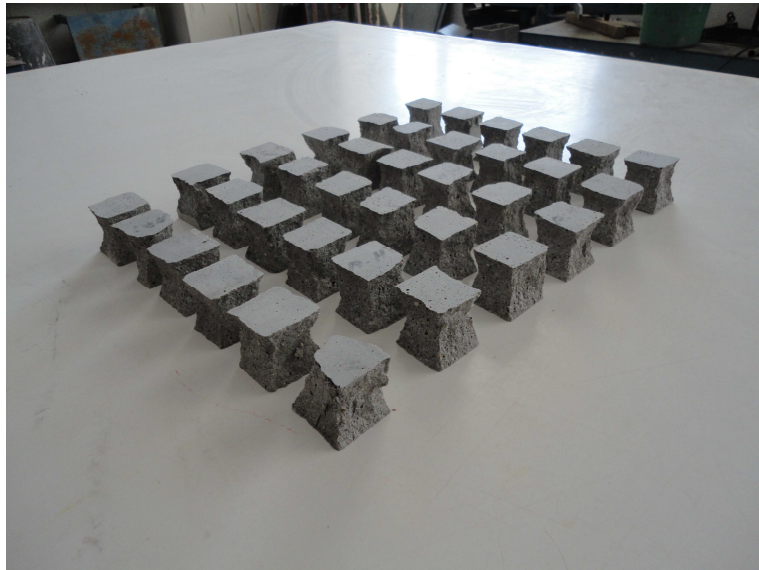


Figura 5.31 - Amostragem de vários provetes submetidos à compressão

Capítulo 6- Apresentação e Discussão dos Resultados

6.1 - Introdução

No presente Capítulo é feita a apresentação dos resultados obtidos ao longo da campanha experimental, desde a caracterização dos materiais até aos ensaios nas argamassas. O principal objectivo desta campanha experimental consistiu em avaliar o impacto da introdução de percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados nas argamassas, em substituição parcial dos agregados finos naturais até um limite de 50% de substituição. Todas as argamassas cumpriram os critérios reológicos pré-estabelecidos de modo a torná-las adequadas à produção de betões auto-compactáveis.

Os resultados serão apresentados e discutidos pela mesma ordem descrita na campanha experimental, começando pela caracterização dos materiais utilizados no Sub-Capítulo 6.2, definição das curvas de referência dos agregados finos no Sub-Capítulo 6.3 e estudos em argamassas no Sub-Capítulo 6.4. Por último, no Sub-Capítulo 6.5, serão apresentadas as conclusões finais do estudo das argamassas.

6.2 - Caracterização dos materiais utilizados

6.2.1 - Ligantes

O Quadro 6.1 reporta à massa volúmica obtida para o ligante utilizado neste estudo, o cimento Portland (CEM I 42,5R).

Quadro 6.1 - Massa volúmica do ligante CEM I 42,5R

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Ligante	CEM I 42,5R	$\delta_{c1} = 3140$

De forma a complementar a informação relativa à caracterização do cimento, optou-se por apresentar os resultados fornecidos pelo fabricante (SECIL), relativos aos ensaios de auto-controlo efectuados no mesmo mês em que o referido cimento foi produzido. Os resultados do

auto-controlo incluem os ensaios mecânicos (Quadro 6.2), os ensaios físicos (Quadro 6.3) e os ensaios químicos (Quadro 6.4).

Quadro 6.2 - Ensaio mecânicos do ligante CEM I 42,5R

LIGANTE	ENSAIOS MECÂNICOS [NP EN 196-1]				
	Idade [dias]	Resistência [MPa]			
		Flexão		Compressão	
		Mensal	Anual	Mensal	Anual
CEM I 42,5R	2	5,5	6,1	32,5	33,4
	7	7,6	8,0	47,8	46,3
	28	8,8	9,2	59,3	58,0

Observações: Anual - Valor médio dos últimos 12 meses.

Quadro 6.3 - Ensaio físicos do ligante CEM I 42,5R

ENSAIOS FÍSICOS		CEM I 42,5R	
		Mensal	Anual
Peso Específico (g/m ³)		3,13	3,12
Resíduo de peneiração (%)	90 µm	---	---
	63 µm	---	---
	45 µm	3,4	4,4
	32 µm	---	---
Superfície Específica de Blaine (cm ² /g) [NP EN 196-6]		4009	3848
Água na Pasta Normal (%) [NP EN 196-3]		28,7	28,7
Tempo de presa (min) [NP EN 196-3]	Início	106	104
	Fim	137	136
Expansibilidade (mm) [NP EN 196-3]		0,9	0,9
Índice de Brancura (0 a 100)		---	---

Observações: Anual - Valor médio dos últimos 12 meses.

Quadro 6.4 - Análise química do ligante CEM I 42,5R

ANÁLISE QUÍMICA			CEM I 42,5R	
			Mensal	Anual
Perda ao Fogo	%	P.F.	1,8	1,5
Resíduo Insolúvel	%	RI	1,1	1,3
Óxido de Silício	%	SiO ₂	20,31	21,08
Óxido de Alumínio	%	Al ₂ O ₃	4,33	4,84
Óxido de Ferro	%	Fe ₂ O ₃	3,11	3,12
Óxido de Cálcio	%	CaO	61,86	62,08
Óxido de Magnésio	%	MgO	3,60	3,41
Sulfatos	%	SO ₃	3,69	3,19
Óxido de Potássio	%	K ₂ O	---	---
Óxido de Sódio	%	Na ₂ O	---	---
Cloretos	%	Cl ⁻	0,02	0,02
Cal livre	%	---	1,49	1,67
N/D (não doseados)	%	---	1,50	1,03
Observações: Anual - Valor médio dos últimos 12 meses.				

6.2.2 - Adições minerais

Os ensaios laboratoriais efectuados para caracterizar as adições incluem a determinação da massa volúmica e a análise de parâmetros físicos das partículas com recurso ao equipamento de ensaio COULTER LS200 existente na UBI.

As adições minerais escolhidas para este estudo foram o fíler calcário e as cinzas volantes. No Quadro 6.5 é apresentado o resultado obtido no ensaio de determinação da massa volúmica para estes materiais.

Quadro 6.5 - Massa volúmica das adições minerais

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Fíler calcário	Betocarb P1 - OU	δ_{FC} = 2720
Cinzas volantes	----	δ_{CV} = 2380

O analisador de partículas COULTER LS200 forneceu os parâmetros físicos que se apresentam no Quadro 6.6 e os diagramas cumulativo e diferencial da fracção volumétrica em função do tamanho das partículas que se apresentam, respectivamente na Figura 6.1 e na Figura 6.2.

Quadro 6.6 - Parâmetros físicos das adições medidos no COULTER LS200

Parâmetros medidos	Adições	
	Fíler calcário	Cinzas volantes
Diâmetro médio das partículas [μm]	14,81	34,30
Superfície específica [cm^2/g]	5088	4009
d_{10} [μm] (<10%)	1,879	2,671
d_{25} [μm] (<25%)	2,808	6,347
d_{50} [μm] (<50%)	5,455	15,71
d_{75} [μm] (<75%)	21,63	44,47
d_{90} [μm] (<90%)	45,02	101,6

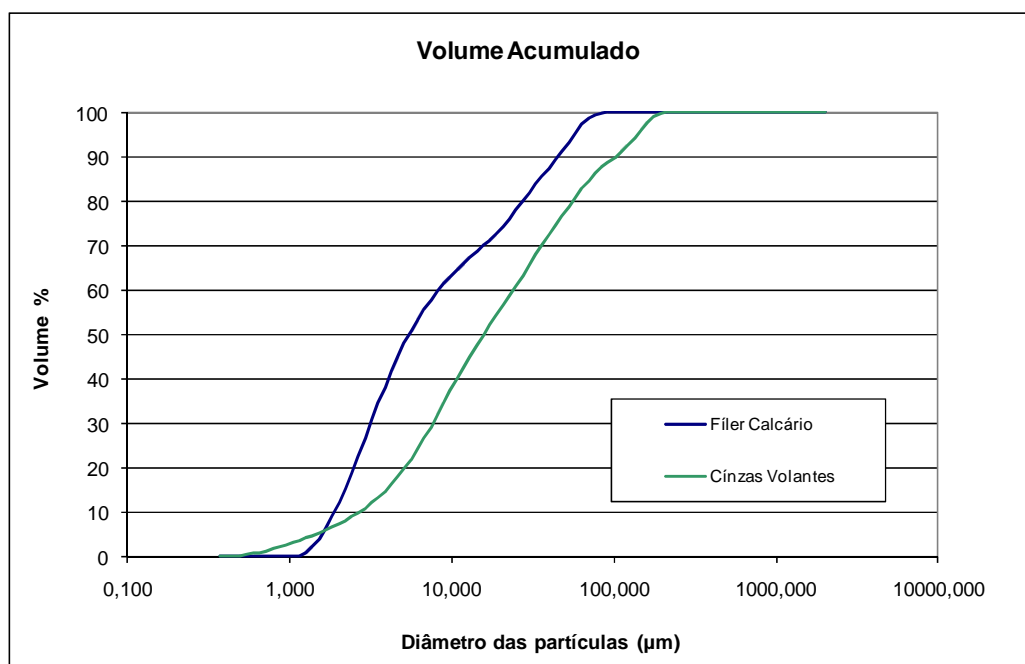


Figura 6.1 - Diagrama cumulativo da fracção volumétrica (COULTER LS200)

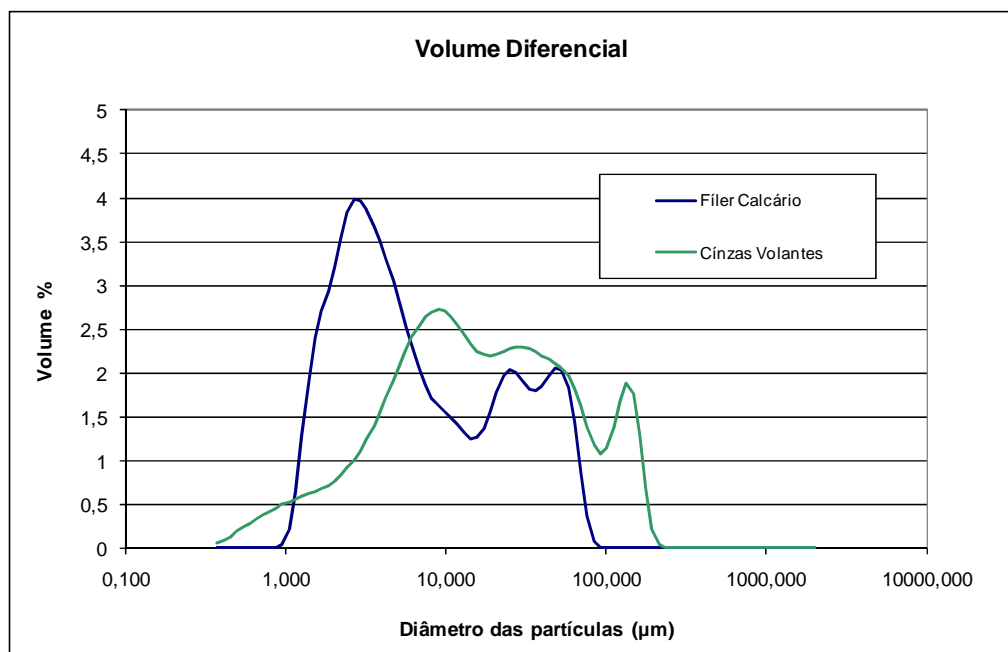


Figura 6.2 - Diagrama diferencial da fracção volumétrica (COULTER LS200)

A caracterização das cinzas volantes e do fíler calcário foi complementada a partir dos ensaios de auto-controlo efectuados pelos respectivos fabricantes. Os Quadros 6.7 e 6.8 resumem, respectivamente, alguns dos parâmetros químicos das cinzas volantes e do fíler calcário. Os parâmetros físicos destes materiais são apresentados nos Quadros 6.9 e 6.10.

Quadro 6.7 - Características químicas das cinzas volantes

Cinzas Volantes	
Características químicas	Resultados (valores médios)
Inqueimados	7,20 %
Ferro (FeO ₃)	7,64 %
Sódio (Na ₂ O)	1,10 %
Potássio (K ₂ O)	2,44 %
Magnésio (MgO)	0,65 %
Sulfatos (SO ₃)	0,33 %
Cloretos (Cl ⁻)	0,00 %
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,16 %
Titânio (TiO ₂)	0,67 %
Cal livre (CaO livre)	0,0 %
Observação: Os resultados apresentados foram obtidos a partir de valores fornecidos pela empresa TEJO ENERGIA - Produção e Distribuição de Energia Eléctrica, S.A..	

Quadro 6.8 - Características químicas do fíler calcário

Fíler Calcário: Betocarb P1 - OU	
Características químicas	Resultados (valores médios)
Carbonato de cálcio (CaCO ₃)	99,00 %
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	< 0,22 %
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	< 0,03 %
Insolúveis em HCl	< 0,04 %
Observação: Os resultados apresentados foram fornecidos pela empresa OMYA COMITAL.	

Quadro 6.9 - Características físicas do fíler calcário

Fíler Calcário: Betocarb P1 - OU	
Características físicas	Resultados (valores médios)
Dureza na escala de Mohs	3
Índice de refração	1,55
Peso específico	2,7 g/cm ³
Perda ao fogo	43,36 %
pH - (ISO 787/9)	9
Teor de humidade (na expedição) - (ISO 787/2)	0,10 %
Densidade aparente - (ISO 903)	0,90 g/cm ³
Partículas < 325 µm - (ISO 787/7)	100 %
Corte superior - (ISO 787/2)	125 µm
Partículas < 80 µm - (ISO 787/7)	92,0 %
Partículas < 2 µm - (Sedigraph 5100)	15,0 %
Diâmetro médio (d50%) - (Sedigraph 5100)	5 µm
Observação: Os resultados apresentados foram fornecidos pela empresa OMYA COMITAL.	

Quadro 6.10 - Características físicas das cinzas volantes

Cinzas Volantes	
Características físicas	Resultados (valores médios)
Finura (peneiro 45 µm)	14 %
Actividade resistente a 28 dias	89
Actividade resistente a 90 dias	159
Estabilidade volumétrica	0,5 mm
Observação: Os resultados apresentados foram obtidos a partir de valores fornecidos pela empresa TEJO ENERGIA - Produção e Distribuição de Energia Eléctrica, S.A..	

6.2.3 - Agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados finos incluíram a determinação da massa volúmica, a determinação da absorção de água e a análise granulométrica.

No Quadro 6.11 e Quadro 6.12 são resumidos os resultados obtidos dos ensaios de determinação da massa volúmica e da absorção de água. A análise granulométrica da Areia 0/2 é apresentada no Quadro 6.13, da Areia 0/4 no Quadro 6.14 e da Areia Reciclada no Quadro 6.15.

Quadro 6.11 - Massas volúmicas dos agregados finos

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação	Valor médio [kg/m ³]
Agregado fino	Areia 0/2	$\bar{\delta}_{s1} = 2600$
Agregado fino	Areia 0/4	$\bar{\delta}_{s2} = 2630$
Agregado fino	Areia Reciclada	$\bar{\delta}_{s3} = 2310$

Quadro 6.12 - Absorção de água dos agregados

Material		Absorção de água
Tipo	Designação	
Agregado fino	Areia 0/2	$A_{s1\%} = 0,43$
Agregado fino	Areia 0/4	$A_{s2\%} = 0,93$
Agregado fino	Areia Reciclada	$A_{s3\%} = 9,19$

Quadro 6.13 - Análise granulométrica da Areia 0/2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Agregado: Areia 0/2			Proveniência: Betão Liz - Figueira da Foz		
Peneiro	Malha (mm)	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		(g)	%	Passados (%)	Retidos (%)
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 2"	(*)50,80	0,00	0,00	100,00	0,00
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1"	(*)25,40	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	(*)12,70	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 4	4,76	0,50	0,04	99,96	0,04
nº 8	2,38	0,30	0,02	99,94	0,06
nº 16	1,19	4,90	0,40	99,54	0,46
nº 30	0,59	310,10	25,05	74,49	25,51
nº 50	0,30	742,30	59,96	14,52	85,48
nº 100	0,15	165,70	13,39	1,14	98,86
nº 200	0,074	11,90	0,96	0,18	99,82
Resíduo		2,20	0,18	0,00	100,00
Totais		1237,90	100,00		

(*) Série secundária

Peneiros para o cálculo do módulo de finura

Módulo de finura do inerte: **2,104**

Quadro 6.14 - Análise granulométrica da Areia 0/4

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Agregado: Areia 0/4			Proveniência: Betão Liz - Figueira da Foz		
Peneiro	Malha (mm)	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		(g)	%	Passados (%)	Retidos (%)
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 2"	(*)50,80	0,00	0,00	100,00	0,00
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1"	(*)25,40	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	(*)12,70	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 4	4,76	2,30	0,12	99,88	0,12
nº 8	2,38	96,10	5,11	94,77	5,23
nº 16	1,19	435,90	23,17	71,59	28,41
nº 30	0,59	820,00	43,59	28,00	72,00
nº 50	0,30	489,90	26,04	1,96	98,04
nº 100	0,15	30,40	1,62	0,34	99,66
nº 200	0,074	3,80	0,20	0,14	99,86
Resíduo		2,60	0,14	0,00	100,00
Totais		1881,00	100,00		

(*) Série secundária

Peneiros para o cálculo do módulo de finura

Módulo de finura do inerte: **3,035**

Quadro 6.15 - Análise granulométrica da Areia Reciclada

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Agregado: Areia Reciclada			Proveniência: UBI		
Peneiro	Malha (mm)	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		(g)	%	Passados (%)	Retidos (%)
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 2"	(*)50,80	0,00	0,00	100,00	0,00
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1"	(*)25,40	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	(*)12,70	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 4	4,76	4,30	0,09	99,91	0,09
nº 8	2,38	860,50	17,99	81,92	18,08
nº 16	1,19	1349,20	28,21	53,70	46,30
nº 30	0,59	1159,60	24,25	29,46	70,54
nº 50	0,30	791,90	16,56	12,90	87,10
nº 100	0,15	355,20	7,43	5,47	94,53
nº 200	0,074	193,20	4,04	1,43	98,57
Resíduo		68,40	1,43	0,00	100,00
Totais		4782,30	100,00		

(*) Série secundária

Peneiros para o cálculo do módulo de finura

Módulo de finura do inerte: **3,166**

A análise granulométrica dos agregados finos encontra-se resumida no Quadro 6.16 e ilustrada graficamente na Figura 6.3. A curva de referência indicada na última coluna à direita (Quadro 6.16) representa a granulometria da mistura otimizada por Nepomuceno [46], a qual também foi utilizada neste estudo como referência na composição da mistura de agregados finos.

Quadro 6.16 - Análise granulométrica dos agregados

Abertura da malha (mm)	Areia 0/2- Betão Liz	Areia 0/4- Betão Liz	Areia Reciclada	Mistura (Curva Ref)
	a1	a2	a3	
Percentagem de passados				
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00
4,760	99,96	99,88	99,91	99,96
2,380	99,94	94,77	81,92	99,12
1,190	99,54	71,59	53,70	90,81
0,590	74,49	28,00	29,46	62,30
0,297	14,52	1,96	12,90	21,05
0,149	1,14	0,34	5,47	4,72
0,074	0,18	0,14	1,43	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	2,104	3,035	3,166	2,220

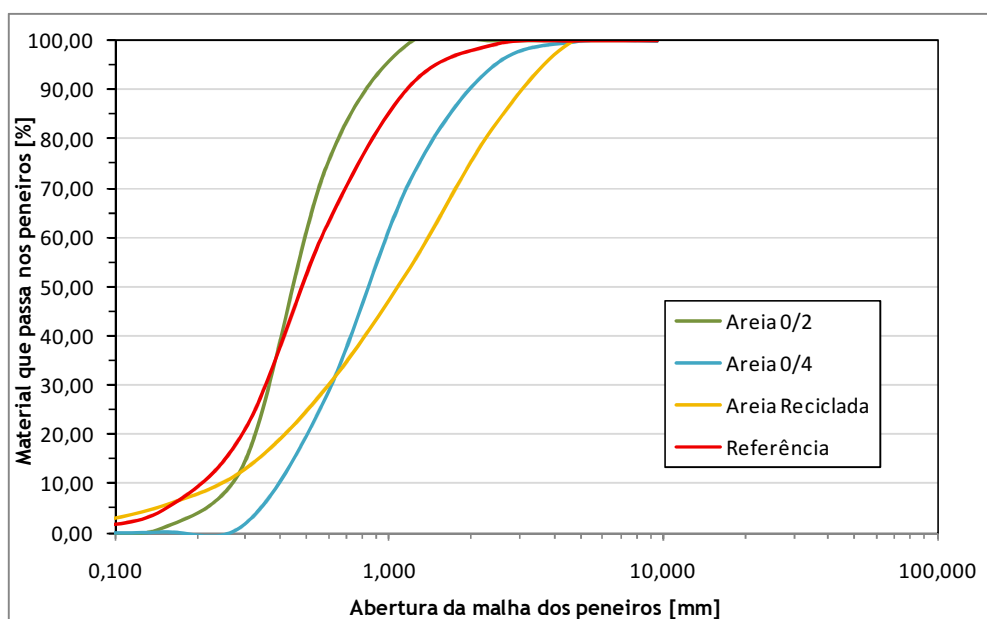


Figura 6.3 - Curvas granulométricas dos agregados

6.2.4 - Adjuvantes

O material utilizado como adjuvante nas argamassas tem a designação comercial de *Sika® ViscoCrete® 3005*. Este adjuvante é produzido pela empresa *Sika-Portugal* e as suas principais características estão apresentadas no Quadro 6.17.

Quadro 6.17 - Características do superplastificante

Sika® ViscoCrete® 3005	
Base	Policarboxilatos modificados
Aspecto	Líquido castanho claro
Massa volúmica	1,05 ± 0,02 kg/l
pH (23 ± 2 °C)	4,0 ± 1,0
Dosagem para SCC	1,0 % a 1,4 % da massa do cimento

6.3 - Curvas de referência dos agregados finos

6.3.1 - Misturas de referência binárias e ternárias

Em cada uma das séries produzidas, a primeira com misturas binárias e a segunda com misturas ternárias, foram utilizadas argamassas de referência sem agregados finos reciclados, de modo a servirem de comparação com as restantes que teriam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados. As fracções granulométricas dos agregados finos naturais (Areia 0/2 e Areia 0/4) dessas duas argamassas de referência são aqui apresentadas.

No Quadro 6.18 são apresentadas as percentagens unitárias da Areia 0/2 e da Areia 0/4 e a curva granulométrica resultante da combinação desses dois agregados finos naturais (denominada de curva real), assim como a curva granulométrica que serviu de referência (curva de referência). Na Figura 6.4 a curva real obtida é comparada graficamente com a curva de referência adoptada. Verifica-se que, para a associação de 50 % de Areia 0/2 e 50 % de Areia 0/4, as curvas real e de referência estão muito próximas. Esta pequena diferença entre as curvas real e de referência poderia ainda ser reduzida, mas optou-se por não aumentar excessivamente a Areia 0/2 na mistura.

Quadro 6.18 - Mistura da curva real e de referência dos agregados finos

FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS							
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2- Betão Liz	Areia 0/4- Betão Liz	Areia ---	Areia Reciclada	Mistura (Curva Real)	Mistura (Curva Ref)	Erro médio percentual
	a1	a2	a3	a4			
	0,50	0,50		0,00			
	Percentagem de passados						
9,520	100,00	100,00			100,00	100,00	0,00
4,760	99,96	99,88			99,92	99,96	0,05
2,380	99,94	94,77			97,35	99,12	1,77
1,190	99,54	71,59			85,57	90,81	5,24
0,590	74,49	28,00			51,25	62,30	11,06
0,297	14,52	1,96			8,24	21,05	12,81
0,149	1,14	0,34			0,74	4,72	3,98
0,074	0,18	0,14			0,16	0,85	0,69
Resíduo	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00
	Módulos de finura						
	2,104	3,035	7,000	7,000	2,569	2,220	3,954

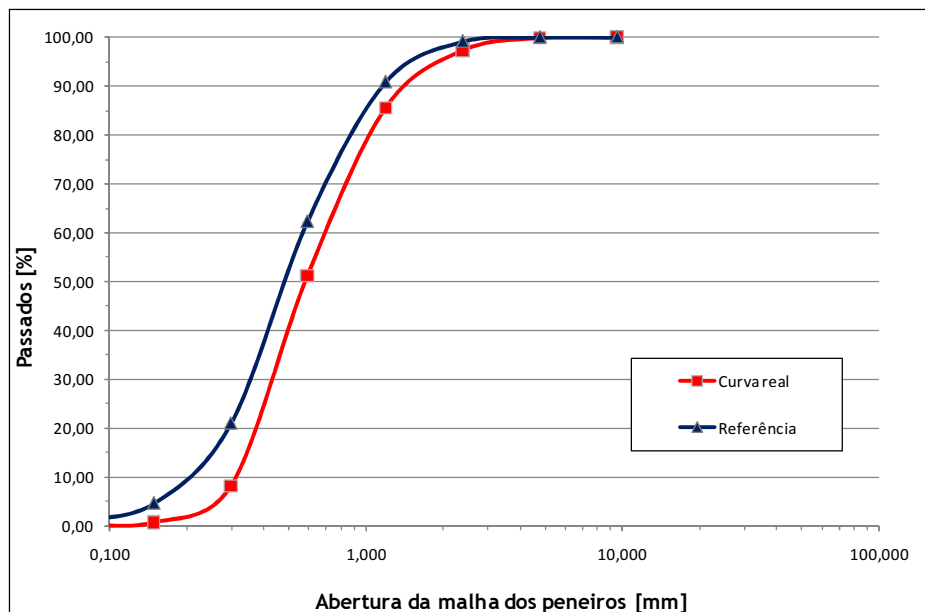


Figura 6.4 - Curvas granulométricas das misturas de agregados finos (real e de referência)

6.3.2 - Misturas com incorporação de agregados reciclados

A partir das misturas de referência das séries binária e ternária, foi necessário introduzir gradualmente percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais, em incrementos de 5% até ao limite de 50% de substituição. Face ao objectivo inicial, impunha-se que a estrutura granular da curva resultante da combinação dos diferentes agregados finos se mantivesse aproximadamente constante em todas as misturas. Esse trabalho foi de certo modo facilitado pela circunstância da curva granulométrica do agregado fino reciclado ser muito próxima da curva granulométrica da Areia 0/4, bastando neste caso substituir gradualmente uma pela outra, conservando-se sensivelmente a mesma estrutura granular. Por esse motivo, a percentagem unitária da Areia 0/2 se manteve constante (50%) em todo o estudo. Na situação limite de 50% de substituição de agregado fino natural por agregado fino reciclado, toda a Areia 0/4 foi substituída por Areia Reciclada.

Neste capítulo apresentam-se apenas as duas situações limite (5% e 50% de substituição) e a situação intermédia (25% de substituição). Assim, os Quadros 6.19, 6.20 e 6.21 apresentam as percentagens unitárias dos agregados finos quando se introduziu, respectivamente, 5%, 25% e 50% de Areia Reciclada. As Figuras 6.5, 6.6 e 6.7 representam graficamente as curvas granulométricas real e de referência obtidas, respectivamente, para as percentagens de substituição de 5%, 25% e 50%.

Quadro 6.19 - Substituição de areia natural por 5% de Areia Reciclada

FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS							
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2- Betão Liz	Areia 0/4- Betão Liz	Areia --	Areia Reciclada	Mistura (Curva Real)	Mistura (Curva Ref)	Erro médio percentual
	a1	a2	a3	a4			
0,50	0,50	0,45		0,05			
Percentagem de passados							
9,520	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	0,00
4,760	99,96	99,88		99,91	99,92	99,96	0,04
2,380	99,94	94,77		81,92	96,71	99,12	2,41
1,190	99,54	71,59		53,70	84,67	90,81	6,13
0,590	74,49	28,00		29,46	51,32	62,30	10,98
0,297	14,52	1,96		12,90	8,79	21,05	12,26
0,149	1,14	0,34		5,47	1,00	4,72	3,73
0,074	0,18	0,14		1,43	0,22	0,85	0,62
Resíduo	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura							
	2,104	3,035	7,000	3,166	2,576	2,220	4,020

Quadro 6.20 - Substituição de areia natural por 25% de Areia Reciclada

FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS							
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2- Betão Liz	Areia 0/4- Betão Liz	Areia --	Areia Reciclada	Mistura (Curva Real)	Mistura (Curva Ref)	Erro médio percentual
	a1	a2	a3	a4			
0,50	0,50	0,25		0,25			
Percentagem de passados							
9,520	100,00	100,00		100,00	100,00	100,00	0,00
4,760	99,96	99,88		99,91	99,93	99,96	0,04
2,380	99,94	94,77		81,92	94,14	99,12	4,98
1,190	99,54	71,59		53,70	81,09	90,81	9,71
0,590	74,49	28,00		29,46	51,61	62,30	10,69
0,297	14,52	1,96		12,90	10,98	21,05	10,07
0,149	1,14	0,34		5,47	2,02	4,72	2,70
0,074	0,18	0,14		1,43	0,48	0,85	0,37
Resíduo	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura							
	2,104	3,035	7,000	3,166	2,602	2,220	4,285

Quadro 6.21 - Substituição de areia natural por 50% de Areia Reciclada

FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS							
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2- Betão Liz	Areia 0/4- Betão Liz	Areia --	Areia Reciclada	Mistura (Curva Real)	Mistura (Curva Ref)	Erro médio percentual
	a1	a2	a3	a4			
0,50	0,50	0,00		0,50			
Percentagem de passados							
9,520	100,00			100,00	100,00	100,00	0,00
4,760	99,96			99,91	99,93	99,96	0,03
2,380	99,94			81,92	90,93	99,12	8,20
1,190	99,54			53,70	76,62	90,81	14,18
0,590	74,49			29,46	51,97	62,30	10,33
0,297	14,52			12,90	13,71	21,05	7,33
0,149	1,14			5,47	3,30	4,72	1,42
0,074	0,18			1,43	0,80	0,85	0,04
Resíduo	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura							
	2,104	7,000	7,000	3,166	2,635	2,220	4,615

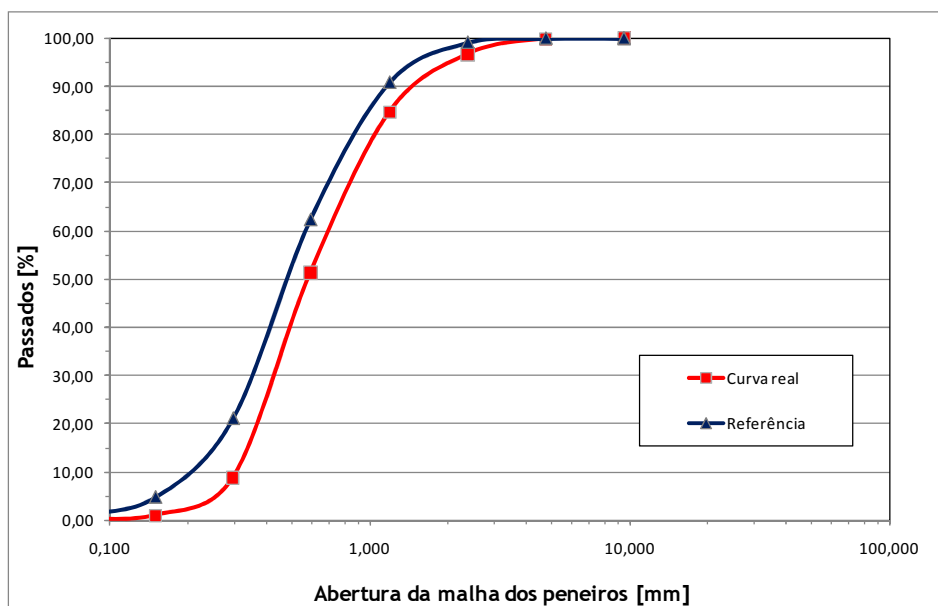


Figura 6.5 - Substituição de areia natural por 5% de Areia Reciclada

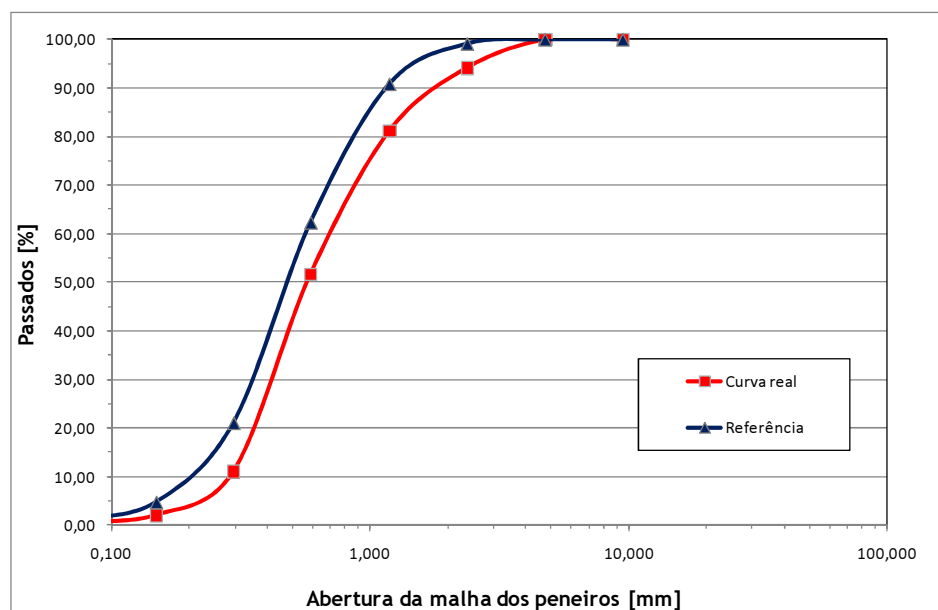


Figura 6.6 - Substituição de areia natural por 25% de Areia Reciclada

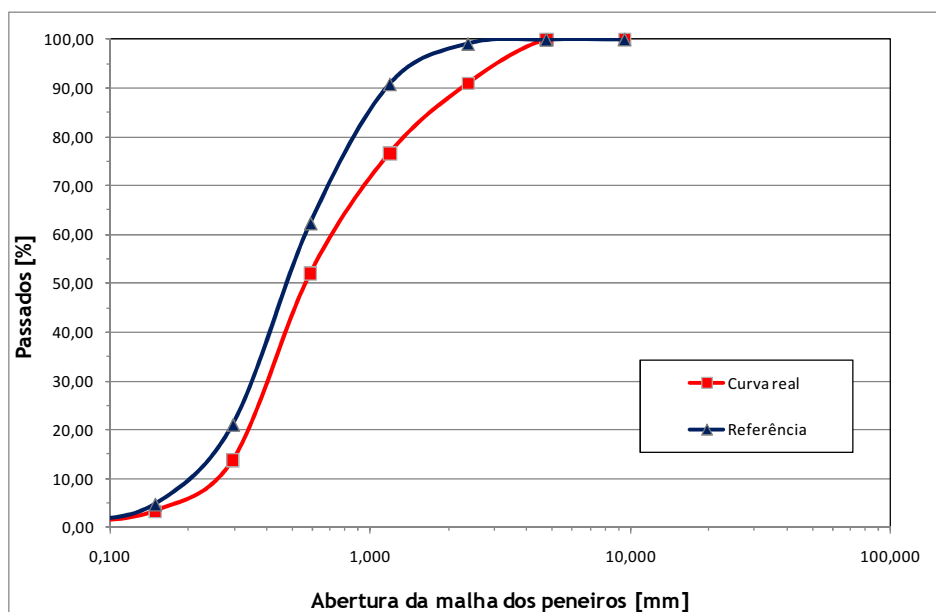


Figura 6.7 - Substituição de areia natural por 50% de Areia Reciclada

6.4 - Estudos em argamassas

6.4.1 - Introdução

O programa experimental descrito no Capítulo 5 envolveu a realização de um número significativo de amassaduras e a execução de ensaios para avaliação dos parâmetros reológicos, tendo sido realizado um total de 47 argamassas. De entre as 47 argamassas produzidas, 17 cumpriram os requisitos impostos quanto ao comportamento reológico e foram posteriormente ensaiadas para avaliação das suas propriedades no estado endurecido, nomeadamente a resistência à compressão e a massa volúmica. Estas 17 argamassas que cumpriram os requisitos reológicos incluíram misturas binárias e ternárias de materiais finos, sendo que 11 dessas misturas dizem respeito à Série 1 de ensaios (misturas binárias) e as restantes 6 argamassas incluem-se na Série 2 (misturas ternárias).

Neste Sub-Capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos para as misturas binárias (Item 6.4.2) e para as misturas ternárias (Item 6.4.3) e apresenta-se uma análise comparativa das duas Séries (Item 6.4.4).

6.4.2 - Argamassas com associações binárias

A Série 1 de ensaios da campanha experimental incluiu um total de 11 argamassas com a mesma associação binária de materiais finos, incorporando o cimento Portland CEM I 42,5R (40%) e fíler calcário (60%). Na Série 1, a primeira argamassa apenas incluiu agregados finos naturais e serviu de referência para comparação com as restantes argamassas da mesma Série que incorporam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais, em incrementos de 5%, até um limite de 50%. Os procedimentos de tratamento de dados foram semelhantes em todas as argamassas, tendo-se optado por descrever esses procedimentos de forma detalhada apenas para a argamassa de referência.

No Quadro 6.22 apresentam-se os resultados obtidos no acerto das propriedades reológicas da argamassa de referência com associação binária de materiais finos. Como se observa, foi necessário proceder à elaboração de quatro argamassas para concluir quais os parâmetros que levariam ao comportamento reológico pretendido (argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4). A Figura 6.8 apresenta de forma gráfica o resumo dos parâmetros reológicos das diferentes argamassas. O rectângulo identificado na Figura 6.8 corresponde ao “alvo” pré-definido.

Quadro 6.22 - Parâmetros reológicos da argamassa de referência da Série 1

ARGAMASSA: 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.1	0,80	0,70	0,35	313	315	5,39	8,86	1,86
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.2	0,80	0,68	0,31	214	215	11,38	3,60	0,88
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.3	0,80	0,69	0,34	235	233	10,40	4,48	0,96
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4	0,80	0,70	0,34	262	260	7,66	5,81	1,31

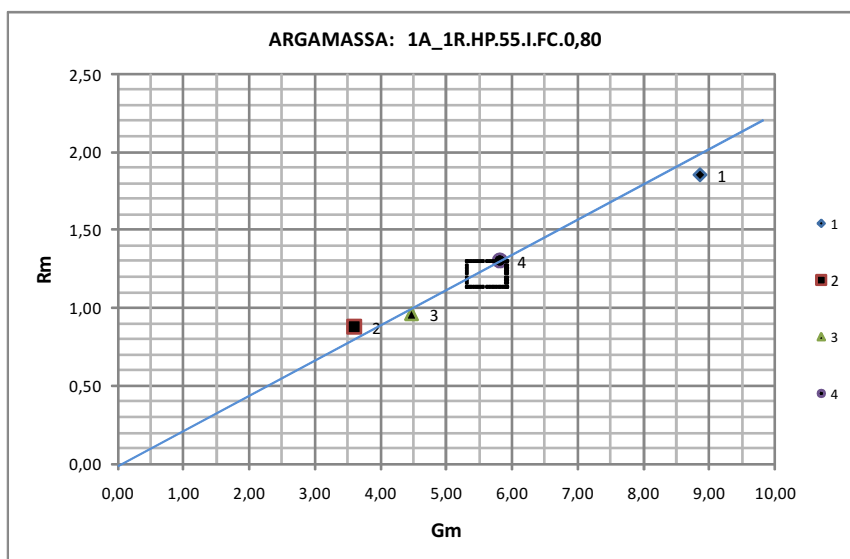


Figura 6.8 - Parâmetros reológicos da argamassa de referência da Série 1

No Quadro 6.23 é apresentado o valor médio da resistência à compressão para a argamassa que cumpriu os parâmetros reológicos, com a referência 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4. A resistência média à compressão aos 28 dias de idade foi de 54,5 MPa.

Quadro 6.23 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa de referência - Série 1

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
	1				87,3	54,6	54,54	0,66	1,2
	2				86,7	54,2			
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	3	26-01-2011	23-02-2011	28	87,8	54,9			
	4				88,4	55,3			
	5				85,5	53,4			
	6				87,9	55,0			
Notas: 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 % 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca 3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm ² . s ⁻¹) 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal									

O Quadro 6.24 resume os resultados obtidos em todas as argamassas produzidas na Série 1 (misturas binárias), incluindo a argamassa de referência. Em anexo (Anexo E) são apresentadas as folhas de cálculo (Excel) utilizadas para o cálculo das composições das argamassas. Assim, o Anexo E inclui os estudos de composição das misturas (Anexo E.1), os estudos reológicos (Anexo F.1) e os ensaios à compressão das argamassas (Anexo G.1).

No anexo E.1 são apresentados os estudos de composição das 11 argamassas que cumpriram os critérios reológicos na Série 1. Esses estudos incluem, para além dos parâmetros de cálculo da composição, outros parâmetros relevantes que serão utilizados na análise e discussão dos resultados. Considerando que os parâmetros relevantes para o estudo da composição do BAC são aqueles obtidos nas argamassas que cumprem os critérios reológicos estabelecidos, considerou-se desnecessária a apresentação em anexo, da composição das restantes argamassas produzidas.

Os estudos reológicos efectuados em cada uma das combinações estudadas da Série 1, são apresentados no Anexo F.1. Estes estudos reológicos incluem os resultados dos ensaios das argamassas no estado fresco e o tratamento de dados que conduziu à obtenção dos parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ adequados para cada combinação estudada.

O Anexo G.1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios à compressão das 11 argamassas da Série 1 que cumpriram os critérios reológicos. Para cada argamassa é apresentado o valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação de um conjunto de seis provetes ensaiados à compressão, sujeitos a cura normalizada. Além dos resultados obtidos nos ensaios à compressão, este anexo caracteriza a massa volúmica das argamassas.

Quadro 6.24 - Síntese dos resultados obtidos nas misturas binárias das argamassas

Identificação da Argamassa	Parâmetros da composição										Quantidades para um volume de 1000 litros										Correcções da mistura (p/ 1000 litros)				Ensaio				Resistência à compressão		Massa volumétrica [kg/m ³]
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/ps	Composição da mistura de finos		Áreas [%]	Cimento [kg]	Filer calcário [kg]	W [litros]	Sp [litros]	Áreas [kg]			Massa total [kg]	Razão água/(mat. cimentícios)	Razão água/finos	ΔW [litros]	ΔSp [litros]	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Fluidez	Reologia		Valor médio [MPa]	Coef. variação [%]					
				fc1	ffc						0/2	0/4	Reciclada										0/2	0/4			Reciclada	Gm	Rm		
1A_1R.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,700	0,350	0,40	0,60	0,50	424,4	551,4	236,5	3,25	549,1	555,4	0,0	2320,2	0,557	0,242	—	—	313	315	5,39	8,86	1,86	—	—						
1A_1R.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,680	0,310	0,40	0,60	0,50	427,4	555,4	231,4	2,90	553,0	559,4	0,0	2329,6	0,541	0,235	5,1	0,35	214	215	11,38	3,60	0,88	—	—						
1A_1R.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,690	0,340	0,40	0,60	0,50	425,9	553,3	233,9	3,17	551,0	557,3	0,0	2324,8	0,549	0,239	-2,5	-0,27	235	233	10,40	4,48	0,96	—	—						
1A_1R.HP.55.I.FC.0.80.4	0,80	0,700	0,340	0,40	0,60	0,50	424,4	551,5	236,5	3,16	549,1	555,4	0,0	2320,3	0,557	0,242	-2,6	0,01	262	260	7,66	5,81	1,31	54,54	0,66						
2A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,700	0,340	0,40	0,60	0,50	424,4	551,5	236,5	3,16	549,1	559,9	48,8	2264,8	0,557	0,242	—	—	327	327	5,65	9,69	1,77	—	—						
2A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,680	0,320	0,40	0,60	0,50	427,4	555,3	231,4	2,99	552,9	503,4	49,1	2273,6	0,541	0,235	5,1	0,17	278	270	5,88	6,51	1,70	—	—						
2A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,670	0,330	0,40	0,60	0,50	428,8	557,2	228,7	3,10	554,8	505,1	49,3	2277,8	0,533	0,232	2,7	-0,11	210	205	12,41	3,31	0,81	—	—						
2A_1I.HP.55.I.FC.0.80.4	0,80	0,650	0,350	0,40	0,60	0,50	431,7	560,9	223,4	3,31	558,5	508,4	49,6	2286,4	0,518	0,225	5,3	-0,21	206	206	12,09	3,24	0,83	—	—						
2A_1I.HP.55.I.FC.0.80.5	0,80	0,690	0,330	0,40	0,60	0,50	425,9	553,4	234,0	3,08	551,0	501,6	49,0	2269,2	0,549	0,239	-10,6	0,23	226	227	10,50	4,13	0,95	—	—						
3A_1I.HP.55.I.FC.0.80.6	0,80	0,710	0,330	0,40	0,60	0,50	423,0	549,7	239,1	3,06	547,3	498,3	48,6	2260,6	0,565	0,246	-5,1	0,02	264	261	7,81	5,89	1,28	54,10	1,65						
3A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,710	0,330	0,40	0,60	0,50	423,0	549,7	239,1	3,06	547,3	442,9	97,3	2205,2	0,565	0,246	—	—	263	260	7,78	5,84	1,29	49,15	2,12						
4A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,710	0,330	0,40	0,60	0,50	423,0	549,7	239,1	3,06	547,3	387,5	145,9	2149,9	0,565	0,246	—	—	229	230	9,22	4,27	1,08	—	—						
4A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,720	0,335	0,40	0,60	0,50	421,6	547,8	241,7	3,09	545,4	386,2	145,4	2146,0	0,573	0,249	-2,6	-0,03	244	245	8,72	4,98	1,15	—	—						
4A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,725	0,335	0,40	0,60	0,50	420,9	546,9	242,9	3,09	544,5	385,6	145,1	2144,0	0,577	0,251	-1,2	0	254	255	7,97	5,48	1,25	49,27	1,91						
4A_1I.HP.55.I.FC.0.80.4	0,80	0,730	0,335	0,40	0,60	0,50	420,2	546,0	244,2	3,08	543,6	329,9	193,2	2087,1	0,581	0,253	—	—	275	275	7,47	6,56	1,34	—	—						
5A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,725	0,335	0,40	0,60	0,50	420,9	546,9	242,9	3,09	544,5	330,5	193,5	2089,0	0,577	0,251	1,3	-0,01	277	277	6,72	6,67	1,49	—	—						
5A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,710	0,335	0,40	0,60	0,50	423,0	549,6	239,1	3,10	547,3	332,2	194,5	2094,5	0,565	0,246	3,8	-0,01	265	266	7,78	6,05	1,29	47,21	1,78						
6A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,710	0,335	0,40	0,60	0,50	423,0	549,6	239,1	3,10	547,3	276,8	243,1	2039,1	0,565	0,246	—	—	278	277	7,91	6,70	1,26	—	—						
6A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,700	0,335	0,40	0,60	0,50	424,4	551,5	236,5	3,11	549,1	277,7	243,9	2042,6	0,557	0,242	2,6	-0,01	249	249	9,00	5,20	1,11	—	—						
6A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,705	0,335	0,40	0,60	0,50	423,7	550,6	237,8	3,11	548,2	277,3	243,5	2043,9	0,561	0,244	-1,3	0,00	261	261	8,12	5,81	1,23	51,54	2,09						
7A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,705	0,335	0,40	0,60	0,50	423,7	550,6	237,8	3,11	548,2	221,8	292,2	1985,4	0,561	0,244	—	—	200	196	10,82	2,92	0,92	—	—						
7A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,720	0,335	0,40	0,60	0,50	421,6	547,8	241,7	3,09	545,4	220,7	290,8	1980,4	0,573	0,249	-3,9	0,02	262	262	7,75	5,86	1,29	51,31	1,65						
7A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,720	0,335	0,40	0,60	0,50	421,6	547,8	241,7	3,09	545,4	165,5	339,2	1925,3	0,573	0,249	—	—	260	260	8,60	5,76	1,16	49,6	1,97						
8A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,720	0,335	0,40	0,60	0,50	421,6	547,8	241,7	3,09	545,4	110,3	387,7	1870,1	0,573	0,249	—	—	238	239	8,81	4,69	1,14	—	—						
9A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,730	0,335	0,40	0,60	0,50	420,2	546,0	244,2	3,08	543,6	110,0	386,4	1867,2	0,581	0,253	-2,5	0,01	270	270	6,31	6,29	1,58	—	—						
9A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,725	0,335	0,40	0,60	0,50	420,9	546,9	242,9	3,09	544,5	110,2	387,0	1868,6	0,577	0,251	1,3	-0,01	262	263	8,16	5,89	1,23	49,85	2,44						
10A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,725	0,335	0,40	0,60	0,50	420,9	546,9	242,9	3,09	544,5	55,1	437,6	1813,6	0,577	0,251	—	—	288	289	6,07	7,32	1,65	—	—						
10A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,710	0,335	0,40	0,60	0,50	423,0	549,6	239,1	3,10	547,3	55,4	437,6	1817,7	0,565	0,246	3,8	-0,01	264	263	7,93	5,94	1,26	49,65	2,90						
11A_1I.HP.55.I.FC.0.80.1	0,80	0,710	0,335	0,40	0,60	0,50	423,0	549,6	239,1	3,10	547,3	0,0	486,2	1762,3	0,565	0,246	—	—	277	276	6,38	6,65	1,57	—	—						
11A_1I.HP.55.I.FC.0.80.2	0,80	0,705	0,335	0,40	0,60	0,50	423,7	550,6	237,8	3,11	548,2	0,0	487,1	1763,6	0,561	0,244	1,3	-0,01	270	270	6,87	6,29	1,46	—	—						
11A_1I.HP.55.I.FC.0.80.3	0,80	0,700	0,335	0,40	0,60	0,50	424,4	551,5	236,5	3,11	549,1	0,0	487,9	1764,9	0,557	0,242	1,3	0	262	262	7,41	5,86	1,35	46,47	1,61						

Argamassas que cumpriram os critérios reológicos

A primeira análise efectuada na Série 1 incidiu sobre as dosagens em volume absoluto de água e de superplastificante, que conduziram às propriedades reológicas pretendidas e a sua relação com a natureza e dosagem dos diferentes materiais sólidos que compõem as argamassas. As Figuras 6.9 e 6.10 ilustram, respectivamente, as dosagens de água e de superplastificante de cada uma das argamassas produzidas. As argamassas avaliadas são aquelas que cumpriram os critérios reológicos.

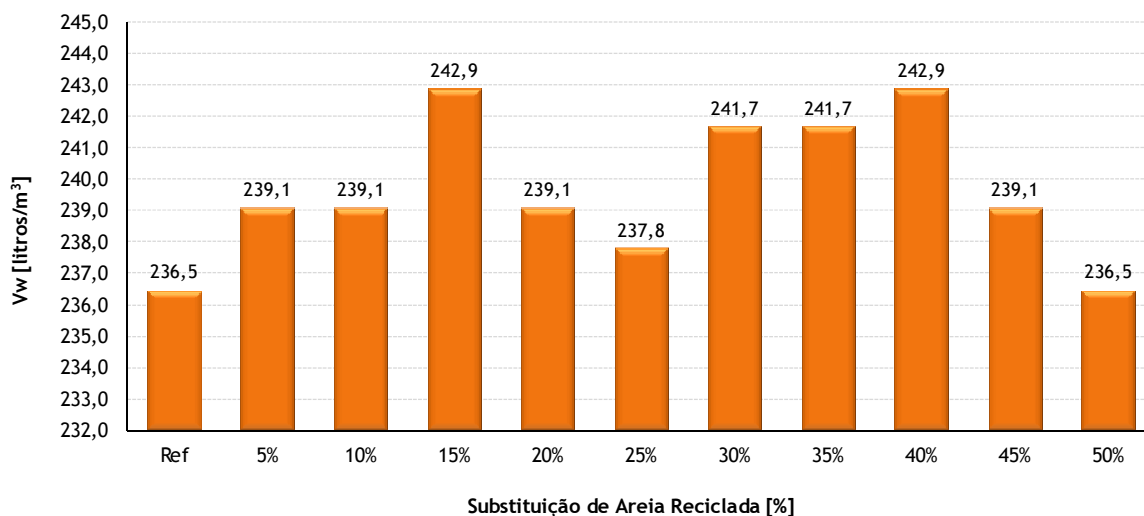


Figura 6.9 - Dosagem de água por metro cúbico de argamassa - Série 1

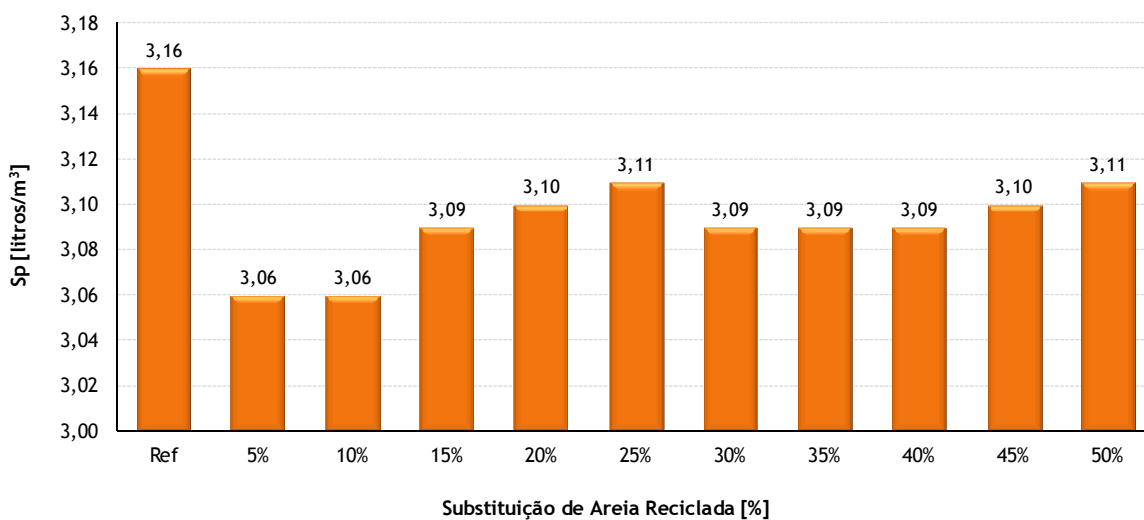


Figura 6.10 - Dosagem de superplastificante por metro cúbico de argamassa - Série 1

Analisando a Figura 6.9 verifica-se que a dosagem de água de amassadura se situou no intervalo de 236,5 a 242,9 litros/m³. A Figura 6.9 não evidencia uma tendência explícita para o aumento ou redução da dosagem de água de amassadura à medida que aumenta a percentagem de incorporação de Areia Reciclada. No entanto, em média, as argamassas com agregado reciclado apresentaram valores superiores da dosagem de água de amassadura em comparação com a argamassa de referência. Numa primeira análise, esta necessidade de aumento de água de amassadura para obter as mesmas propriedades reológicas poderia ser explicada pelos altos valores que os agregados reciclados apresentaram em termos de absorção de água, quando comparados com os valores dos agregados naturais. No entanto, de forma intencional, todos os agregados foram usados saturados de água para prevenir esse efeito. Nesse sentido, talvez esse efeito deva ser atribuído preferencialmente à maior angulosidade do próprio agregado reciclado, já que se substituiu agregado natural rolado por agregado reciclado britado.

A necessidade de aumento das dosagens de água de amassadura do betão quando se utilizam agregados grossos reciclados em substituição dos agregados grossos naturais britados já havia sido identificada nos estudos de Rangel [76]. Nesse estudo, a necessidade de aumentar a água foi atribuída ao facto dos agregados reciclados absorverem grande quantidade de água quando comparados com os valores dos agregados naturais.

Na Figura 6.10 é possível identificar um ligeiro aumento no consumo de superplastificante à medida que a percentagem de substituição de Areia 0/4 por Areia Reciclada aumenta de 5% até 50%. No entanto, destaca-se claramente que o maior consumo de superplastificante ocorreu na mistura de referência sem qualquer percentagem de substituição de Areia Reciclada. Não parece existir qualquer efeito que justifique a maior necessidade de superplastificante da mistura de referência, a não ser o facto de ter sido executada muito previamente às restantes e essa discrepância (que é muito reduzida) ter sido mascarada por outro qualquer efeito. Analisando mais concretamente as argamassas com agregados reciclados, que foram produzidas em dias consecutivos, portanto, em condições muito idênticas, poderá atribuir-se esse ligeiro aumento da dosagem de superplastificante ao aumento da presença de partículas de cimento provenientes dos agregados reciclados à medida que se foi incrementando a sua percentagem na argamassa, já que se optou por não excluir a parcela de materiais finos nela incorporada.

No Quadro 6.25 apresenta-se o resumo dos valores obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias de todas as argamassas produzidas na Série 1 (misturas binárias). A Figura 6.11 ilustra graficamente a evolução do valor da resistência à compressão das argamassas com o aumento da percentagem de Areia Reciclada. No Anexo G.1 é possível consultar os valores individuais de cada provete ensaiado e os cálculos intermédios efectuados.

Quadro 6.25 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (misturas binárias) - Série 1

Designação da argamassa	Substituição de Areia Reciclada [%]	Resistência à compressão [MPa]		$\Delta_{1A_1R, 28 \text{ dias}}$ [%]
		Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4	Ref	54,5	0,7	---
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.6	5%	54,1	1,7	-0,81
3A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	10%	49,2	2,1	-9,88
4A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	15%	49,3	1,9	-9,66
5A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	20%	47,2	1,8	-13,44
6A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	25%	51,5	2,1	-5,50
7A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	30%	51,3	1,7	-5,92
8A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	35%	49,6	2,0	-9,06
9A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	40%	49,9	2,4	-8,60
10A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	45%	49,7	2,9	-8,97
11A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	50%	46,5	1,6	-14,80

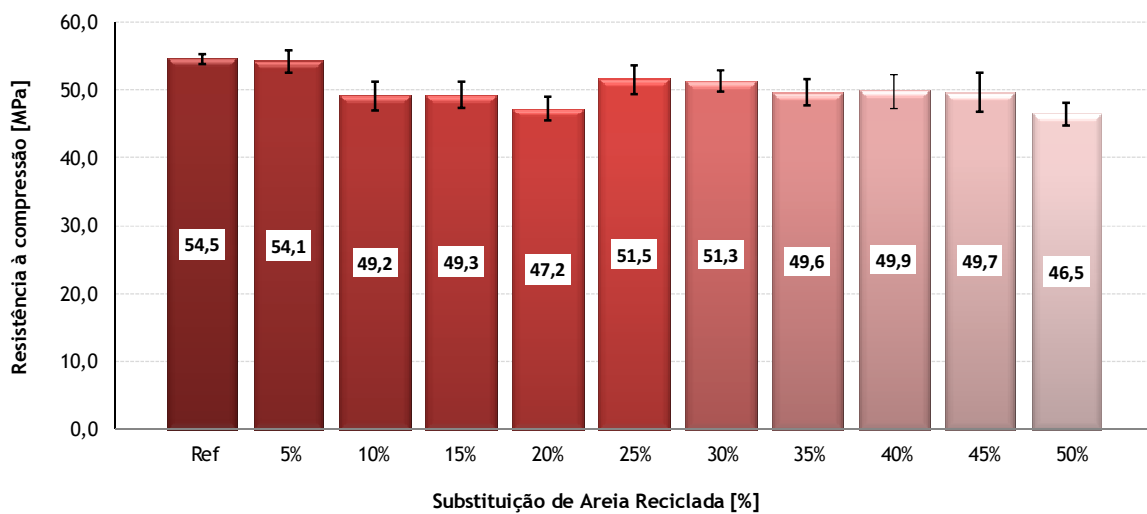


Figura 6.11 - Resistência à compressão das argamassas (Misturas binárias) - Série 1

A Figura 6.11 evidencia uma tendência clara de redução da resistência à compressão das argamassas com o aumento da percentagem de substituição dos agregados finos naturais por agregados finos reciclados. Os resultados mostram uma redução acentuada logo a partir dos 10% de substituição. O valor mais baixo da resistência foi obtido para a substituição total da Areia 0/4 pela Areia Reciclada. Em comparação com a argamassa de referência, o valor de perda de resistência à compressão situou-se nos 0,81%, 5,50% e 14,80% quando se substituiu a areia natural por Areia Reciclada nas percentagens de 5%, 25% e 50%. De realçar que para substituição

da areia natural pela Areia Reciclada (5%) apresenta aproximadamente a mesma resistência à compressão que a argamassa de referência. Conforme apresentado (Quadro 6.25 e Figura 6.11) à luz do desvio padrão revela-se insignificante.

Na Figura 6.11 verifica-se ainda que a resistência à compressão não tem um decréscimo contínuo à medida que se substitui a areia natural pela Areia Reciclada. Possivelmente os resultados obtidos encontram-se parcialmente afectados pelo erro associado ao ensaio de medição do teor em água superficial dos agregados. Na Figura 6.12 observam-se os valores do teor em água superficial dos agregados finos medidos antes da amassadura. Note-se que os resultados apresentados apenas pretendem indicar que os ensaios foram efectuados em fases diferentes e deles não se pode extrair qualquer conclusão precipitada, já que as areias foram conservadas em recipientes diferentes e naturalmente com teores em água diferentes. A própria posição no recipiente seria suficiente para fazer alterar o teor em água superficial.

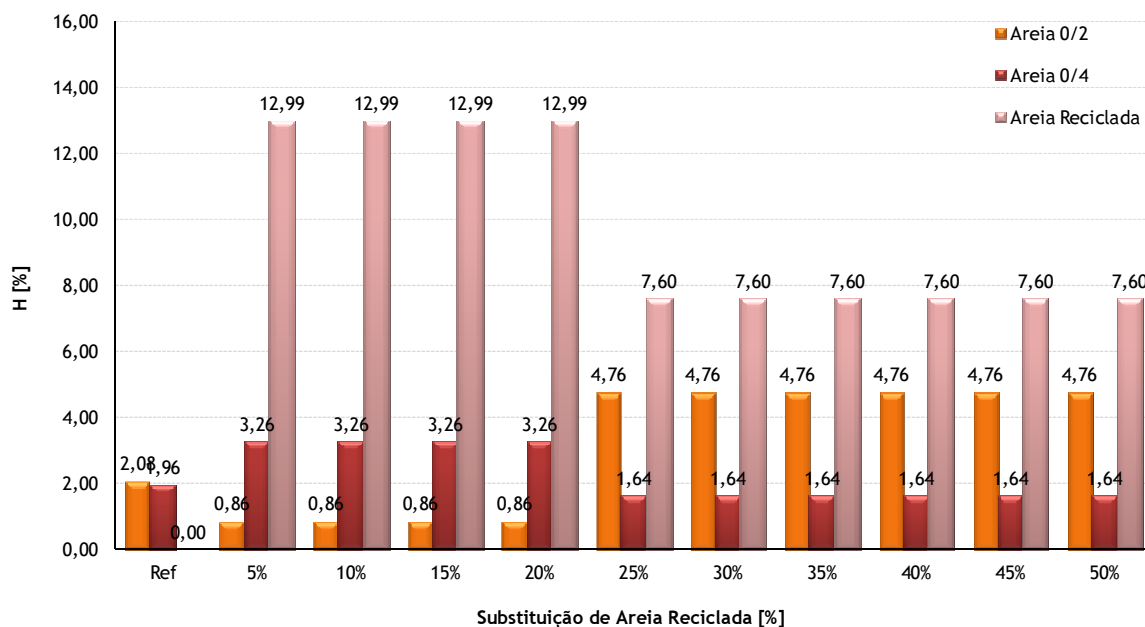


Figura 6.12 - Teor em água superficial dos agregados antes da amassadura

Como descrito no Sub-Capítulo 5.5.7, todos os provetes foram pesados para a avaliação da massa volúmica. A massa volúmica foi determinada dividindo o valor da massa pelo valor do volume dado pelas dimensões do provete ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$). Este procedimento não se mostrou o mais adequado, uma vez que as dimensões dos provetes nem sempre mantiveram a regularidade desejada. Correctamente deveria ter-se medido o volume por pesagens hidrostáticas, mas a baixa precisão da balança disponível inviabilizou este procedimento. Assim os valores obtidos devem ser observados à luz dos procedimentos adoptados.

No Quadro 6.26, para além de apresentadas as massas volúmicas médias, também se incluem as diferenças das massas volúmicas aos 28 dias de idade relativamente à argamassa de referência. A Figura 6.13 apresenta a evolução das massas volúmicas das argamassas com o aumento da percentagem de substituição dos agregados finos naturais por agregados finos reciclados.

Apesar das incertezas associadas aos resultados, é possível observar no Quadro 6.26 e na Figura 6.13 um ligeiro decréscimo da massa volúmica das argamassas no estado endurecido com a incorporação dos agregados finos reciclados em substituição da areia natural. Este facto era previsível, visto que os agregados finos reciclados apresentam um valor de massa volúmica inferior comparativamente com os agregados finos naturais, devido à maior porosidade e menor densidade da pasta cimentícia.

Quadro 6.26 - Massas volúmicas das argamassas (misturas binárias) - Série 1

Designação da argamassa	Substituição de Areia Reciclada [%]	Massa volúmica aparente [Kg/m ³]		$\Delta_{1A_1R,28 \text{ dias}}$ [%]
		Valor médio [Kg/m ³]	Desvio padrão [Kg/m ³]	
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4	Ref	2523,0	52,5	---
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.6	5%	2597,8	44,2	2,96
3A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	10%	2566,8	42,0	1,74
4A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	15%	2216,8	10,6	-12,14
5A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	20%	2253,6	11,7	-10,68
6A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	25%	2518,5	20,4	-0,18
7A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	30%	2556,3	23,0	1,32
8A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	35%	2217,1	5,8	-12,12
9A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	40%	2461,1	44,8	-2,45
10A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	45%	2522,1	29,9	-0,04
11A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	50%	2474,9	12,7	-1,91

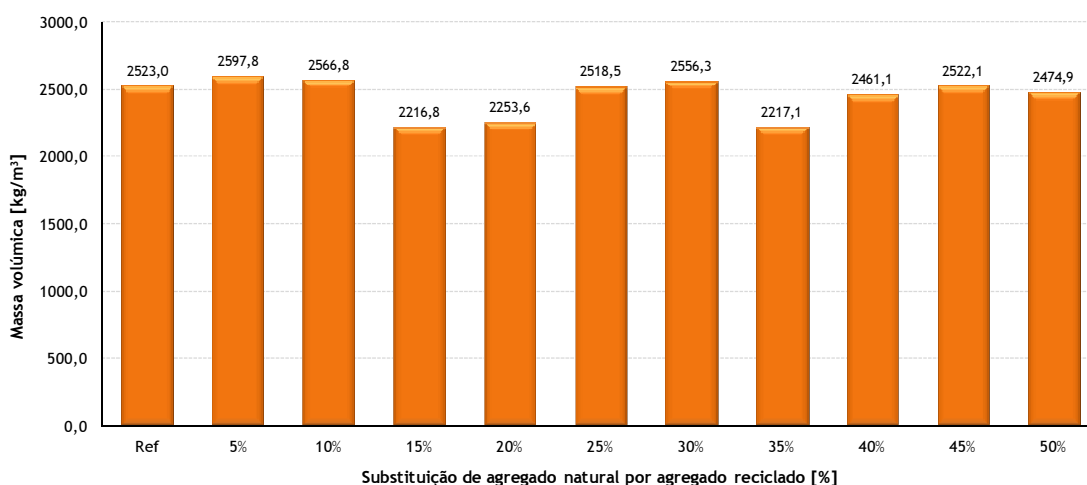


Figura 6.13 - Massas volúmicas das argamassas (Misturas binárias) - Série 1

Neste contexto, estudos realizados por Rangel [76] utilizando agregados reciclados da mesma natureza mostraram que as massas volúmicas no betão no estado endurecido sofrem uma pequena perda de peso com o aumento da incorporação dos agregados grossos reciclados. Esta perda pode ser explicada pelos menores valores de massa volúmica que os agregados grossos reciclados apresentaram, quando comparados com os valores dos agregados naturais.

6.4.3 - Argamassas com associações ternárias

Importa relembrar a referência já efectuada no Capítulo 5 relativamente à opção de se utilizar directamente os agregados finos reciclados sem exclusão da parcela de materiais finos neles presente. A constatação de que este apresentava elevado teor de hidróxido de cálcio levou a que se formulasse a hipótese de se efectuar uma segunda série de argamassas que incorporasse na mistura de matérias finas uma pozolana artificial de forma a conter e/ou beneficiar da presença deste hidróxido de cálcio. Nesse pressuposto, efectuou-se uma reformulação da mistura binária de referência da primeira série, reduzindo a percentagem de fíler calcário de 60% para 50% e incorporando 10% de cinzas volantes. Obteve-se assim uma mistura ternária de referência e uma segunda série de argamassas (Série 2).

A série 2 de ensaios da campanha experimental incluiu um total de 6 argamassas com a mesma associação ternária de materiais finos, incorporando o cimento Portland CEM I 42,5R (40%), as cinzas volantes (10%) e o fíler calcário (50%). Também nesta Série, a primeira argamassa apenas incluiu agregados finos naturais e serviu de referência para comparação com as restantes argamassas da mesma Série que incorporam percentagens sucessivamente crescentes de agregados finos reciclados em substituição dos agregados finos naturais, em incrementos de 10%, até um limite de 50%. Os procedimentos de tratamento de dados foram semelhantes àqueles adoptados nas misturas binárias, dispensando a sua explicação detalhada.

O Quadro 6.27 resume os resultados obtidos em todas as argamassas produzidas na Série 2 (misturas ternárias), incluindo a argamassa de referência. Em anexo (Anexo E) são apresentadas as folhas de cálculo (Excel) utilizadas para o cálculo das composições das argamassas. Assim, o Anexo E inclui os estudos de composição das misturas (Anexo E.2), os estudos reológicos (Anexo F.2) e os ensaios à compressão das argamassas (Anexo G.2). Uma descrição mais detalhada de cada um destes anexos é a seguir apresentada.

No anexo E.2 são apresentados os estudos de composição das 6 argamassas que cumpriram os critérios reológicos na Série 2. Esses estudos incluem, para além dos parâmetros de cálculo da composição, outros parâmetros relevantes que serão utilizados na análise e discussão dos resultados. Considerando que os parâmetros relevantes para o estudo da composição do BAC são

aqueles obtidos nas argamassas que cumprem os critérios reológicos estabelecidos, considerou-se desnecessária a apresentação em anexo, da composição das restantes argamassas produzidas.

Os estudos reológicos efectuados em cada uma das combinações estudadas da Série 2, são apresentados no Anexo F.2. Estes estudos reológicos incluem os resultados dos ensaios das argamassas no estado fresco e o tratamento de dados que conduziu à obtenção dos parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ adequados para cada combinação estudada.

O Anexo G.2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios à compressão das 6 argamassas da Série 2 que cumpriram os critérios reológicos. Para cada argamassa é apresentado o valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação de um conjunto de seis provetes ensaiados à compressão, sujeitos a cura normalizada. Além dos resultados obtidos nos ensaios à compressão, este anexo caracteriza a massa volúmica das argamassas.

As Figuras 6.14 e 6.15 ilustram, respectivamente, as dosagens de água e de superplastificante de cada uma das argamassas produzidas na Série 2. Mais uma vez, as argamassas avaliadas são aquelas que cumpriram os critérios reológicos.

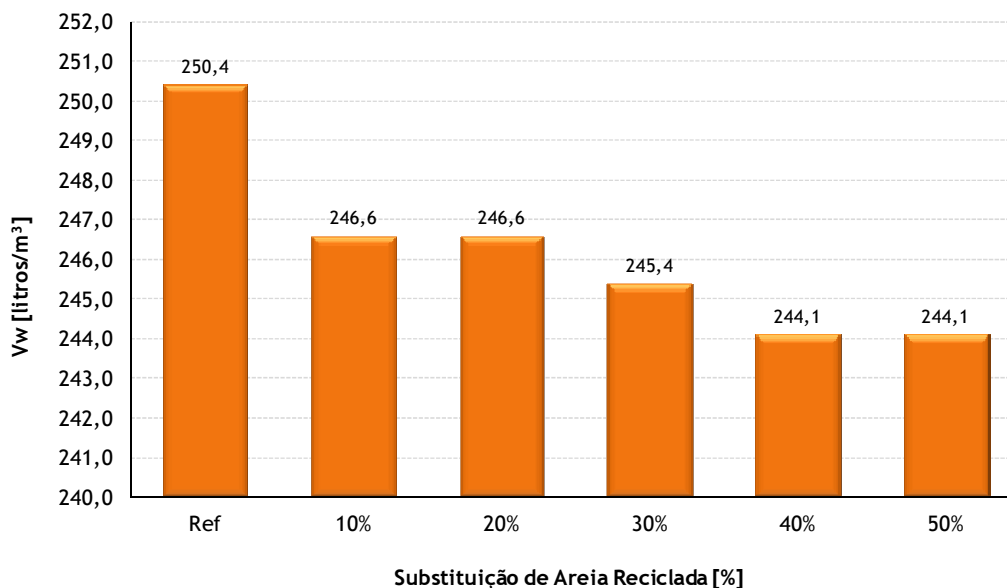


Figura 6.14 - Dosagem de água por metro cúbico

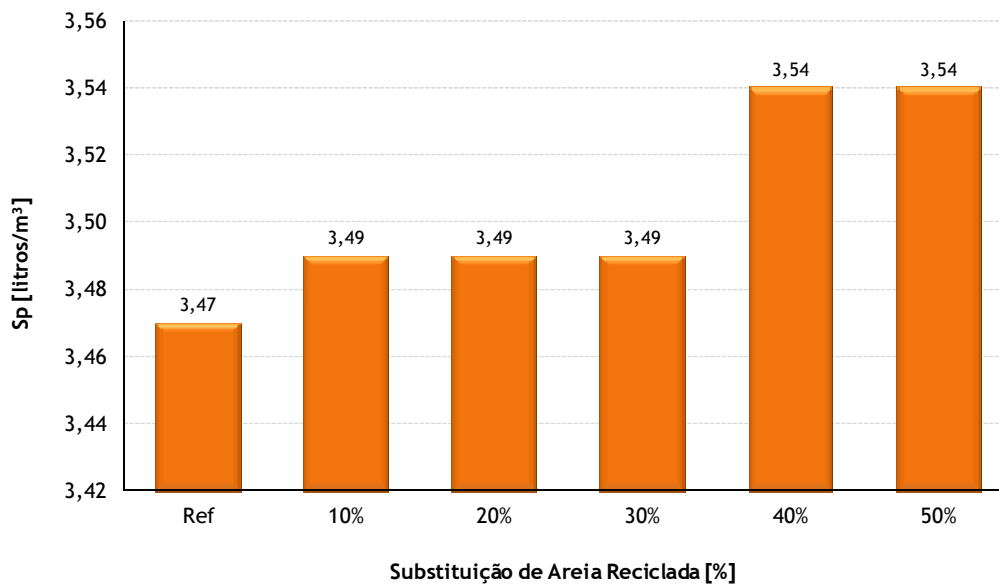


Figura 6.15 - Dosagem de superplastificante por metro cúbico

Da análise da Figura 6.14, observa-se claramente uma tendência para a diminuição da dosagem de água de amassadura à medida que aumenta a percentagem de substituição de areia natural por areia reciclada. A dosagem de água de amassadura situou-se no intervalo de 244,1 a 250,4 litros/m³, ligeiramente acima do intervalo registado para as misturas binárias (236,5 a 242,9 litros/m³). Note-se que todas as argamassas foram produzidas no mesmo dia, com o mesmo teor em água superficial e com propriedades reológicas idênticas.

Na Figura 6.15 é possível identificar um ligeiro aumento no consumo de superplastificante à medida que a percentagem de substituição de areia natural por areia reciclada aumenta. No entanto, destaca-se claramente que o menor consumo de superplastificante ocorreu na mistura de referência sem qualquer percentagem de substituição de areia reciclada. Os consumos de superplastificante registaram, em termos médios, valores acima daqueles obtidos nas misturas binárias, mesmo comparando apenas as misturas de referência, e isto pode indiciar que uma parte desse superplastificante foi adsorvido na superfície das partículas de cinzas volantes.

A Figura 6.16 apresenta a evolução da razão volumétrica água/finos (Vw/Vp) em função da percentagem de substituição dos agregados naturais por agregados reciclados. A Figura 6.17 apresenta o consumo de superplastificante expresso em percentagem da massa de materiais finos (Sp/p%).

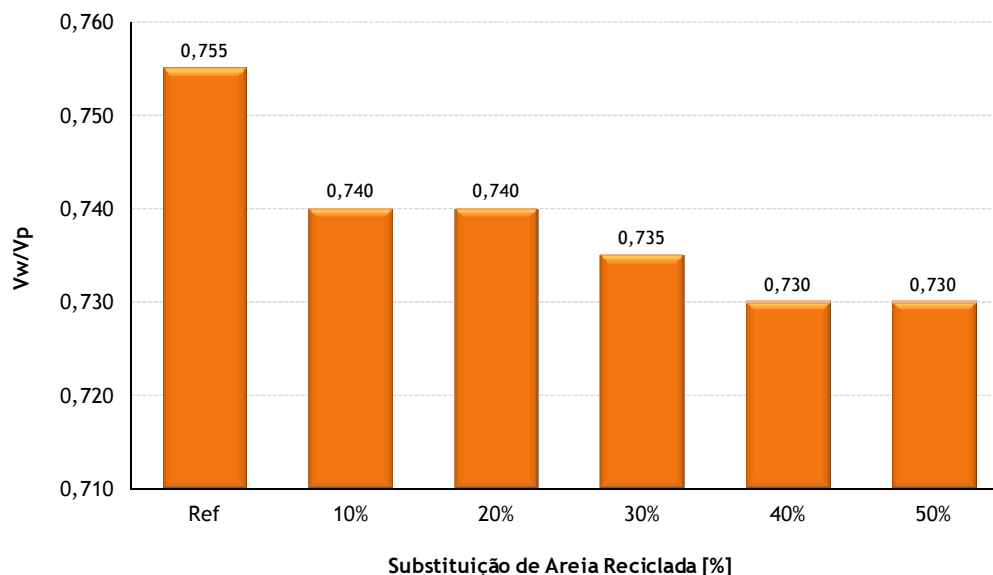


Figura 6.16 - Volume de água em percentagem do volume de finos

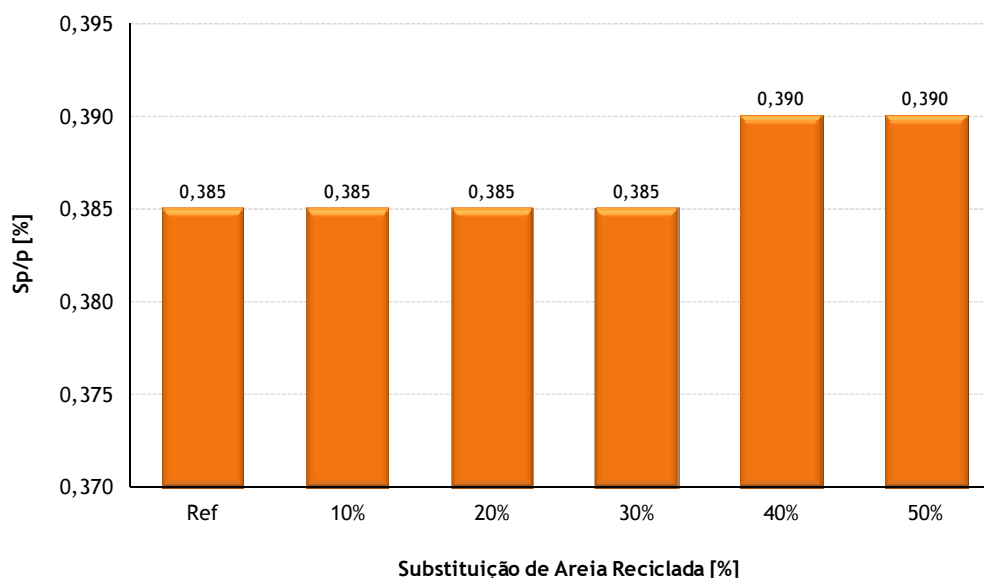


Figura 6.17 - Volume de superplastificante em percentagem da massa de materiais finos

Da análise da Figura 6.17 verifica-se que a razão Sp/p% mantém-se constante nas misturas com 10 %, 20 % e 30 % de substituição de Areia Reciclada, apresentando o mesmo valor que a argamassa de referência. As misturas com 40 % e 50 % de substituição de Areia Reciclada apresentam um ligeiro aumento na razão Sp/p%.

No Quadro 6.28 encontra-se o resumo dos valores obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias de todas as argamassas produzidas na Série 2 (misturas ternárias). A Figura 6.18 ilustra graficamente a evolução do valor da resistência à compressão das argamassas com o aumento da percentagem de Areia Reciclada. No Anexo G.2 é possível consultar os valores individuais de cada provete ensaiado e os cálculos intermédios efectuados.

Quadro 6.28 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (misturas ternárias) - Série 2

Designação da argamassa	Substituição de Areia Reciclada [%]	Resistência à compressão [MPa]		$\Delta_{1A_1R, 28 \text{ dias}}$ [%]
		Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.7	Ref	54,8	3,0	---
2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	10%	53,0	1,4	-3,32
3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	20%	51,2	1,6	-6,64
4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	30%	50,3	3,6	-8,24
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3	40%	48,2	1,9	-12,09
6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	50%	47,6	1,2	-13,19

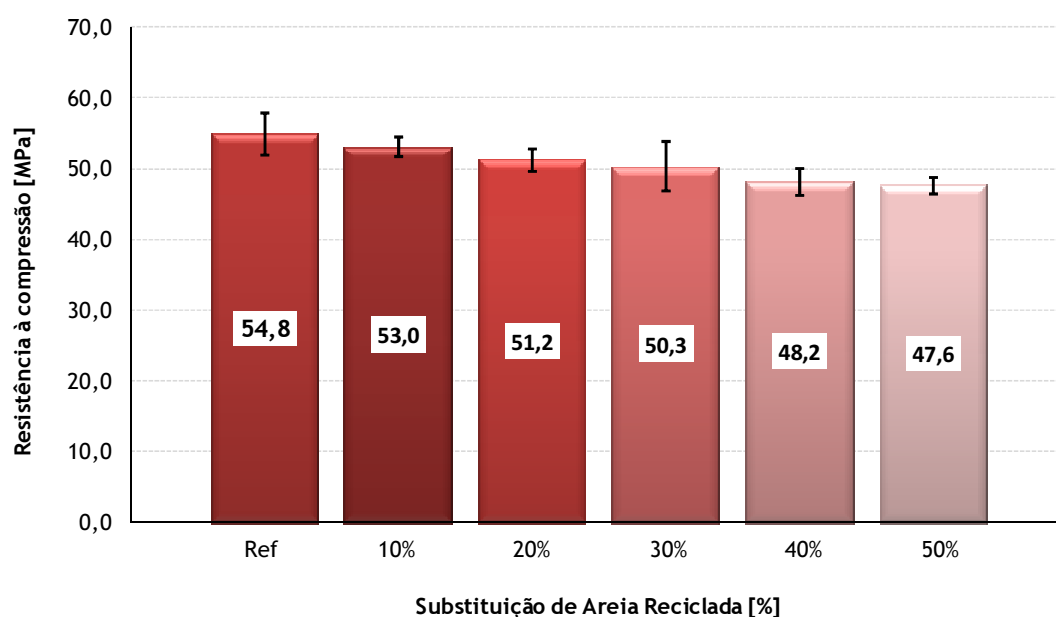


Figura 6.18 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias (misturas ternárias) - Série 2

Da análise do Quadro 6.28 e da Figura 6.18, observa-se que a resistência à compressão das argamassas (misturas ternárias) diminui a partir de 40 e 50% com a incorporação dos agregados finos reciclados em substituição da Areia 0/4. A perda de resistência da argamassa com substituição total da Areia 0/4 por Areia Reciclada (50%) atinge um valor significativo, da ordem de 7,2 MPa (26% de redução). Esta redução deve-se sobretudo à menor resistência ao esmagamento das areias recicladas comparativamente com as areias naturais. No entanto, esta diminuição de resistência à luz do desvio padrão revela-se insignificante (Figura 6.18).

O Quadro 6.29 resume os valores das massas volúmicas médias nas misturas ternárias. Neste quadro também se incluem as diferenças das massas volúmicas aos 28 dias de idade relativamente à argamassa de referência.

Quadro 6.29 - Massas volúmicas das argamassas (Misturas ternárias) - Série 2

Designação da argamassa	Substituição de Areia Reciclada [%]	Massa volúmica aparente [Kg/m ³]		$\Delta_{1A_1R, 28 \text{ dias}}$ [%]
		Valor médio [Kg/m ³]	Desvio padrão	
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.7	Ref	2532,6	45,4	---
2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	10%	2471,6	15,0	-2,41
3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	20%	2450,4	11,4	-3,25
4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	30%	2420,6	13,1	-4,42
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3	40%	2151,2	22,5	-15,06
6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	50%	2382,4	23,0	-5,93

Figura 6.19 apresenta a evolução das massas volúmicas das argamassas com o aumento da percentagem de substituição dos agregados finos naturais por agregados finos reciclados. No Anexo G.2 é possível consultar os valores individuais das argamassas que cumpriram os critérios reológicos.

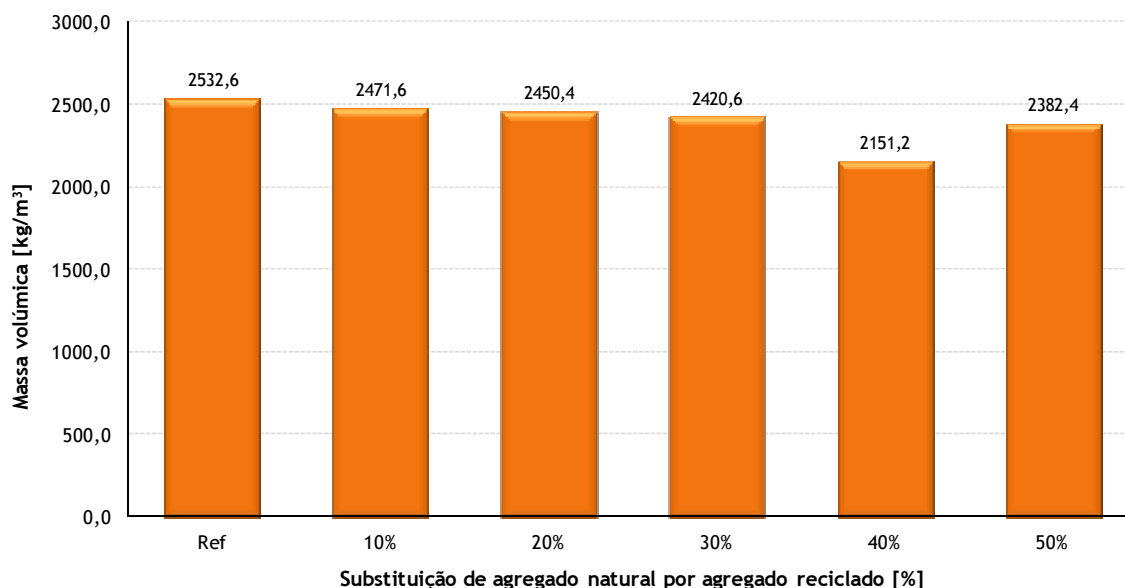


Figura 6.19 - Massas volúmicas das argamassas (Misturas ternárias) - Série 2

Da análise do Quadro 6.29 e da Figura 6.19 constata-se que as massas volúmicas das argamassas diminuem ligeiramente com a incorporação dos agregados finos reciclados em substituição da Areia 0/4. Este facto era previsível, visto que os agregados finos reciclados apresentam um valor de massa volúmica inferior comparativamente com os agregados finos naturais.

6.4.4 - Análise comparativa entre as misturas binárias e ternárias

A Figura 6.20 faz uma comparação entre as misturas binárias (Série 1) e as misturas ternárias (Série 2) relativamente à variação da dosagem de água de amassadura com o aumento da percentagem de incorporação de agregado reciclado. A Figura 6.21 faz uma comparação similar, relativamente à dosagem de superplastificante.

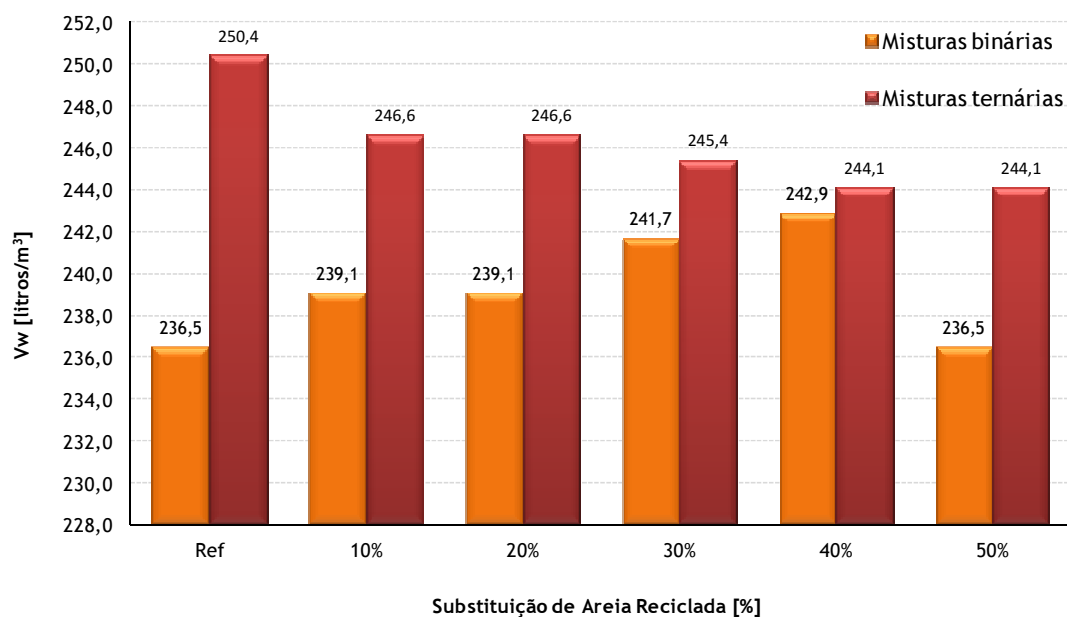


Figura 6.20 - Comparação da dosagem de água por metro cúbico

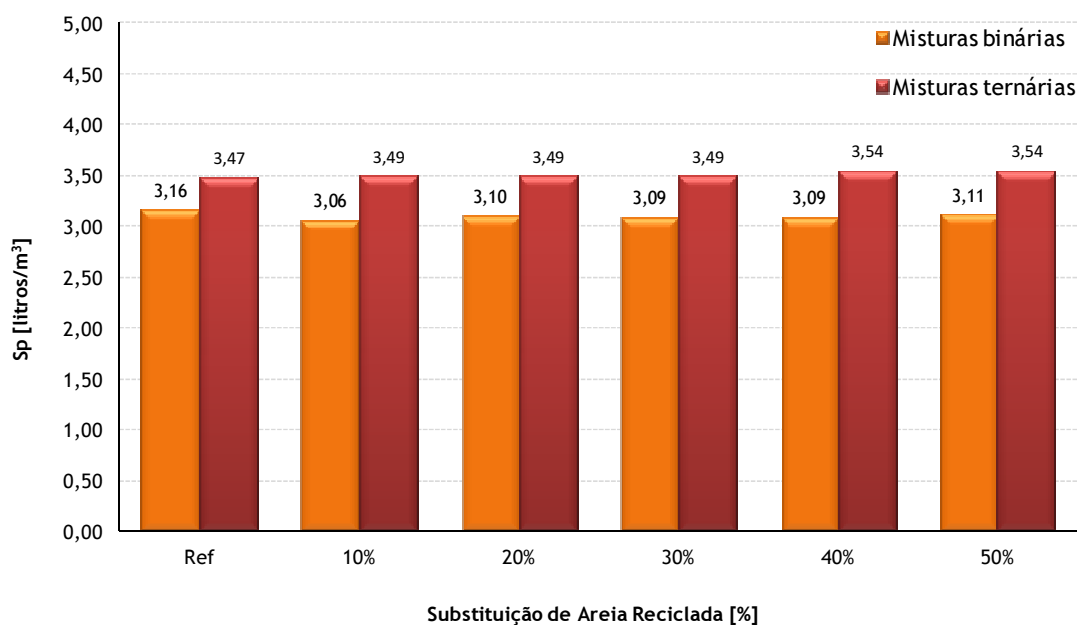


Figura 6.21 - Comparação da dosagem de superplastificante por metro cúbico

Na Figura 6.20 é possível observar-se que nas misturas binárias se registou um comportamento inverso ao das misturas ternárias relativamente à dosagem de água de amassadura. Enquanto nas misturas binárias a dosagem de água de amassadura aumenta com a percentagem de incorporação de agregados reciclados, nas misturas ternárias ocorre o inverso, pelo menos até à percentagem de 40% de substituição.

A partir da Figura 6.21 é possível constatar que a dosagem de superplastificante foi sempre superior nas misturas ternárias comparativamente às misturas binárias. Contudo, em termos globais as dosagens em ambos os casos são relativamente próximas.

A Figura 6.22 faz uma comparação entre as misturas binárias (Série 1) e as misturas ternárias (Série 2) relativamente à variação da resistência à compressão das argamassas aos 28 dias com o aumento da percentagem de incorporação de agregado reciclado

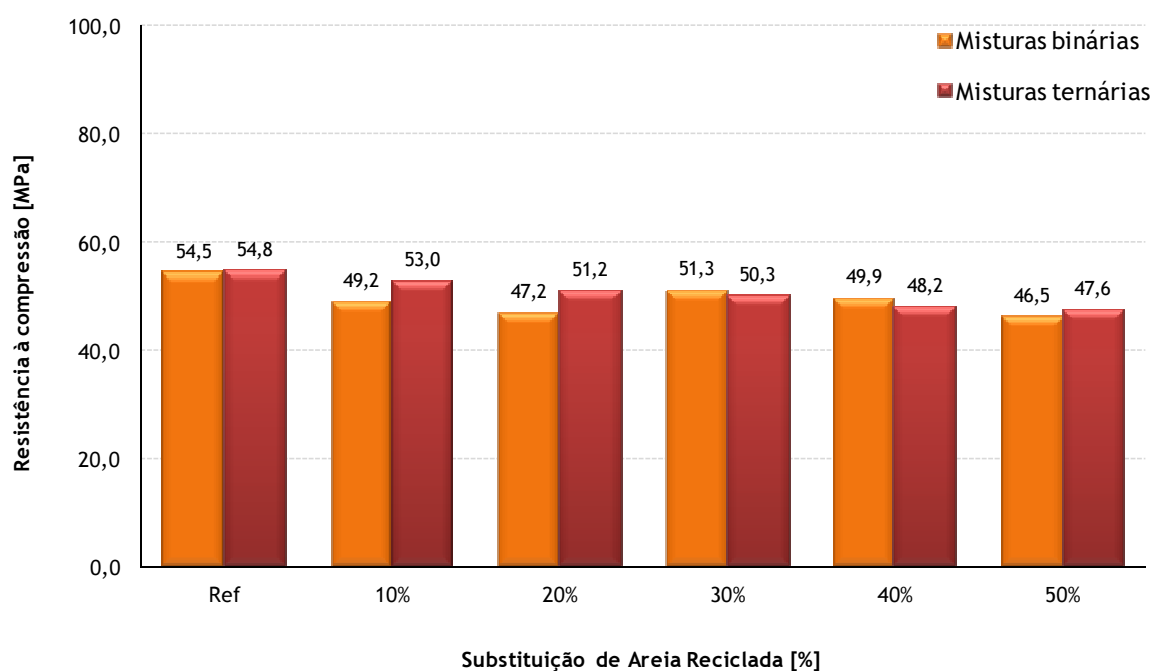


Figura 6.22 - Comparação da resistência à compressão entre misturas binária e ternária

A Figura 6.22 mostra um decréscimo da resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade com o aumento da percentagem de incorporação de agregados reciclados. Este decréscimo ocorre independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias. Os resultados evidenciam ainda um pequeno benefício em termos de resistência à compressão nas misturas ternárias, comparativamente com as misturas binárias, pelo menos até percentagens de incorporação de agregados reciclados de 20%.

Os resultados obtidos na presente investigação estão de acordo com os estudos realizados por Vasconcelos e Cabral [93], que demonstram que o BAC com agregados reciclados apresenta um comportamento similar nos ensaios no estado fresco, porém no estado endurecido observa-se uma redução na resistência à compressão. Isto deve-se possivelmente à menor resistência mecânica do próprio agregado reciclado, além da sua alta porosidade e alta absorção de água. Também o estudo de Rangel [76] corrobora estes resultados, ao mencionar que o BAC com

agregados grossos reciclados (BRC40) na resistência à compressão sofre um pequeno decréscimo da resistência.

O Figura 6.23 faz uma comparação entre as misturas binárias (Série 1) e as misturas ternárias (Série 2) relativamente à variação da massa volúmica das argamassas no estado endurecido com o aumento da percentagem de incorporação de agregado reciclado.

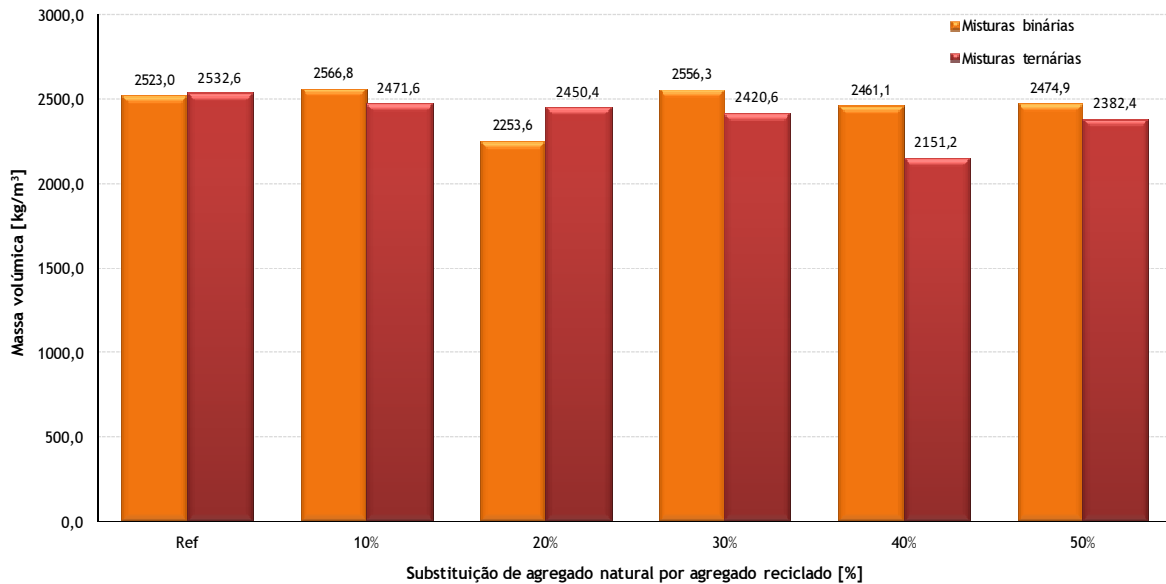


Figura 6.23 - Comparação da massa volúmica obtida nas misturas binárias e ternárias

Ainda que não seja muito evidente, é possível observar-se na Figura 6.23, em termos médios, uma ligeira redução do valor da massa volúmica das argamassas com associações binárias e ternárias de materiais finos à medida que a percentagem de incorporação de Areia Reciclada aumenta. Verifica-se também que as argamassas com associações ternárias apresentaram quase sempre valores inferiores da massa volúmica em comparação com as argamassas com associações binárias e com a mesma percentagem de substituição da areia natural por areia reciclada. Este resultado era previsível, porquanto a cinza volante apresenta menor massa volúmica que o fíler calcário.

6.5 - Conclusões

As conclusões que a seguir se apresentam referem-se ao estudo das argamassas. Nesta medida, na interpretação das conclusões deverá observar-se a metodologia adoptada, o tipo e dimensão dos equipamentos, os procedimentos de amassadura, os procedimentos de ensaio e a forma como se analisaram e interpretaram os resultados.

A metodologia seguida teve como principal objectivo proporcionar uma análise das alterações nas propriedades das argamassas adequadas à produção de betões auto-compactáveis em consequência da incorporação de agregados finos reciclados em quantidades sucessivamente crescentes. As principais propriedades avaliadas foram a resistência à compressão, a massa volúmica e as alterações nas dosagens de água e superplastificante para obtenção das mesmas propriedades reológicas, avaliadas indirectamente pelos ensaios de espalhamento e de fluidez. A análise foi efectuada em duas séries distintas, uma com associação binária de materiais finos (cimento Portland CEM I 42,5R e fíler calcário) e outra com associação ternária de materiais finos (cimento Portland CEM I 42,5R, fíler calcário e cinzas volantes). O objectivo da segunda série (misturas ternárias) era tirar partido de uma eventual actividade pozolânica do hidróxido de cálcio presente em grande quantidade na Areia Reciclada. A partir da análise e discussão dos resultados apresentados no presente capítulo podem ser salientadas as seguintes conclusões:

- i) A resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade decresce com o aumento da percentagem de incorporação de agregados finos reciclados, independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias;
- ii) Os resultados evidenciam um pequeno benefício em termos de resistência à compressão nas misturas ternárias, comparativamente com as misturas binárias, pelo menos até percentagens de incorporação de agregados reciclados de 20%;
- iii) A massa volúmica das argamassas no estado endurecido diminui ligeiramente com o aumento da percentagem de incorporação de agregados finos reciclados, independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias. Este facto era previsível, visto que os agregados finos reciclados apresentam um valor da massa volúmica inferior comparativamente com os agregados finos naturais, devido à maior porosidade e menor densidade da pasta cimentícia;
- iv) A dosagem de água de amassadura nas misturas binárias, necessária à obtenção das propriedades reológicas adequadas, situou-se no intervalo de 236,5 a 242,9 litros/m³, ligeiramente abaixo dos valores obtidos em misturas ternárias que se situaram no intervalo de 244,1 a 250,4 litros/m³;

v) As misturas binárias registaram um comportamento inverso ao das misturas ternárias relativamente à dosagem de água de amassadura. Enquanto nas misturas binárias a dosagem de água de amassadura aumenta com a percentagem de incorporação de agregados reciclados, nas misturas ternárias ocorre o inverso, pelo menos até à percentagem de 40% de incorporação de agregados reciclados;

vi) As dosagens de superplastificante, necessárias à obtenção das propriedades reológicas adequadas, ainda que relativamente próximas entre si, foram sempre superior nas misturas ternárias comparativamente às misturas binárias, mesmo comparando apenas as misturas de referência, e isto pode indicar que uma parte desse superplastificante foi adsorvido na superfície das partículas de cinzas volantes;

vii) Tendo em conta a investigação feita e o tipo de agregado reciclado utilizado, pode-se inferir que as argamassas com incorporação de agregados finos reciclados constituem um material viável e com uma boa potencialidade de utilização na indústria da construção, desde que sejam ponderadas os ajustes necessários ao seu desempenho.

Capítulo 7 - Conclusões Gerais e Recomendações para Trabalhos Futuros

7.1 - Introdução

No presente Capítulo são apresentadas as conclusões gerais da investigação realizada. Apesar de no final de alguns capítulos terem sido apresentadas conclusões, estas reflectem apenas os principais assuntos tratados nesses mesmos capítulos. Desta forma, serão sintetizadas todas as conclusões obtidas a longo do estudo. Estas conclusões levantaram algumas questões, apresentadas no final, que poderão ser objecto de estudo em futuras investigações.

7.2 - Conclusões gerais

Após a revisão bibliográfica verificou-se que para estudo da composição do BAC têm sido propostos vários métodos e sofisticados modelos de previsão do comportamento do betão no estado fresco. Os métodos expostos neste estudo foram seleccionados tendo em vista os objectivos da investigação, ou seja, analisar separadamente a fase argamassa e a fase betão. Acredita-se que os métodos descritos reproduzem satisfatoriamente o estado actual do conhecimento nesta área.

A metodologia utilizada teve como principal objectivo proporcionar uma análise das alterações nas propriedades das argamassas adequadas à produção de BAC em consequência da incorporação de agregados finos reciclados em quantidades sucessivamente crescentes. As principais propriedades avaliadas foram a resistência à compressão, a massa volúmica e as alterações nas dosagens de água e superplastificante para obtenção das mesmas propriedades reológicas, avaliadas directamente pelos ensaios de espalhamento e de fluidez. A análise foi efectuada em duas séries distintas, uma com associação binária de materiais finos (cimento Portland CEM I 42,5R e fíler calcário) e outra com associação ternária de materiais finos (cimento Portland CEM I 42,5R, fíler calcário e cinzas volantes). O objectivo da segunda série foi tirar partido de uma eventual actividade pozolânica do hidróxido de cálcio presente em grande quantidade na Areia Reciclada. Dos resultados obtidos, destaca-se as seguintes conclusões:

a) A resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade decresce com o aumento da percentagem de incorporação de agregados finos reciclados, independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias;

b) A massa volúmica das argamassas no estado endurecido diminui ligeiramente com o aumento da percentagem de incorporação de agregados finos reciclados, independentemente de se tratar de argamassas com associações binárias ou ternárias. Este facto era previsível, visto que os agregados finos reciclados apresentam um valor da massa volúmica inferior comparativamente com os agregados finos naturais, devido à maior porosidade e menor densidade da pasta cimentícia;

c) Nas misturas binárias a dosagem de água de amassadura aumenta com a percentagem de incorporação de agregados reciclados, enquanto nas misturas ternárias ocorre o inverso, pelo menos até à percentagem de 40% de incorporação de agregados reciclados;

d) As dosagens de superplastificante, necessárias à obtenção das propriedades reológicas adequadas, ainda que relativamente próximas entre si, foram sempre superior nas misturas ternárias comparativamente às misturas binárias, mesmo comparando apenas as misturas de referência, e isto pode indiciar que uma parte desse superplastificante foi adsorvido na superfície das partículas de cinzas volantes;

e) Pode-se concluir que as argamassas com incorporação de agregados finos reciclados constituem um material viável e com uma boa potencialidade de utilização na indústria da construção, desde que sejam ponderados os ajustes necessários ao seu desempenho.

Para finalizar, importa salientar que as conclusões apresentadas neste capítulo resultam directamente da discussão relativa ao estudo de argamassas e devem ser interpretadas à luz da metodologia adoptada neste trabalho. Deverão ser considerados também os tipos e dimensões dos equipamentos, os procedimentos de amassadura das argamassas e os procedimentos de ensaio.

7.3 - Recomendações para trabalhos futuros

Apesar do elevado estado de conhecimento sobre o BAC, é necessário prosseguir as investigações nesta área de forma a explorar todo o potencial do BAC, tornando-o cada vez mais eficiente e reduzindo os custos. O presente estudo, permitiu aprofundar o conhecimento das propriedades dos agregados finos reciclados e sua incorporação no BAC. Após a conclusão desta investigação, apresentam-se algumas recomendações para futuros estudos. Neste sentido, no futuro será pertinente investigar, os seguintes temas:

a) Analisar a influência da incorporação de agregados reciclados nas propriedades do BAC no estado endurecido, nomeadamente: a resistência às tensões (resistência à compressão, resistência à tracção, resistência à flexão), a fadiga, a deformação elástica (módulo de elasticidade), a deformação sob cargas (fluência) e a retracção;

- b) Analisar a influência da incorporação de agregados reciclados na durabilidade do BAC;
- c) Analisar a influência da incorporação de agregados reciclados nas propriedades do BAC quando submetido a condições extremas, tais como os ciclos de gelo-degelo e acção do fogo;
- d) Analisar a influência da incorporação de agregados reciclados de elevada absorção de água na retenção da trabalhabilidade;
- e) Analisar e obter correlações para os ensaios não destrutivos em BAC com incorporação de agregados reciclados finos e grossos;
- f) Propor uma metodologia de catalogação das propriedades dos agregados reciclados (RCD) por “classes” em função da origem, idade, modo de preparação, granulometria, etc.

Referências Bibliográficas

- [1] Agencia Portuguesa do ambiente - Acedido a 18/2/2011, em: <http://www.apambiente.pt/politicambient/Residuos/fluxresiduos/RCD/Paginas/default.aspx>, 2005.
- [2] Almeida, Ivan - Betões de Alta Resistência e Durabilidade, Lisboa, LNEC, 1990.
- [3] Angulo, S. - Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição. «Dissertação de Mestrado apresentada no Politécnico da Universidade de São Paulo», São Paulo, 2000.
- [4] Avery, Tim - «Self-Compacting Concrete Powerful Tool for Complicated Pours», Issue of concrete Monthly, 2004.
- [5] Brito, J. - «Agregados Reciclados e sua Influência nas Propriedades dos Betões», Lição de Síntese, Provas de Agregação em Engenharia Civil, IST, Lisboa, 2005.
- [6] Bury, M.; Christensen, B. - Role of Innovative Chemical Admixtures In Producing Self-Consolidating Concrete, in «Conference Notes of the First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete», Ed. S.P. Shah, J.A. Daczko, J.M. Lingscheit, Hanley-Wood Publication, Evanston, EUA, 2002, p.137-140.
- [7] Cabral, António - Modelagem de Propriedades Mecânicas e de Durabilidade de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados, Considerando-se a Variabilidade da Composição do RCD. «Tese de Doutoramento apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo», São Paulo, 2007, p. 280.
- [8] Camões, A.; Ferreira, R. - Normalização para Betões Especiais, « Engenharia civil um», 2006, p.69-80.
- [9] Camões, Aires - Betões de Elevado Desempenho com Elevado Volume de Cinzas Volantes, «Engenharia Civil Um», N.º 23, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.
- [10] Camões, Aires - Influência do Superplastificante nos Parâmetros Reológicos do Betão Fresco, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, «Engenharia Civil Um», N.º 24, Guimarães, 2005.
- [11] Cavalcanti, D. - Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto Auto-Adensável Visando sua Aplicação em Elementos Estruturais, «Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal de Alagoas», Maceió, 2006.
- [12] Collepardi, M. - «Self-Compacting Concrete: What Is New? Paper on Concrete Technology and Cement Chemistry», Faculty Leonardo da Vinci, Milan, Italy, 2003.
- [13] Domone, P. - Mix Design (Background Document), In «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 49-65.

- [14] Domone, P.; Jin, J. - Properties of Mortar for Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, Sept. 1999, p. 109-120.
- [15] EFNARC - «Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures for Concrete», September 2006.
- [16] Especificação LNEC E226-1968 - Betão: Ensaio de Compressão.
- [17] Especificação LNEC E245-1971 - Inertes para Argamassas e Betões: Análise granulométrica.
- [18] Especificação LNEC E248-1971 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das Massas Volúmicas e da Absorção de Água de Areias.
- [19] Especificação LNEC E255-1971 - Betões: Preparação de Provetes para Ensaios de Compressão e de Flexão.
- [20] Especificação LNEC E372-1993 - Água de Amassadura para Betões: Características e Verificação da Conformidade.
- [21] Especificação LNEC E376-1993 - Fíler Calcário para Betões. Características e Verificação da Conformidade.
- [22] Especificação LNEC E377-1993 - Sílica de Fumo para Betões. Características e Verificação da Conformidade.
- [23] Especificação LNEC E378-1996 - Betões Guia para a Utilização de Ligantes Hidráulicos.
- [24] Especificação LNEC E454-1999 - Betões de Cimento Branco. Recomendações para a Escolha dos Constituintes.
- [25] Especificação LNEC E471-2006 - Guia para a Utilização de Agregados Reciclados Grossos em Betões de Ligantes Hidráulicos.
- [26] Especificação LNEC E64-1960 - Cimento *Portland*: Determinação da massa específica».
- [27] European Project Group - «The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use», May 2005.
- [28] Evangelista, L.; Brito, J. - Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates, in «Cement and Concrete Research», N.º 29, 2007, p. 397-401.
- [29] Ferreira, José - Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Camadas de Sub-Base não Ligadas de Estradas de Baixo Tráfego, «Dissertação de Mestrado apresentada no IST», Lisboa, 2009.
- [30] Gomes, Augusto; Pinto, Ferreira; Nogueira, Rita - «Sebenta de Materiais de Construção II: Betão», Parte II», 2007.
- [31] Gómez-Soberón, J. - Porosity of Recycled Concrete with Substitution of Recycled Concrete Aggregate: an Experimental Study, in «Cement and Concrete Research», vol.32, 2002, p. 1301-1311.
- [32] Gonçalves, P. - Betão com Agregados Reciclados Análise Comentada da Legislação Existente. «Dissertação de Mestrado apresentada no IST», Lisboa 2007.

- [33] Grünewald, S., Walraven, J. - The Effects of Viscosity Agents on the Characteristics of Self-Compacting Concrete., in «Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete with the Fourth International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete», RILEM Publications, Chicago, EUA, 2005.
- [34] Ho, D.; Sheinn, A.; NG, C.; Tam, C. - The Use of Quarry Dust for SCC Applications, in «Cement and Concrete Research», N.º 32, Elsevier Science Ltd, Pergamon, 2002, p. 505-511.
- [35] Hood, R. - Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação, «Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul», Porto Alegre, 2006.
- [36] Karamberi, A.; Moutsatsou, A. - Participation of Coloured Glass Cullet in Cementitious Materials, «Cement and Concrete Composites», N.º 27, 2005, 319-327.
- [37] Khayat, K. - Viscosity-Enhancing Admixtures for Cement-Based Materials - An Overview, in «Cement and Concrete Composites». vol.20, N.º 2-3, 1998, p.171-188.
- [38] Khayat, K., Ghezal, A. - Effect of Viscosity-Modifying Admixture-Superplasticizer Combination on Flow Properties of SCC Equivalent Mortar, in «Proceedings of the Third International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», PRO 33, Ed. O. Wallevik and I. Nielson, RILEM Publications, Reykjavik, Islândia, 2003, p. 369-387.
- [39] Khayat, K.; Tangtermsirikul, S. - Fresh Concrete Properties (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 17-22.
- [40] Khayat, K.; Tangtermsirikul, S. - Fresh Concrete Properties (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 17-22.
- [41] Kordts, Stefan; Breit, Wolfgang - «Assessment of the Fresh Concrete Properties of Self-Compacting Concrete», Düsseldorf, 1990.
- [42] LACHEMI, M. *et al.* - Self-Consolidating Incorporating new Viscosity Modifying Admixtures, in «Cement and Concrete Research», vol. 34, N.6, 2004, p.917-926
- [43] LNEC - Valorização de escórias de aciaria, «Projecto de Investigação e Desenvolvimento Aplicação de Resíduos em Infra-Estruturas de Transporte e Obras Geotécnicas», Lisboa, sd.
- [44] Marangon, Ederli - Desenvolvimento e Caracterização de Concretos Auto-Adensáveis Reforçados com Fibras de Aço, «Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal do rio de Janeiro», Rio de Janeiro, 2006.
- [45] Nawa, T.; Izumi, T.; Edamatsu, Y. - State-of-the-art Report on Materials and Design of Self-Compacting Concrete, In «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 160-190.

- [46] Nepomuceno, Miguel - Metodologia para a Composição de Betões Auto-Compactáveis, «Dissertação de Douramento apresentada na UBI», Covilhã, 2005, p.3-550.
- [47] Nepomuceno, Miguel; Oliveira, Luiz; Lopes, Sérgio - Parâmetros para a Composição de Betões Auto-Compactáveis, *in* «2º Congresso Ibérico sobre Betão Auto-Compactável», Guimarães, Julho 2010.
- [48] Norma Britânica para Testing concrete BS 1881-203 - «Recommendations for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete», Part 203, 1986.
- [49] Norma Portuguesa - NP 206-9 - Regras Adicionais para Betão Auto-Compactável (BAC), IPQ, Caparica, 2010.
- [50] Norma Portuguesa - NP 581 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das Massas Volúmicas e da Absorção de Água de Britas e Godos», IGPAI, Lisboa, 1969.
- [51] Norma Portuguesa - NP EN 12350-10 - Betão Auto-Compactável: Ensaio de Escoamento na Caixa L, IPQ, Caparica, 2010.
- [52] Norma Portuguesa - NP EN 12350-12 - Betão Auto-Compactável: Ensaio de Espalhamento no Anel J, IPQ, Caparica, 2010.
- [53] Norma Portuguesa - NP EN 12350-8 - Betão Auto-Compactável: Ensaio de Espalhamento, IPQ, Caparica, 2010.
- [54] Norma Portuguesa - NP EN 12350-9 - Betão Auto-Compactável: Ensaio de Escoamento no Funil V, IPQ, Caparica, 2010.
- [55] Norma Portuguesa - NP EN 206-1: 2007 - «Norma Portuguesa para Betão. Parte 1: Especificação, Desempenho, Produção», IPQ, Lisboa, 2007.
- [56] Norma Portuguesa - NP ENV 206: 1993 - Betão: Comportamento, Produção, Colocação e Critérios de Conformidade, IPQ, Lisboa, 1993.
- [57] Norma Portuguesa NP 954 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das Massas Volúmicas e da Absorção de Água de Areias. IGPAI, Lisboa, 1973.
- [58] Norma Portuguesa NP 955 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação da Baridade». IGPAI, Lisboa, 1973.
- [59] Norma Portuguesa NP EN 934-2 - Adjuvantes para Betão, Argamassas e Caldas de Injecção, Parte II: Adjuvantes para Betão, Definições e Requisitos, IPQ, Caparica, 2000.
- [60] NP ENV 206. «Norma Portuguesa para Betão. Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade», edição de Outubro de 1993.
- [61] Nunes *et al.* - Aplicações da BAC na Indústria de Construção, «Congresso Nacional de Construção de 2004», FEUP, Porto, 13-15 de Dezembro de 2004, p. 381-386.
- [62] Nunes, Sandra - Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades, «Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentada na FEUP», Porto, 2001.
- [63] Okamura, H.; Ouchi, M. - Self-Compacting Concrete. Development, Present Use and Future, *in* «Proceedings of the First International RILEM Symposium, Stockholm», Edited by A. Skarendahl and O. Petersson, Stockholm, Sweden, Sept 1999, p. 3-14.

- [64] Okamura, H.; Ozawa, K.; Ouchi, M. - Self-Compacting Concrete, in «Structural Concrete: Journal of the fib», vol.1, N.º 1, Thomas Telford Ltd, March 2000, p. 3-17.
- [65] Okamura, Hajime; Ouchi, Masahiro - Self-Compacting Concrete. «Journal of Advanced Concrete Technology», vol.1, N.º 1, 2003, p. 5-15.
- [66] Ortiz, S.A. - O Vidro e as Embalagens de Vidro, CETEA/ITAL, Campinas, Brasil, 1996.
- [67] Ouchi, M. - State-of-the-art Report: Self-Compactability Evaluation for Mix-Proportioning and Inspection, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 111-120.
- [68] Ouchi, M.; Hibino, M.; Ozawa, K.; Okamura, H. - A Rational Mix-Design Method for Mortar in Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of the Sixth East-Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction», Taipei, Taiwan, 1998, p. 1307-1312.
- [69] Pereira de Oliveira L. A - Reologia de Argamassas e Betões Auto Compactáveis: Modelos de Representação, in «5ª Conferencia Engenharia'2009 Inovação and Desenvolvimento, Universidade da Beira Interior», Artigo 242. Novembro, Covilhã, 2009, p. 5.
- [70] Pereira de Oliveira L. A, Castro Gomes J. P., Fazenda L. M. O. - Análise da Influência de Resíduos Potencialmente Reactivos nas Propriedades de Argamassas de Construção, in «3º Congresso Português de Argamassas de Construção», Lisboa, Artigo 55, 2010, p. 12.
- [71] Pereira de Oliveira, L.A., Santos P. M. S - A Valorização de Resíduos de Vidro como Material Pozolânico, «Construção Magazine», N.º 28, Novembro/Dezembro 2008, Portugal, p. 31-36.
- [72] Pereira, Eduardo *et al.* - Betão Auto-Compactável Reforçado com Fibras de Aço, Método de Conceção e Propriedades Mecânicas, «Técnica», Maio 2004, p.25-31.
- [73] Pereira, L.; Jalali, S.; Aguiar, .B. - «Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição», Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, sd.
- [74] Platel, D. - Impact de L'architecture Macromoléculaire des Polymères sur les Propriétés Physico-Chimiques des Coulis de Ciment, «Tese de Doutoramento apresentada na UPMC», Paris, França, 2005.
- [75] Rahal, K. - Mechanical Properties of Concrete with Recycled Coarse Aggregate, in «Building and Environment», vol.42, 2007, p. 407-415.
- [76] Rangel, Mauro - Propriedades do BAC, com Agregados Grossos Reciclados. «Dissertação de Mestrado apresentada na UBI», Covilhã, 2010.
- [77] RILEM TC 121-DRG - Specifications for Concrete with Recycled Aggregates, in «Materials and Structures». vol.27, Paris, 1994, p. 557-559.
- [78] Rols, S. *et al.* - Effects of Different Viscosity Agents on the Properties of Self-Compacting Concrete, in «Cement and Concrete Research», vol.29, N.º 2, 1999, p.261-266.

- [79] Roussel, N. - Rheology of Fresh Concrete: From Measurements to Prediction of Casting Processes, in «Materials and Structures». vol.40, N.º 10, 2007, p.1001-1012.
- [80] Salinas, L. - Gestão de Resíduos de Construção e Demolição. Contributo para a Avaliação e Gestão Municipal dos Resíduos de Construção e Demolição em Portugal. «Dissertação de Mestrado apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra», Coimbra, 2002.
- [81] Sampaio, Joaquim - Recycled Concrete Obtained of Waste Concrete Produced in Ready Mixed Concrete Plant of BETOPAL - Betões Preparados, SA in Oporto, in «Congresso ERMCO 98 (Organização Europeia para o Betão Pronto)», Lisboa, Jun 1998.
- [82] Sedran, T; Larrard, F. - Optimization of Self-Compacting Concrete Thanks to Packing Model, In «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, Sept. 1999, p. 321-332.
- [83] Shao, Y et al. - Studies on Concrete Containing Ground Waste Glass, «Cement and Concrete Research», N.º 30, 2000, p. 91-100.
- [84] SIKA - Catálogo de Informação Técnica, Sika Industria Química, S.A., Gaia, 2000.
- [85] Sika - Catálogo de Informação Técnica, Superplastificante de Alto Desempenho - ViscoCrete® 3005, N.º 1.28, versão nº 4, Santarém, 2008.
- [86] Silva, Pedro - Métodos de Estudo da Composição de Betão Auto-Compactável (BAC) Verificação da sua Aplicabilidade Técnico-Económica, «Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentada no IST», Lisboa, 2007.
- [87] Skarendahl, A. - Definitions and Development Objectives (Background Documents), in «Self Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 3-13.
- [88] Skarendahl, A. - Early age and hardened properties (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 43-46.
- [89] Skarendahl, A. - Environment (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 91-92.
- [90] Skarendahl, A. - Self-Compacting Concrete in Sweden, Research and Application, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 60-71.
- [91] Skarendahl, A; Petersson, Ö. - Self-Compacting Concrete, «State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000.
- [92] Takada, K. - Test Method Description: Slump-Flow Test (Background Document), in «Self Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., 2000, p. 117-119.
- [93] Vasconcelos, Helder; Cabral, Antonio - Concreto Auto-Adensável Produzido com Agregados Reciclados BAC 2010, in «2º Congresso Ibérico sobre Betão Auto-Compactável», Guimarães, 1-2 de Julho 2010.

- [94] Vázquez *et al.* - Draft of Spanish Regulations for the Use of Recycled Aggregate in the Production of Structural Concrete, Use of Recycled Materials in Buildings and Structures, «Internacional RILEM Conference», Barcelona, 2006, p. 511-525.
- [95] Vieira, Manuel - Betões Auto-Compactáveis, Reologia do Betão no Estado Fresco, «Dissertação de Mestrado apresentada no IST», Lisboa, 2008.
- [96] Xie, Y.; Liu, B.; Yin, J.; Zhou, S. - Optimum Mix Parameters of High-strength Self-Compacting Concrete With Ultrapulverized Fly Ash, in «Cement and Concrete Research», N.º 32, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 2002, p. 477-480.
- [97] Zaharieva, R.; Buyle-Bodin, F.; Wirquin, E. - Frost Resistance of Recycled Aggregate Concrete, in «Cement and Concrete Research», N.º 34, 2004, p. 1927-1932.

Anexos

Anexo A

MASSA ESPECÍFICA DOS MATERIAIS FINOS

Massa específica de materiais finos			
Método: Densímetro de Le Châtelier			
<u>Registo do ensaio laboratorial:</u>			
Material: Cimento: CEM I 42,5R		Proveniência: SECIL	
Provete	Massa [g]	Volume [cm ³]	Massa específica ⁽¹⁾ [g/cm ³]
1	M1= 61,0771	V1= 19,45	$\delta_1 = 3,140$
2	M2= 61,6766	V2= 19,65	$\delta_2 = 3,139$
3	M3= 61,8655	V3= 19,70	$\delta_3 = 3,140$
Temperatura a que se realizou o ensaio: 19,5 °C			
Resultados:			
Valor médio da massa específica do material ⁽²⁾		$\delta = 3,14$ [g/cm³]	
(1) – A massa específica em g/cm ³ é calculada pela expressão: $\delta_i = \frac{M_i}{V_i}$ (2) – O resultado final é arredondado às centésimas.			
Ensaiou: Hugo Pinto		Observações: Ensaio realizado de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960.	
Verificou: Miguel Nepomuceno			
Data:			

Figura A.1 - Massa específica do cimento Portland CEM I 42,5R

Massa específica de materiais finos
--

Método: Densímetro de Le Châtelier

Registo do ensaio laboratorial:

Material: Filer calcário – Betocarb P1 - OU	Proveniência: OMYA COMITAL
---	--------------------------------------

Provete	Massa [g]	Volume [cm ³]	Massa específica ⁽¹⁾ [g/cm ³]
1	M1= 51,3374	V1= 18,90	$\delta_1 = 2,716$
2	M2= 51,1825	V2= 18,75	$\delta_2 = 2,730$
3	M3= 51,5806	V3= 18,95	$\delta_3 = 2,722$

Temperatura a que se realizou o ensaio: 18,5 °C

Resultados:

Valor médio da massa específica do material ⁽²⁾	$\delta = 2,72$ [g/cm³]
--	--

<p>(1) – A massa específica em g/cm³ é calculada pela expressão: $\delta_i = \frac{M_i}{V_i}$</p> <p>(2) – O resultado final é arredondado às centésimas.</p>

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960, em conformidade com a Especificação do LNEC E376-1993.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data:	

Figura A.2 - Massa específica do filer calcário - Betocarb P1 - OU

Massa específica de materiais finos
--

Método: Densímetro de Le Châtelier

Registo do ensaio laboratorial:

Material: Cinzas volantes	Proveniência: TEJO ENERGIA
------------------------------	-------------------------------

Provete	Massa [g]	Volume [cm ³]	Massa específica ⁽¹⁾ [g/cm ³]
1	M1= 50,0143	V1= 21,35	$\delta_1 = 2,343$
2	M2= 50,2510	V2= 20,85	$\delta_2 = 2,410$
3	M3= 50,4635	V3= 21,15	$\delta_3 = 2,386$

Temperatura a que se realizou o ensaio: 17,5 °C

Resultados:

Valor médio da massa específica do material ⁽²⁾	$\delta = 2,38$ [g/cm³]
--	--

<p>(1) – A massa específica em g/cm³ é calculada pela expressão: $\delta_i = \frac{M_i}{V_i}$</p> <p>(2) – O resultado final é arredondado às centésimas.</p>

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data:	

Figura A.3 - Massa específica das cinzas volantes

Anexo B
MASSA VOLÚMICA DOS AGREGADOS

Massa volúmica - areia saturada com a superfície seca
--

Método: Densímetro

Registo do ensaio laboratorial:

Agregado: Areia 0/2	Proveniência: Betão Liz – Figueira da Foz
------------------------	--

M1 – Massa do provete saturado com a superfície seca (*)	M1 = 523,1 [g]
M2 – Massa do densímetro + provete + água (até ao traço de ref.)	M2 = 994,2 [g]
M3 – Massa do densímetro + água (até ao traço de referência)	M3 = 672,1 [g]

Resultados (massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca):

$\delta = \frac{M1}{M1 + M3 - M2} \times 1000$	$\delta = 2600$ [kg/m³]
--	--

(*) – Para um densímetro de 500 ml a massa da amostra deverá ser de aproximadamente de 500 g
--

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Norma Portuguesa NP-954.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 13-01-2011	

Figura B.1 - Massa volúmica da Areia 0/2

Massa volúmica - areia saturada com a superfície seca
--

Método: Densímetro

Registo do ensaio laboratorial:

Agregado: Areia 0/4	Proveniência: Betão Liz – F. Foz
------------------------	-------------------------------------

M1 – Massa do provete saturado com a superfície seca (*)	M1 = 522,5 [g]
M2 – Massa do densímetro + provete + água (até ao traço de ref.)	M2 = 996,1 [g]
M3 – Massa do densímetro + água (até ao traço de referência)	M3 = 672,2 [g]

Resultados (massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca):

$\delta = \frac{M1}{M1 + M3 - M2} \times 1000$	$\delta = 2630 \text{ [kg/m}^3 \text{]}$
--	--

(*) – Para um densímetro de 500 ml a massa da amostra deverá ser de aproximadamente de 500 g
--

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Norma Portuguesa NP-954.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 13-01-2011	

Figura B.2 - Massa volúmica da Areia 0/4

Massa volúmica - areia saturada com a superfície seca
--

Método: Densímetro

Registo do ensaio laboratorial:

Agregado: Areia Reciclada	Proveniência: UBI
------------------------------	----------------------

M1 – Massa do provete saturado com a superfície seca (*)	M1 = 513,8 [g]
M2 – Massa do densímetro + provete + água (até ao traço de ref.)	M2 = 962,9 [g]
M3 – Massa do densímetro + água (até ao traço de referência)	M3 = 672,0 [g]

Resultados (massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca):

$\delta = \frac{M1}{M1 + M3 - M2} \times 1000$	$\delta = 2310$ [kg/m³]
--	--

(*) – Para um densímetro de 500 ml a massa da amostra deverá ser de aproximadamente de 500 g
--

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Norma Portuguesa NP-954.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 02-12-2010	

Figura B.3 - Massa volúmica da Areia Reciclada

Anexo C
ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS AGREGADOS

Absorção de água do agregado para betão

Registo do ensaio laboratorial:

Agregado: Areia 0/2	Proveniência: Betão Liz – Figueira da Foz
------------------------	--

M1 – Massa do provete saturado, por imersão em água durante 24 horas, apresentando-se com a superfície seca (*).	M1 = 533.4 [g]
M2 - Massa do provete após secagem em estufa a 105 °C até massa constante.	M2 = 531.1 [g]

Resultados (Absorção de água do agregado para betão):

$A\% = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100$	A% = 0,43
---------------------------------------	------------------

(*)	
Máxima dimensão do agregado (mm)	Massa mínima do Proвете (g)
≤ 4,76	500
19,1	1000
25,4	2000
38,1	3000

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Norma Portuguesa NP-581 e Especificação do LNEC E248-1971.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 13-01-2011	

Figura C.1 - Absorção de água da Areia 0/2

Absorção de água do agregado para betão

Registo do ensaio laboratorial:

Agregado: Areia 0/4	Proveniência: Betão Liz – Figueira da Foz
------------------------	--

M1 – Massa do provete saturado, por imersão em água durante 24 horas, apresentando-se com a superfície seca (*).	M1 = 540.8 [g]
M2 - Massa do provete após secagem em estufa a 105 °C até massa constante.	M2 = 535.8 [g]

Resultados (Absorção de água do agregado para betão):

$A\% = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100$	A% = 0,93
---------------------------------------	------------------

(*)

Máxima dimensão do agregado (mm)	Massa mínima do Provete (g)
≤ 4,76	500
19,1	1000
25,4	2000
38,1	3000

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Norma Portuguesa NP-581 e Especificação do LNEC E248-1971.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 13-01-2011	

Figura C.2 - Absorção de água da Areia 0/4

Absorção de água do agregado para betão

Registo do ensaio laboratorial:

Agregado: Areia Reciclada	Proveniência: UBI
------------------------------	----------------------

M1 – Massa do provete saturado, por imersão em água durante 24 horas, apresentando-se com a superfície seca (*).	M1 = 254,3 [g]
M2 - Massa do provete após secagem em estufa a 105 °C até massa constante.	M2 = 232,9 [g]

Resultados (Absorção de água do agregado para betão):

$A\% = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100$	A% = 9,19
---------------------------------------	------------------

(*)

Máxima dimensão do agregado (mm)	Massa mínima do Proвете (g)
≤ 4,76	500
19,1	1000
25,4	2000
38,1	3000

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Ensaio realizado de acordo com a Norma Portuguesa NP-581 e Especificação do LNEC E248-1971.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 02-12-2010	

Figura C.3 - Absorção de água da Areia Reciclada

Anexo D

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Agregado: Areia 0/2			Proveniência: Betão Liz - Figueira da Foz		
Peneiro	Malha (mm)	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		(g)	%	Passados (%)	Retidos (%)
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 2"	(*)50,80	0,00	0,00	100,00	0,00
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1"	(*)25,40	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	(*)12,70	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 4	4,76	0,50	0,04	99,96	0,04
nº 8	2,38	0,30	0,02	99,94	0,06
nº 16	1,19	4,90	0,40	99,54	0,46
nº 30	0,59	310,10	25,05	74,49	25,51
nº 50	0,30	742,30	59,96	14,52	85,48
nº 100	0,15	165,70	13,39	1,14	98,86
nº 200	0,074	11,90	0,96	0,18	99,82
Resíduo		2,20	0,18	0,00	100,00
Totais		1237,90	100,00		

(*) Série secundária

Peneiros para o cálculo do módulo de finura

Módulo de finura do inerte: **2,104**

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Método de Ensaio de acordo com a especificação do LNEC E245 -1971.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 04-02-2011	

Figura D.1 - Análise granulométrica da Areia 0/2

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Agregado: Areia 0/4			Proveniência: Betão Liz - Figueira da Foz		
Peneiro	Malha (mm)	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		(g)	%	Passados (%)	Retidos (%)
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 2"	(*)50,80	0,00	0,00	100,00	0,00
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1"	(*)25,40	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	(*)12,70	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 4	4,76	2,30	0,12	99,88	0,12
nº 8	2,38	96,10	5,11	94,77	5,23
nº 16	1,19	435,90	23,17	71,59	28,41
nº 30	0,59	820,00	43,59	28,00	72,00
nº 50	0,30	489,90	26,04	1,96	98,04
nº 100	0,15	30,40	1,62	0,34	99,66
nº 200	0,074	3,80	0,20	0,14	99,86
Resíduo		2,60	0,14	0,00	100,00
Totais		1881,00	100,00		

(*) Série secundária

Peneiros para o cálculo do módulo de finura

Módulo de finura do inerte: **3,035**

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Método de Ensaio de acordo com a especificação do LNEC E245 -1971.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 13-01-2011	

Figura D.2 - Análise granulométrica da Areia 0/4

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Agregado: Areia Reciclada			Proveniência: UBI		
Peneiro	Malha (mm)	Resíduo no peneiro		Percentagens acumuladas	
		(g)	%	Passados (%)	Retidos (%)
3"	76,20	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 2"	(*)50,80	0,00	0,00	100,00	0,00
1" 1/2	38,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1"	(*)25,40	0,00	0,00	100,00	0,00
3/4"	19,10	0,00	0,00	100,00	0,00
(*) 1/2"	(*)12,70	0,00	0,00	100,00	0,00
3/8"	9,52	0,00	0,00	100,00	0,00
nº 4	4,76	4,30	0,09	99,91	0,09
nº 8	2,38	860,50	17,99	81,92	18,08
nº 16	1,19	1349,20	28,21	53,70	46,30
nº 30	0,59	1159,60	24,25	29,46	70,54
nº 50	0,30	791,90	16,56	12,90	87,10
nº 100	0,15	355,20	7,43	5,47	94,53
nº 200	0,074	193,20	4,04	1,43	98,57
Resíduo		68,40	1,43	0,00	100,00
Totais		4782,30	100,00		

(*) Série secundária

Peneiros para o cálculo do módulo de finura

Módulo de finura do inerte: **3,166**

Ensaiou: Hugo Pinto	Observações: Método de Ensaio de acordo com a especificação do LNEC E245 -1971.
Verificou: Miguel Nepomuceno	
Data: 02-12-2010	

Figura D.3 - Análise granulométrica da Areia Reciclada

Anexo E
ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS

Anexo E.1
COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS - SÉRIE 1

Quadro E.1.1 - Composição da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																	
Identificação da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC		Data 26-01-2011																																																																													
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,80</td> <td style="text-align: center;">0,70</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,70	0,34	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia0/2 a1</th> <th>Areia0/4 a2</th> <th>Areia05 a3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td></td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td></td> <td style="text-align: center;">99,94</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td></td> <td style="text-align: center;">97,37</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,62</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td></td> <td style="text-align: center;">85,61</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">73,48</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td></td> <td style="text-align: center;">50,74</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">13,36</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td></td> <td style="text-align: center;">7,66</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">0,98</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,66</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,12</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,13</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,126</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">7,000</td> <td style="text-align: center;">2,580</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia0/2 a1	Areia0/4 a2	Areia05 a3	Mistura (Curva Real)		0,50	0,50			Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00		100,00	4,760	100,00	99,88		99,94	2,380	99,96	94,77		97,37	1,190	99,62	71,59		85,61	0,590	73,48	28,00		50,74	0,297	13,36	1,96		7,66	0,149	0,98	0,34		0,66	0,074	0,12	0,14		0,13	Resíduo	0,00	0,00		0,00	Módulos de finura						2,126	3,035	7,000	2,580
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																															
0,80	0,70	0,34																																																																															
Abertura da malha (mm)	Areia0/2 a1	Areia0/4 a2	Areia05 a3	Mistura (Curva Real)																																																																													
	0,50	0,50																																																																															
Percentagem de passados																																																																																	
9,520	100,00	100,00		100,00																																																																													
4,760	100,00	99,88		99,94																																																																													
2,380	99,96	94,77		97,37																																																																													
1,190	99,62	71,59		85,61																																																																													
0,590	73,48	28,00		50,74																																																																													
0,297	13,36	1,96		7,66																																																																													
0,149	0,98	0,34		0,66																																																																													
0,074	0,12	0,14		0,13																																																																													
Resíduo	0,00	0,00		0,00																																																																													
Módulos de finura																																																																																	
	2,126	3,035	7,000	2,580																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																										
Composição da mistura de finos																																																																																	
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																												
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																	
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																												
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630																																																														
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																	
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																												
2600	2630																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																	
δsp	---	---	---	---	---																																																																												
1050																																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> $\delta_p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,009352 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,337912 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,236538 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,00316 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,42239 \text{ m}^3/\text{m}^3$ </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>						$\delta_p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,009352 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,337912 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,236538 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,00316 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,42239 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																																											
$\delta_p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,009352 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,337912 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,236538 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,00316 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,42239 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																																																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																														
C1= 424,4 kg	C2= 0,0 kg	CV= 0,0 kg	MS= 0,0 kg	FC= 551,5 kg	FG= 0,0 kg																																																																												
W= 236,5 litros	Sp= 3,16 litros	S1= 549,1 kg	S2= 555,4 kg	S3= 0,0 kg																																																																													
<u>Massa total, em kg</u>		2320,3		<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>																																																																													
<u>Razão água/cimento</u>		0,557		<u>Razão água/finos</u>																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,242																																																																															
C1= 679,1 g	C2= 0,0 g	CV= 0,0 g	MS= 0,0 g	FC= 882,4 g	FG= 0,0 g																																																																												
W= 378,5 ml	Sp= 5,06 ml	S1= 878,6 g	S2= 888,7 g	S2= 0,0 g																																																																													
<u>Massa total, em g</u>		3712,5		<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>																																																																													
<u>Razão água/cimento</u>		0,557		<u>Razão água/finos</u>																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,242																																																																															

Quadro E.1.2 - Composição da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80.6 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																											
Identificação da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80.6		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+5ARCF		Data 11-02-2011																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,710</td> <td style="text-align: center;">0,330</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,710	0,330	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>				Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																														
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																									
0,800	0,710	0,330																																																																																									
Composição da mistura de finos																																																																																											
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																						
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>		Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,92</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">96,71</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">84,67</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,32</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">8,79</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">1,00</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,22</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,576</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a3	Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,92	2,380	99,94	94,77	81,92	96,71	1,190	99,54	71,59	53,70	84,67	0,590	74,49	28,00	29,46	51,32	0,297	14,52	1,96	12,90	8,79	0,149	1,14	0,34	5,47	1,00	0,074	0,18	0,14	1,43	0,22	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,576
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																											
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																							
	a1	a2	a3																																																																																								
Percentagem de passados																																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																							
4,760	99,96	99,88	99,91	99,92																																																																																							
2,380	99,94	94,77	81,92	96,71																																																																																							
1,190	99,54	71,59	53,70	84,67																																																																																							
0,590	74,49	28,00	29,46	51,32																																																																																							
0,297	14,52	1,96	12,90	8,79																																																																																							
0,149	1,14	0,34	5,47	1,00																																																																																							
0,074	0,18	0,14	1,43	0,22																																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																							
Módulos de finura																																																																																											
	2,104	3,035	3,166	2,576																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>		Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">δp= 2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp/Vp= 0,009077 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vp= 0,336805 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vw= 0,239132 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp= 0,003057 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vs= 0,421006 m³/m³</td> </tr> </table>				δp= 2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp= 0,009077 m ³ /m ³	Vp= 0,336805 m ³ /m ³	Vw= 0,239132 m ³ /m ³	Vsp= 0,003057 m ³ /m ³	Vs= 0,421006 m ³ /m ³																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																											
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																							
2600	2630	2310	---	---																																																																																							
δp= 2888,00 kg/m ³																																																																																											
Vsp/Vp= 0,009077 m ³ /m ³																																																																																											
Vp= 0,336805 m ³ /m ³																																																																																											
Vw= 0,239132 m ³ /m ³																																																																																											
Vsp= 0,003057 m ³ /m ³																																																																																											
Vs= 0,421006 m ³ /m ³																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>		Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																											
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																											
δsp	---	---	---	---																																																																																							
1050	---	---	---	---																																																																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																								
C1= 423,0 kg	C2= 0,0 kg	CV= 0,0 kg	MS= 0,0 kg	FC= 549,7 kg	FG= 0,0 kg																																																																																						
W= 239,1 litros	Sp= 3,06 litros	S1= 547,3 kg	S2= 498,3 kg	S3= 48,6 kg																																																																																							
Massa total, em kg 2260,6		Razão água/(mat. cimentícios) 0,565		Razão água/cimento 0,565																																																																																							
Razão água/finos 0,246		Massa total, em g 3617,0		Razão água/(mat. cimentícios) 0,565																																																																																							
Razão água/cimento 0,565		Razão água/cimento 0,565		Razão água/finos 0,246																																																																																							
Razão água/finos 0,246		C1= 676,8 g	C2= 0,0 g	CV= 0,0 g	MS= 0,0 g																																																																																						
		FC= 879,5 g	FG= 0,0 g	W= 382,6 ml	Sp= 4,89 ml																																																																																						
		S1= 875,7 g	S2= 797,2 g	S3= 77,8 g																																																																																							

Quadro E.1.3 - Composição da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80.1 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																						
Identificação da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80.1		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+10ARCF		Data 11-02-2011																																																																																		
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,710</td> <td style="text-align: center;">0,330</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,710	0,330	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>a1</td> <td>a2</td> <td>a3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,92</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">96,07</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">83,78</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,39</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">9,33</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">1,25</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,29</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,583</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)		a1	a2	a3			0,50	0,40	0,10		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,92	2,380	99,94	94,77	81,92	96,07	1,190	99,54	71,59	53,70	83,78	0,590	74,49	28,00	29,46	51,39	0,297	14,52	1,96	12,90	9,33	0,149	1,14	0,34	5,47	1,25	0,074	0,18	0,14	1,43	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,583
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																				
0,800	0,710	0,330																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																		
	a1	a2	a3																																																																																			
	0,50	0,40	0,10																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																		
4,760	99,96	99,88	99,91	99,92																																																																																		
2,380	99,94	94,77	81,92	96,07																																																																																		
1,190	99,54	71,59	53,70	83,78																																																																																		
0,590	74,49	28,00	29,46	51,39																																																																																		
0,297	14,52	1,96	12,90	9,33																																																																																		
0,149	1,14	0,34	5,47	1,25																																																																																		
0,074	0,18	0,14	1,43	0,29																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																		
Módulos de finura																																																																																						
	2,104	3,035	3,166	2,583																																																																																		
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																	
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---																																																																							
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																		
2600	2630	2310	---	---																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																							
δsp	---	---	---	---																																																																																		
1050	---	---	---	---																																																																																		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>δp= 2888,00 kg/m³</p> <p>Vsp/Vp= 0,009077 m³/m³</p> <p>Vp= 0,336805 m³/m³</p> <p>Vw= 0,239132 m³/m³</p> <p>Vsp= 0,003057 m³/m³</p> <p>Vs= 0,421006 m³/m³</p> </div> <div style="width: 45%;"></div> </div>																																																																																						
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 423,0 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 549,7 kg FG= 0,0 kg W= 239,1 litros Sp= 3,06 litros S1= 547,3 kg S2= 442,9 kg S3= 97,3 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 676,8 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 879,5 g FG= 0,0 g W= 382,6 ml Sp= 4,89 ml S1= 875,7 g S2= 708,6 g S3= 155,6 g																																																																																			
Massa total, em kg 2205,2			Massa total, em g 3528,4																																																																																			
Razão água/(mat. cimentícios) 0,565			Razão água/(mat. cimentícios) 0,565																																																																																			
Razão água/cimento 0,565			Razão água/cimento 0,565																																																																																			
Razão água/finos 0,246			Razão água/finos 0,246																																																																																			

Quadro E.1.4 - Composição da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																															
Identificação da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80.3		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+15ARCF		Data 11-02-2011																																																																											
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,725</td> <td style="text-align: center;">0,335</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,725	0,335	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,92</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">95,42</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">82,88</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,46</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">9,88</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">1,51</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,35</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,589</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a3	Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,92	2,380	99,94	94,77	81,92	95,42	1,190	99,54	71,59	53,70	82,88	0,590	74,49	28,00	29,46	51,46	0,297	14,52	1,96	12,90	9,88	0,149	1,14	0,34	5,47	1,51	0,074	0,18	0,14	1,43	0,35	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,589
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																													
0,800	0,725	0,335																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2	a3																																																																												
Percentagem de passados																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	99,96	99,88	99,91	99,92																																																																											
2,380	99,94	94,77	81,92	95,42																																																																											
1,190	99,54	71,59	53,70	82,88																																																																											
0,590	74,49	28,00	29,46	51,46																																																																											
0,297	14,52	1,96	12,90	9,88																																																																											
0,149	1,14	0,34	5,47	1,51																																																																											
0,074	0,18	0,14	1,43	0,35																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																															
	2,104	3,035	3,166	2,589																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																								
Composição da mistura de finos																																																																															
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																										
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																								
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																															
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630	2310	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																															
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																										
2600	2630	2310	---	---	---																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																															
δsp	---	---	---	---	---																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																										
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,009214 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,335097 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,242945 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003088 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,418871 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³	Vp=	0,335097 m ³ /m ³	Vw=	0,242945 m ³ /m ³	Vsp=	0,003088 m ³ /m ³	Vs=	0,418871 m ³ /m ³																																																														
δp=	2888,00 kg/m ³																																																																														
Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³																																																																														
Vp=	0,335097 m ³ /m ³																																																																														
Vw=	0,242945 m ³ /m ³																																																																														
Vsp=	0,003088 m ³ /m ³																																																																														
Vs=	0,418871 m ³ /m ³																																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																												
C1= 420,9 kg	C2= 0,0 kg	CV= 0,0 kg	MS= 0,0 kg	FC= 546,9 kg	FG= 0,0 kg																																																																										
W= 242,9 litros	Sp= 3,09 litros	S1= 544,5 kg	S2= 385,6 kg	S3= 145,1 kg																																																																											
<u>Massa total, em kg</u>		2144,0																																																																													
<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		0,577																																																																													
<u>Razão água/cimento</u>		0,577																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,251																																																																													
C1= 673,4 g	C2= 0,0 g	CV= 0,0 g	MS= 0,0 g	FC= 875,0 g	FG= 0,0 g																																																																										
W= 388,7 ml	Sp= 4,94 ml	S1= 871,3 g	S2= 616,9 g	S3= 232,2 g																																																																											
<u>Massa total, em g</u>		3430,5																																																																													
<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		0,577																																																																													
<u>Razão água/cimento</u>		0,577																																																																													
<u>Razão água/finos</u>		0,251																																																																													

Quadro E.1.5 - Composição da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																						
Identificação da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80.3		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+20ARCF		Data 11-02-2011																																																																																		
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,710</td> <td style="text-align: center;">0,335</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,710	0,335	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>a1</td> <td>a2</td> <td>a3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">94,78</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">81,99</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,54</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">10,43</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">1,77</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,42</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,596</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)		a1	a2	a3			0,50	0,30	0,20		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	94,78	1,190	99,54	71,59	53,70	81,99	0,590	74,49	28,00	29,46	51,54	0,297	14,52	1,96	12,90	10,43	0,149	1,14	0,34	5,47	1,77	0,074	0,18	0,14	1,43	0,42	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,596
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																				
0,800	0,710	0,335																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																		
	a1	a2	a3																																																																																			
	0,50	0,30	0,20																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																		
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																																		
2,380	99,94	94,77	81,92	94,78																																																																																		
1,190	99,54	71,59	53,70	81,99																																																																																		
0,590	74,49	28,00	29,46	51,54																																																																																		
0,297	14,52	1,96	12,90	10,43																																																																																		
0,149	1,14	0,34	5,47	1,77																																																																																		
0,074	0,18	0,14	1,43	0,42																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																		
Módulos de finura																																																																																						
	2,104	3,035	3,166	2,596																																																																																		
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																	
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---																																																																							
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																		
2600	2630	2310	---	---																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																							
δsp	---	---	---	---																																																																																		
1050	---	---	---	---																																																																																		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>δp= 2888,00 kg/m³</p> <p>Vsp/Vp= 0,009214 m³/m³</p> <p>Vp= 0,336789 m³/m³</p> <p>Vw= 0,239121 m³/m³</p> <p>Vsp= 0,003103 m³/m³</p> <p>Vs= 0,420987 m³/m³</p> </div> <div style="width: 45%;"></div> </div>																																																																																						
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 423,0 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 549,6 kg FG= 0,0 kg W= 239,1 litros Sp= 3,10 litros S1= 547,3 kg S2= 332,2 kg S3= 194,5 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 676,8 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 879,4 g FG= 0,0 g W= 382,6 ml Sp= 4,97 ml S1= 875,7 g S2= 531,5 g S3= 311,2 g																																																																																			
Massa total, em kg 2094,5			Massa total, em g 3351,1																																																																																			
Razão água/(mat. cimentícios) 0,565			Razão água/(mat. cimentícios) 0,565																																																																																			
Razão água/cimento 0,565			Razão água/cimento 0,565																																																																																			
Razão água/finos 0,246			Razão água/finos 0,246																																																																																			

Quadro E.1.6 - Composição da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
6A_1.HP.55.I.FC.0,80.3		40C1+60FC+25ARCF			16-02-2011	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,800	0,705	0,335				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3140	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³						
δs1	δs2	δs3	---	---		
2600	2630	2310	---	---		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³						
δsp	---	---	---	---		
1050	---	---	---	---		
Abertura da malha (mm)						
Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)			
a1	a2	a3				
0,50	0,25	0,25				
Percentagem de passados						
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00		
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93		
2,380	99,94	94,77	81,92	94,14		
1,190	99,54	71,59	53,70	81,09		
0,590	74,49	28,00	29,46	51,61		
0,297	14,52	1,96	12,90	10,98		
0,149	1,14	0,34	5,47	2,02		
0,074	0,18	0,14	1,43	0,48		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00		
Módulos de finura						
2,104	3,035	3,166	2,602			
$\delta_p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,009214 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,337358 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,237837 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,003108 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,421697 \text{ m}^3/\text{m}^3$						
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			
C1=	423,7 kg			C1=	678,0 g	
C2=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>		C2=	0,0 g	
CV=	0,0 kg	2040,9		CV=	0,0 g	
MS=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		MS=	0,0 g	
FC=	550,6 kg	0,561		FC=	880,9 g	
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>		FG=	0,0 g	
W=	237,8 litros	0,561		W=	380,5 ml	
Sp=	3,11 litros	<u>Razão água/finos</u>		Sp=	4,97 ml	
S1=	548,2 kg	0,244		S1=	877,1 g	
S2=	277,3 kg			S2=	443,6 g	
S3=	243,5 kg			S3=	389,6 g	

Quadro E.1.8 - Composição da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80.1 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																															
Identificação da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80.1		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+35ARCF		Data 16-02-2011																																																																											
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Vp/Vs</td> <td>Vw/Vp</td> <td>Sp/P%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,720</td> <td style="text-align: center;">0,335</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,720	0,335	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">92,85</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">79,31</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,75</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">12,07</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">2,54</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,61</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,616</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a3	Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	92,85	1,190	99,54	71,59	53,70	79,31	0,590	74,49	28,00	29,46	51,75	0,297	14,52	1,96	12,90	12,07	0,149	1,14	0,34	5,47	2,54	0,074	0,18	0,14	1,43	0,61	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,616
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																													
0,800	0,720	0,335																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2	a3																																																																												
Percentagem de passados																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																											
2,380	99,94	94,77	81,92	92,85																																																																											
1,190	99,54	71,59	53,70	79,31																																																																											
0,590	74,49	28,00	29,46	51,75																																																																											
0,297	14,52	1,96	12,90	12,07																																																																											
0,149	1,14	0,34	5,47	2,54																																																																											
0,074	0,18	0,14	1,43	0,61																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																															
	2,104	3,035	3,166	2,616																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																								
Composição da mistura de finos																																																																															
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																										
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																								
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																															
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630	2310	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																															
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																										
2600	2630	2310	---	---	---																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																															
δsp	---	---	---	---	---																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																										
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,009214 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,335659 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,241674 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003093 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,419574 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³	Vp=	0,335659 m ³ /m ³	Vw=	0,241674 m ³ /m ³	Vsp=	0,003093 m ³ /m ³	Vs=	0,419574 m ³ /m ³																																																														
δp=	2888,00 kg/m ³																																																																														
Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³																																																																														
Vp=	0,335659 m ³ /m ³																																																																														
Vw=	0,241674 m ³ /m ³																																																																														
Vsp=	0,003093 m ³ /m ³																																																																														
Vs=	0,419574 m ³ /m ³																																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																												
C1=	421,6 kg		C1=	674,5 g																																																																											
C2=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	C2=	0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																										
CV=	0,0 kg	1925,3	CV=	0,0 g	3080,4																																																																										
MS=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	MS=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																										
FC=	547,8 kg	0,573	FC=	876,5 g	0,573																																																																										
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>	FG=	0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>																																																																										
W=	241,7 litros	0,573	W=	386,7 ml	0,573																																																																										
Sp=	3,09 litros	<u>Razão água/finos</u>	Sp=	4,95 ml	<u>Razão água/finos</u>																																																																										
S1=	545,4 kg	0,249	S1=	872,7 g	0,249																																																																										
S2=	165,5 kg		S2=	264,8 g																																																																											
S3=	339,2 kg		S3=	542,8 g																																																																											

Quadro E.1.9 - Composição da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																						
Identificação da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80.3		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+40ARCF		Data 16-02-2011																																																																																		
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,725</td> <td style="text-align: center;">0,335</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,725	0,335	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>a1</td> <td>a2</td> <td>a3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">92,21</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">78,41</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,83</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">12,62</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">2,79</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,67</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,622</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)		a1	a2	a3			0,50	0,10	0,40		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	92,21	1,190	99,54	71,59	53,70	78,41	0,590	74,49	28,00	29,46	51,83	0,297	14,52	1,96	12,90	12,62	0,149	1,14	0,34	5,47	2,79	0,074	0,18	0,14	1,43	0,67	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,622
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																				
0,800	0,725	0,335																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																		
	a1	a2	a3																																																																																			
	0,50	0,10	0,40																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																		
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																																		
2,380	99,94	94,77	81,92	92,21																																																																																		
1,190	99,54	71,59	53,70	78,41																																																																																		
0,590	74,49	28,00	29,46	51,83																																																																																		
0,297	14,52	1,96	12,90	12,62																																																																																		
0,149	1,14	0,34	5,47	2,79																																																																																		
0,074	0,18	0,14	1,43	0,67																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																		
Módulos de finura																																																																																						
	2,104	3,035	3,166	2,622																																																																																		
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																	
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---																																																																							
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																		
2600	2630	2310	---	---																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																							
δsp	---	---	---	---																																																																																		
1050	---	---	---	---																																																																																		
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,009214 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,335097 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,242945 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003088 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,418871 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³	Vp=	0,335097 m ³ /m ³	Vw=	0,242945 m ³ /m ³	Vsp=	0,003088 m ³ /m ³	Vs=	0,418871 m ³ /m ³																																																																					
δp=	2888,00 kg/m ³																																																																																					
Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³																																																																																					
Vp=	0,335097 m ³ /m ³																																																																																					
Vw=	0,242945 m ³ /m ³																																																																																					
Vsp=	0,003088 m ³ /m ³																																																																																					
Vs=	0,418871 m ³ /m ³																																																																																					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																			
C1= 420,9 kg			C1= 673,4 g																																																																																			
C2= 0,0 kg			C2= 0,0 g																																																																																			
CV= 0,0 kg		<u>Massa total, em kg</u>	CV= 0,0 g		<u>Massa total, em g</u>																																																																																	
MS= 0,0 kg		1868,6	MS= 0,0 g		2989,8																																																																																	
FC= 546,9 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 875,0 g		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																	
FG= 0,0 kg		0,577	FG= 0,0 g		0,577																																																																																	
W= 242,9 litros		<u>Razão água/cimento</u>	W= 388,7 ml		<u>Razão água/cimento</u>																																																																																	
Sp= 3,09 litros		0,577	Sp= 4,94 ml		<u>Razão água/finos</u>																																																																																	
S1= 544,5 kg		<u>Razão água/finos</u>	S1= 871,3 g		0,251																																																																																	
S2= 110,2 kg		0,251	S2= 176,3 g																																																																																			
S3= 387,0 kg			S3= 619,3 g																																																																																			

Quadro E.1.10 - Composição da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80.2 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																						
Identificação da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80.2		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+45ARCF		Data 16-02-2011																																																																																		
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Vp/Vs</td> <td>Vw/Vp</td> <td>Sp/P%</td> </tr> <tr> <td>0,800</td> <td>0,710</td> <td>0,335</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,710	0,335	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>a1</td> <td>a2</td> <td>a3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,05</td> <td>0,45</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,96</td> <td>99,88</td> <td>99,91</td> <td>99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,94</td> <td>94,77</td> <td>81,92</td> <td>91,57</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,54</td> <td>71,59</td> <td>53,70</td> <td>77,52</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>74,49</td> <td>28,00</td> <td>29,46</td> <td>51,90</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>14,52</td> <td>1,96</td> <td>12,90</td> <td>13,16</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>1,14</td> <td>0,34</td> <td>5,47</td> <td>3,05</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,18</td> <td>0,14</td> <td>1,43</td> <td>0,74</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>2,104</td> <td>3,035</td> <td>3,166</td> <td>2,629</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)		a1	a2	a3			0,50	0,05	0,45		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	91,57	1,190	99,54	71,59	53,70	77,52	0,590	74,49	28,00	29,46	51,90	0,297	14,52	1,96	12,90	13,16	0,149	1,14	0,34	5,47	3,05	0,074	0,18	0,14	1,43	0,74	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,629
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																				
0,800	0,710	0,335																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																		
	a1	a2	a3																																																																																			
	0,50	0,05	0,45																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																		
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																																		
2,380	99,94	94,77	81,92	91,57																																																																																		
1,190	99,54	71,59	53,70	77,52																																																																																		
0,590	74,49	28,00	29,46	51,90																																																																																		
0,297	14,52	1,96	12,90	13,16																																																																																		
0,149	1,14	0,34	5,47	3,05																																																																																		
0,074	0,18	0,14	1,43	0,74																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																		
Módulos de finura																																																																																						
	2,104	3,035	3,166	2,629																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <td>fc1</td> <td>fc2</td> <td>fcv</td> <td>fms</td> <td>ffc</td> <td>ffg</td> </tr> <tr> <td>0,40</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																															
Composição da mistura de finos																																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																	
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <td>δc1</td> <td>δc2</td> <td>δcv</td> <td>δms</td> <td>δfc</td> <td>δfg</td> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																															
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <td>δs1</td> <td>δs2</td> <td>δs3</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>2600</td> <td>2630</td> <td>2310</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630	2310	---	---	---																																																															
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																						
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																																	
2600	2630	2310	---	---	---																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <td>δsp</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,009214 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,336789 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,239121 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003103 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,420987 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³	Vp=	0,336789 m ³ /m ³	Vw=	0,239121 m ³ /m ³	Vsp=	0,003103 m ³ /m ³	Vs=	0,420987 m ³ /m ³																																																																					
δp=	2888,00 kg/m ³																																																																																					
Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³																																																																																					
Vp=	0,336789 m ³ /m ³																																																																																					
Vw=	0,239121 m ³ /m ³																																																																																					
Vsp=	0,003103 m ³ /m ³																																																																																					
Vs=	0,420987 m ³ /m ³																																																																																					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																			
C1= 423,0 kg	C2= 0,0 kg	CV= 0,0 kg	MS= 0,0 kg	FC= 549,6 kg	FG= 0,0 kg																																																																																	
W= 239,1 litros	Sp= 3,10 litros	S1= 547,3 kg	S2= 55,4 kg	S3= 437,6 kg																																																																																		
Massa total, em kg 1817,7		Razão água/(mat. cimentícios) 0,565		Razão água/cimento 0,565																																																																																		
Razão água/finos 0,246		Massa total, em g 2908,3		Razão água/(mat. cimentícios) 0,565																																																																																		
Razão água/cimento 0,565		Razão água/cimento 0,565		Razão água/finos 0,246																																																																																		
Razão água/finos 0,246		C1= 676,8 g	C2= 0,0 g	CV= 0,0 g	MS= 0,0 g																																																																																	
FC= 879,4 g	FG= 0,0 g	W= 382,6 ml	Sp= 4,97 ml	S1= 875,7 g	S2= 88,6 g																																																																																	
S3= 700,2 g		Massa total, em g 2908,3		Razão água/(mat. cimentícios) 0,565																																																																																		
Razão água/cimento 0,565		Razão água/cimento 0,565		Razão água/finos 0,246																																																																																		
Razão água/finos 0,246		Razão água/finos 0,246																																																																																				

Quadro E.1.11 - Composição da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80.3 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																															
Identificação da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80.3		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC+50ARCF		Data 16-02-2011																																																																											
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Vp/Vs</td> <td>Vw/Vp</td> <td>Sp/P%</td> </tr> <tr> <td>0,800</td> <td>0,700</td> <td>0,335</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,700	0,335	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,96</td> <td>99,88</td> <td>99,91</td> <td>99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,94</td> <td>94,77</td> <td>81,92</td> <td>90,93</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,54</td> <td>71,59</td> <td>53,70</td> <td>76,62</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>74,49</td> <td>28,00</td> <td>29,46</td> <td>51,97</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>14,52</td> <td>1,96</td> <td>12,90</td> <td>13,71</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>1,14</td> <td>0,34</td> <td>5,47</td> <td>3,30</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,18</td> <td>0,14</td> <td>1,43</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2,104</td> <td>3,035</td> <td>3,166</td> <td>2,635</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a3	Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	90,93	1,190	99,54	71,59	53,70	76,62	0,590	74,49	28,00	29,46	51,97	0,297	14,52	1,96	12,90	13,71	0,149	1,14	0,34	5,47	3,30	0,074	0,18	0,14	1,43	0,80	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,635
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																													
0,800	0,700	0,335																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2	a3																																																																												
Percentagem de passados																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																											
2,380	99,94	94,77	81,92	90,93																																																																											
1,190	99,54	71,59	53,70	76,62																																																																											
0,590	74,49	28,00	29,46	51,97																																																																											
0,297	14,52	1,96	12,90	13,71																																																																											
0,149	1,14	0,34	5,47	3,30																																																																											
0,074	0,18	0,14	1,43	0,80																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																															
	2,104	3,035	3,166	2,635																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,40</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																								
Composição da mistura de finos																																																																															
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																										
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																								
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																															
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2600</td> <td>2630</td> <td>2310</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630	2310	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																															
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																										
2600	2630	2310	---	---	---																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																															
δsp	---	---	---	---	---																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																										
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,009214 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,337928 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,236549 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003114 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,422409 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³	Vp=	0,337928 m ³ /m ³	Vw=	0,236549 m ³ /m ³	Vsp=	0,003114 m ³ /m ³	Vs=	0,422409 m ³ /m ³																																																														
δp=	2888,00 kg/m ³																																																																														
Vsp/Vp=	0,009214 m ³ /m ³																																																																														
Vp=	0,337928 m ³ /m ³																																																																														
Vw=	0,236549 m ³ /m ³																																																																														
Vsp=	0,003114 m ³ /m ³																																																																														
Vs=	0,422409 m ³ /m ³																																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																												
C1= 424,4 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 551,5 kg FG= 0,0 kg W= 236,5 litros Sp= 3,11 litros S1= 549,1 kg S2= 0,0 kg S3= 487,9 kg	<u>Massa total, em kg</u> 1764,9	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,557	<u>Razão água/cimento</u> 0,557	<u>Massa total, em g</u> 2823,8	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,557																																																																										
C1= 679,1 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 882,4 g FG= 0,0 g W= 378,5 ml Sp= 4,98 ml S1= 878,6 g S2= 0,0 g S3= 780,6 g	<u>Massa total, em g</u> 2823,8	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,557	<u>Razão água/cimento</u> 0,557	<u>Massa total, em g</u> 2823,8	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,557																																																																										

Anexo E.2
COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS - SÉRIE 2

Quadro E.2.1 - Composição da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.7 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																						
Identificação da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.7		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																																		
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,755</td> <td style="text-align: center;">0,385</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,755	0,385	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>a1</td> <td>a2</td> <td>a3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,92</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">97,35</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">85,57</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,25</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">8,24</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">0,74</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,16</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,569</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)		a1	a2	a3			0,50	0,50	0,00		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,92	2,380	99,94	94,77	81,92	97,35	1,190	99,54	71,59	53,70	85,57	0,590	74,49	28,00	29,46	51,25	0,297	14,52	1,96	12,90	8,24	0,149	1,14	0,34	5,47	0,74	0,074	0,18	0,14	1,43	0,16	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,569
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																				
0,800	0,755	0,385																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																		
	a1	a2	a3																																																																																			
	0,50	0,50	0,00																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																		
4,760	99,96	99,88	99,91	99,92																																																																																		
2,380	99,94	94,77	81,92	97,35																																																																																		
1,190	99,54	71,59	53,70	85,57																																																																																		
0,590	74,49	28,00	29,46	51,25																																																																																		
0,297	14,52	1,96	12,90	8,24																																																																																		
0,149	1,14	0,34	5,47	0,74																																																																																		
0,074	0,18	0,14	1,43	0,16																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																		
Módulos de finura																																																																																						
	2,104	3,035	3,166	2,569																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																															
Composição da mistura de finos																																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																	
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																															
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	δs3	---	---	---	2600	2630	2310	---	---	---																																																															
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																						
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																																	
2600	2630	2310	---	---	---																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,010465 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,331624 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,250376 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,00347 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,41453 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,010465 m ³ /m ³	Vp=	0,331624 m ³ /m ³	Vw=	0,250376 m ³ /m ³	Vsp=	0,00347 m ³ /m ³	Vs=	0,41453 m ³ /m ³																																																																					
δp=	2854,00 kg/m ³																																																																																					
Vsp/Vp=	0,010465 m ³ /m ³																																																																																					
Vp=	0,331624 m ³ /m ³																																																																																					
Vw=	0,250376 m ³ /m ³																																																																																					
Vsp=	0,00347 m ³ /m ³																																																																																					
Vs=	0,41453 m ³ /m ³																																																																																					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																			
C1= 416,5 kg	C2= 0,0 kg	CV= 78,9 kg	MS= 0,0 kg	FC= 451,0 kg	FG= 0,0 kg																																																																																	
W= 250,4 litros	Sp= 3,47 litros	S1= 538,9 kg	S2= 545,1 kg	S3= 0,0 kg																																																																																		
Massa total, em kg		2284,5																																																																																				
Razão água/(mat. cimentícios)		0,505																																																																																				
Razão água/cimento		0,601																																																																																				
Razão água/finos		0,265																																																																																				
C1= 666,4 g	C2= 0,0 g	CV= 126,3 g	MS= 0,0 g	FC= 721,6 g	FG= 0,0 g																																																																																	
W= 400,6 ml	Sp= 5,55 ml	S1= 862,2 g	S2= 872,2 g	S3= 0,0 g																																																																																		
Massa total, em g		3655,2																																																																																				
Razão água/(mat. cimentícios)		0,505																																																																																				
Razão água/cimento		0,601																																																																																				
Razão água/finos		0,265																																																																																				

Quadro E.2.2 - Composição da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																											
Identificação da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,740</td> <td style="text-align: center;">0,385</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,740	0,385	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>				Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																														
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																									
0,800	0,740	0,385																																																																																									
Composição da mistura de finos																																																																																											
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																						
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>		Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,92</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">96,07</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">83,78</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,39</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">9,33</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">1,25</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,29</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,583</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a3	Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,92	2,380	99,94	94,77	81,92	96,07	1,190	99,54	71,59	53,70	83,78	0,590	74,49	28,00	29,46	51,39	0,297	14,52	1,96	12,90	9,33	0,149	1,14	0,34	5,47	1,25	0,074	0,18	0,14	1,43	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,583
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																											
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																							
	a1	a2	a3																																																																																								
Percentagem de passados																																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																							
4,760	99,96	99,88	99,91	99,92																																																																																							
2,380	99,94	94,77	81,92	96,07																																																																																							
1,190	99,54	71,59	53,70	83,78																																																																																							
0,590	74,49	28,00	29,46	51,39																																																																																							
0,297	14,52	1,96	12,90	9,33																																																																																							
0,149	1,14	0,34	5,47	1,25																																																																																							
0,074	0,18	0,14	1,43	0,29																																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																							
Módulos de finura																																																																																											
	2,104	3,035	3,166	2,583																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>		Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">δp= 2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp/Vp= 0,010465 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vp= 0,333282 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vw= 0,246628 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp= 0,003488 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vs= 0,416602 m³/m³</td> </tr> </table>				δp= 2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp= 0,010465 m ³ /m ³	Vp= 0,333282 m ³ /m ³	Vw= 0,246628 m ³ /m ³	Vsp= 0,003488 m ³ /m ³	Vs= 0,416602 m ³ /m ³																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																											
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																							
2600	2630	2310	---	---																																																																																							
δp= 2854,00 kg/m ³																																																																																											
Vsp/Vp= 0,010465 m ³ /m ³																																																																																											
Vp= 0,333282 m ³ /m ³																																																																																											
Vw= 0,246628 m ³ /m ³																																																																																											
Vsp= 0,003488 m ³ /m ³																																																																																											
Vs= 0,416602 m ³ /m ³																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>		Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros </td> </tr> <tr> <td>C1= 418,6 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 79,3 kg</td> <td style="text-align: right;">2181,3</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 453,3 kg</td> <td style="text-align: right;">0,495</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 246,6 litros</td> <td style="text-align: right;">0,589</td> </tr> <tr> <td>Sp= 3,49 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 541,6 kg</td> <td style="text-align: right;">0,259</td> </tr> <tr> <td>S2= 438,3 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 96,2 kg</td> <td></td> </tr> </table>				Quantidades para um volume de: 1000,00 litros		C1= 418,6 kg		C2= 0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV= 79,3 kg	2181,3	MS= 0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 453,3 kg	0,495	FG= 0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>	W= 246,6 litros	0,589	Sp= 3,49 litros	<u>Razão água/finos</u>	S1= 541,6 kg	0,259	S2= 438,3 kg		S3= 96,2 kg																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																											
δsp	---	---	---	---																																																																																							
1050	---	---	---	---																																																																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																											
C1= 418,6 kg																																																																																											
C2= 0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																										
CV= 79,3 kg	2181,3																																																																																										
MS= 0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																										
FC= 453,3 kg	0,495																																																																																										
FG= 0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																										
W= 246,6 litros	0,589																																																																																										
Sp= 3,49 litros	<u>Razão água/finos</u>																																																																																										
S1= 541,6 kg	0,259																																																																																										
S2= 438,3 kg																																																																																											
S3= 96,2 kg																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros </td> </tr> <tr> <td>C1= 669,8 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em g</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 126,9 g</td> <td style="text-align: right;">3490,1</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 725,2 g</td> <td style="text-align: right;">0,495</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 394,6 ml</td> <td style="text-align: right;">0,589</td> </tr> <tr> <td>Sp= 5,58 ml</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 866,5 g</td> <td style="text-align: right;">0,259</td> </tr> <tr> <td>S2= 701,2 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 154,0 g</td> <td></td> </tr> </table>		Quantidades para um volume de: 1,60 litros		C1= 669,8 g		C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>	CV= 126,9 g	3490,1	MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 725,2 g	0,495	FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>	W= 394,6 ml	0,589	Sp= 5,58 ml	<u>Razão água/finos</u>	S1= 866,5 g	0,259	S2= 701,2 g		S3= 154,0 g		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros </td> </tr> <tr> <td>C1= 669,8 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em g</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 126,9 g</td> <td style="text-align: right;">3490,1</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 725,2 g</td> <td style="text-align: right;">0,495</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 394,6 ml</td> <td style="text-align: right;">0,589</td> </tr> <tr> <td>Sp= 5,58 ml</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 866,5 g</td> <td style="text-align: right;">0,259</td> </tr> <tr> <td>S2= 701,2 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 154,0 g</td> <td></td> </tr> </table>				Quantidades para um volume de: 1,60 litros		C1= 669,8 g		C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>	CV= 126,9 g	3490,1	MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 725,2 g	0,495	FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>	W= 394,6 ml	0,589	Sp= 5,58 ml	<u>Razão água/finos</u>	S1= 866,5 g	0,259	S2= 701,2 g		S3= 154,0 g																																							
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																											
C1= 669,8 g																																																																																											
C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																																										
CV= 126,9 g	3490,1																																																																																										
MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																										
FC= 725,2 g	0,495																																																																																										
FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																										
W= 394,6 ml	0,589																																																																																										
Sp= 5,58 ml	<u>Razão água/finos</u>																																																																																										
S1= 866,5 g	0,259																																																																																										
S2= 701,2 g																																																																																											
S3= 154,0 g																																																																																											
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																											
C1= 669,8 g																																																																																											
C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																																										
CV= 126,9 g	3490,1																																																																																										
MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																										
FC= 725,2 g	0,495																																																																																										
FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																										
W= 394,6 ml	0,589																																																																																										
Sp= 5,58 ml	<u>Razão água/finos</u>																																																																																										
S1= 866,5 g	0,259																																																																																										
S2= 701,2 g																																																																																											
S3= 154,0 g																																																																																											

Quadro E.2.3 - Composição da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																							
Identificação da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																																																																			
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,740</td> <td style="text-align: center;">0,385</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,740	0,385	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>			Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																																										
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																					
0,800	0,740	0,385																																																																																																																					
Composição da mistura de finos																																																																																																																							
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																		
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Abertura da malha (mm)</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th colspan="2">Módulos de finura</th> <td></td> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> <th colspan="2"></th> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td colspan="2"></td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="6">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">94,78</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">81,99</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">51,54</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">10,43</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1,77</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,42</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> </tr> <tr> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)					Mistura (Curva Real)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Módulos de finura			a1	a2	a3				0,50	0,30	0,20				Percentagem de passados						9,520	100,00	100,00	100,00	100,00		4,760	99,96	99,88	99,91	99,93		2,380	99,94	94,77	81,92	94,78		1,190	99,54	71,59	53,70	81,99		0,590	74,49	28,00	29,46	51,54		0,297	14,52	1,96	12,90	10,43		0,149	1,14	0,34	5,47	1,77		0,074	0,18	0,14	1,43	0,42		Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00					2,104	3,035	3,166				2,104	3,035	3,166
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																		
Abertura da malha (mm)					Mistura (Curva Real)																																																																																																																		
Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Módulos de finura																																																																																																																				
a1	a2	a3																																																																																																																					
0,50	0,30	0,20																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																			
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																																																																			
2,380	99,94	94,77	81,92	94,78																																																																																																																			
1,190	99,54	71,59	53,70	81,99																																																																																																																			
0,590	74,49	28,00	29,46	51,54																																																																																																																			
0,297	14,52	1,96	12,90	10,43																																																																																																																			
0,149	1,14	0,34	5,47	1,77																																																																																																																			
0,074	0,18	0,14	1,43	0,42																																																																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																			
			2,104	3,035	3,166																																																																																																																		
			2,104	3,035	3,166																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>			Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">δp= 2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp/Vp= 0,010465 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vp= 0,333282 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vw= 0,246628 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp= 0,003488 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vs= 0,416602 m³/m³</td> </tr> </table>			δp= 2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp= 0,010465 m ³ /m ³	Vp= 0,333282 m ³ /m ³	Vw= 0,246628 m ³ /m ³	Vsp= 0,003488 m ³ /m ³	Vs= 0,416602 m ³ /m ³																																																																																													
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																							
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																																																			
2600	2630	2310	---	---																																																																																																																			
δp= 2854,00 kg/m ³																																																																																																																							
Vsp/Vp= 0,010465 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vp= 0,333282 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vw= 0,246628 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vsp= 0,003488 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vs= 0,416602 m ³ /m ³																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">δp= 2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp/Vp= 0,010465 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vp= 0,333282 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vw= 0,246628 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp= 0,003488 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vs= 0,416602 m³/m³</td> </tr> </table>			δp= 2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp= 0,010465 m ³ /m ³	Vp= 0,333282 m ³ /m ³	Vw= 0,246628 m ³ /m ³	Vsp= 0,003488 m ³ /m ³	Vs= 0,416602 m ³ /m ³																																																																																													
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---																																																																																																																			
1050	---	---	---	---																																																																																																																			
δp= 2854,00 kg/m ³																																																																																																																							
Vsp/Vp= 0,010465 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vp= 0,333282 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vw= 0,246628 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vsp= 0,003488 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vs= 0,416602 m ³ /m ³																																																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C1= 418,6 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 79,3 kg</td> <td style="text-align: right;">2071,8</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 453,3 kg</td> <td style="text-align: right;">0,495</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 246,6 litros</td> <td style="text-align: right;">0,589</td> </tr> <tr> <td>Sp= 3,49 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 541,6 kg</td> <td style="text-align: right;">0,259</td> </tr> <tr> <td>S2= 328,7 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 192,5 kg</td> <td></td> </tr> </table>			Quantidades para um volume de: 1000,00 litros		C1= 418,6 kg		C2= 0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV= 79,3 kg	2071,8	MS= 0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 453,3 kg	0,495	FG= 0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>	W= 246,6 litros	0,589	Sp= 3,49 litros	<u>Razão água/finos</u>	S1= 541,6 kg	0,259	S2= 328,7 kg		S3= 192,5 kg		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C1= 669,8 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em g</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 126,9 g</td> <td style="text-align: right;">3314,8</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 725,2 g</td> <td style="text-align: right;">0,495</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 394,6 ml</td> <td style="text-align: right;">0,589</td> </tr> <tr> <td>Sp= 5,58 ml</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 866,5 g</td> <td style="text-align: right;">0,259</td> </tr> <tr> <td>S2= 525,9 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 308,0 g</td> <td></td> </tr> </table>			Quantidades para um volume de: 1,60 litros		C1= 669,8 g		C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>	CV= 126,9 g	3314,8	MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 725,2 g	0,495	FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>	W= 394,6 ml	0,589	Sp= 5,58 ml	<u>Razão água/finos</u>	S1= 866,5 g	0,259	S2= 525,9 g		S3= 308,0 g																																																																			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																							
C1= 418,6 kg																																																																																																																							
C2= 0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																						
CV= 79,3 kg	2071,8																																																																																																																						
MS= 0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																						
FC= 453,3 kg	0,495																																																																																																																						
FG= 0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																						
W= 246,6 litros	0,589																																																																																																																						
Sp= 3,49 litros	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																						
S1= 541,6 kg	0,259																																																																																																																						
S2= 328,7 kg																																																																																																																							
S3= 192,5 kg																																																																																																																							
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																							
C1= 669,8 g																																																																																																																							
C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																						
CV= 126,9 g	3314,8																																																																																																																						
MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																						
FC= 725,2 g	0,495																																																																																																																						
FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																						
W= 394,6 ml	0,589																																																																																																																						
Sp= 5,58 ml	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																						
S1= 866,5 g	0,259																																																																																																																						
S2= 525,9 g																																																																																																																							
S3= 308,0 g																																																																																																																							

Quadro E.2.4 - Composição da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																											
Identificação da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,735</td> <td style="text-align: center;">0,385</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,735	0,385																																																																				
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																									
0,800	0,735	0,385																																																																									
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																										
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																						
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																						
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																										
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																						
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---																																																												
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																							
2600	2630	2310	---	---																																																																							
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																												
δsp	---	---	---	---																																																																							
1050	---	---	---	---																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2 a1</th> <th>Areia 0/4 a2</th> <th>Areia R a3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">93,50</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">80,20</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,68</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">11,52</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">2,28</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,55</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,609</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2 a1	Areia 0/4 a2	Areia R a3	Mistura (Curva Real)		0,50	0,20	0,30		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	93,50	1,190	99,54	71,59	53,70	80,20	0,590	74,49	28,00	29,46	51,68	0,297	14,52	1,96	12,90	11,52	0,149	1,14	0,34	5,47	2,28	0,074	0,18	0,14	1,43	0,55	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,609
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2 a1	Areia 0/4 a2	Areia R a3	Mistura (Curva Real)																																																																							
	0,50	0,20	0,30																																																																								
Percentagem de passados																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																							
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																							
2,380	99,94	94,77	81,92	93,50																																																																							
1,190	99,54	71,59	53,70	80,20																																																																							
0,590	74,49	28,00	29,46	51,68																																																																							
0,297	14,52	1,96	12,90	11,52																																																																							
0,149	1,14	0,34	5,47	2,28																																																																							
0,074	0,18	0,14	1,43	0,55																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																							
Módulos de finura																																																																											
	2,104	3,035	3,166	2,609																																																																							
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;">δp=</td> <td>2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp/Vp=</td> <td>0,010465 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vp=</td> <td>0,333838 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vw=</td> <td>0,245371 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vsp=</td> <td>0,003494 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Vs=</td> <td>0,417298 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,010465 m ³ /m ³	Vp=	0,333838 m ³ /m ³	Vw=	0,245371 m ³ /m ³	Vsp=	0,003494 m ³ /m ³	Vs=	0,417298 m ³ /m ³																																																										
δp=	2854,00 kg/m ³																																																																										
Vsp/Vp=	0,010465 m ³ /m ³																																																																										
Vp=	0,333838 m ³ /m ³																																																																										
Vw=	0,245371 m ³ /m ³																																																																										
Vsp=	0,003494 m ³ /m ³																																																																										
Vs=	0,417298 m ³ /m ³																																																																										
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 419,3 kg C2= 0,0 kg CV= 79,5 kg MS= 0,0 kg FC= 454,0 kg FG= 0,0 kg W= 245,4 litros Sp= 3,49 litros S1= 542,5 kg S2= 219,5 kg S3= 289,2 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 670,9 g C2= 0,0 g CV= 127,1 g MS= 0,0 g FC= 726,4 g FG= 0,0 g W= 392,6 ml Sp= 5,59 ml S1= 868,0 g S2= 351,2 g S3= 462,7 g																																																																								
Massa total, em kg 1963,8			Massa total, em g 3142,1																																																																								
Razão água/(mat. cimentícios) 0,492			Razão água/(mat. cimentícios) 0,492																																																																								
Razão água/cimento 0,585			Razão água/cimento 0,585																																																																								
Razão água/finos 0,258			Razão água/finos 0,258																																																																								

Quadro E.2.5 - Composição da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																											
Identificação da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,730</td> <td style="text-align: center;">0,390</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,730	0,390	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>			Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																														
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																									
0,800	0,730	0,390																																																																																									
Composição da mistura de finos																																																																																											
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																						
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2</th> <th>Areia 0/4</th> <th>Areia R</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a3</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">92,21</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">78,41</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,83</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">12,62</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">2,79</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,67</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,622</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a3	Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	92,21	1,190	99,54	71,59	53,70	78,41	0,590	74,49	28,00	29,46	51,83	0,297	14,52	1,96	12,90	12,62	0,149	1,14	0,34	5,47	2,79	0,074	0,18	0,14	1,43	0,67	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,622
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																											
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Areia R	Mistura (Curva Real)																																																																																							
	a1	a2	a3																																																																																								
Percentagem de passados																																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																							
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																																							
2,380	99,94	94,77	81,92	92,21																																																																																							
1,190	99,54	71,59	53,70	78,41																																																																																							
0,590	74,49	28,00	29,46	51,83																																																																																							
0,297	14,52	1,96	12,90	12,62																																																																																							
0,149	1,14	0,34	5,47	2,79																																																																																							
0,074	0,18	0,14	1,43	0,67																																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																							
Módulos de finura																																																																																											
	2,104	3,035	3,166	2,622																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>			Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">δp= 2854,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp/Vp= 0,010601 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vp= 0,334381 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vw= 0,244098 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vsp= 0,003545 m³/m³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Vs= 0,417976 m³/m³</td> </tr> </table>			δp= 2854,00 kg/m ³	Vsp/Vp= 0,010601 m ³ /m ³	Vp= 0,334381 m ³ /m ³	Vw= 0,244098 m ³ /m ³	Vsp= 0,003545 m ³ /m ³	Vs= 0,417976 m ³ /m ³																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																											
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																																							
2600	2630	2310	---	---																																																																																							
δp= 2854,00 kg/m ³																																																																																											
Vsp/Vp= 0,010601 m ³ /m ³																																																																																											
Vp= 0,334381 m ³ /m ³																																																																																											
Vw= 0,244098 m ³ /m ³																																																																																											
Vsp= 0,003545 m ³ /m ³																																																																																											
Vs= 0,417976 m ³ /m ³																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																										
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																											
δsp	---	---	---	---																																																																																							
1050	---	---	---	---																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> </tr> <tr> <td>C1= 420,0 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 79,6 kg</td> <td style="text-align: right;">1855,4</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 454,8 kg</td> <td style="text-align: right;">0,489</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 244,1 litros</td> <td style="text-align: right;">0,581</td> </tr> <tr> <td>Sp= 3,54 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 543,4 kg</td> <td style="text-align: right;">0,256</td> </tr> <tr> <td>S2= 109,9 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 386,2 kg</td> <td></td> </tr> </table>			Quantidades para um volume de: 1000,00 litros		C1= 420,0 kg		C2= 0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV= 79,6 kg	1855,4	MS= 0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 454,8 kg	0,489	FG= 0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>	W= 244,1 litros	0,581	Sp= 3,54 litros	<u>Razão água/finos</u>	S1= 543,4 kg	0,256	S2= 109,9 kg		S3= 386,2 kg		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1= 672,0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em g</u></td> </tr> <tr> <td>CV= 127,3 g</td> <td style="text-align: right;">2968,7</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 727,6 g</td> <td style="text-align: right;">0,489</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>W= 390,6 ml</td> <td style="text-align: right;">0,581</td> </tr> <tr> <td>Sp= 5,67 ml</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S1= 869,4 g</td> <td style="text-align: right;">0,256</td> </tr> <tr> <td>S2= 175,9 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3= 617,9 g</td> <td></td> </tr> </table>			Quantidades para um volume de: 1,60 litros		C1= 672,0 g		C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>	CV= 127,3 g	2968,7	MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FC= 727,6 g	0,489	FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>	W= 390,6 ml	0,581	Sp= 5,67 ml	<u>Razão água/finos</u>	S1= 869,4 g	0,256	S2= 175,9 g		S3= 617,9 g																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																											
C1= 420,0 kg																																																																																											
C2= 0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																										
CV= 79,6 kg	1855,4																																																																																										
MS= 0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																										
FC= 454,8 kg	0,489																																																																																										
FG= 0,0 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																										
W= 244,1 litros	0,581																																																																																										
Sp= 3,54 litros	<u>Razão água/finos</u>																																																																																										
S1= 543,4 kg	0,256																																																																																										
S2= 109,9 kg																																																																																											
S3= 386,2 kg																																																																																											
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																											
C1= 672,0 g																																																																																											
C2= 0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																																										
CV= 127,3 g	2968,7																																																																																										
MS= 0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																										
FC= 727,6 g	0,489																																																																																										
FG= 0,0 g	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																										
W= 390,6 ml	0,581																																																																																										
Sp= 5,67 ml	<u>Razão água/finos</u>																																																																																										
S1= 869,4 g	0,256																																																																																										
S2= 175,9 g																																																																																											
S3= 617,9 g																																																																																											

Quadro E.2.6 - Composição da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1 - Alvo

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																											
Identificação da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1		Identificação da mistura de finos 40C1+50FC+10CV		Data 17-02-2011																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,800</td> <td style="text-align: center;">0,730</td> <td style="text-align: center;">0,390</td> </tr> </table>		Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,800	0,730	0,390																																																																				
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																									
0,800	0,730	0,390																																																																									
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																										
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																						
0,40	0,00	0,10	0,00	0,50	0,00																																																																						
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3140</td> <td style="text-align: center;">3040</td> <td style="text-align: center;">2380</td> <td style="text-align: center;">2170</td> <td style="text-align: center;">2720</td> <td style="text-align: center;">2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																										
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																						
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2600</td> <td style="text-align: center;">2630</td> <td style="text-align: center;">2310</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	δs3	---	---	2600	2630	2310	---	---																																																												
δs1	δs2	δs3	---	---																																																																							
2600	2630	2310	---	---																																																																							
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1050</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> <td style="text-align: center;">---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																												
δsp	---	---	---	---																																																																							
1050	---	---	---	---																																																																							
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2 a1</th> <th>Areia 0/4 a2</th> <th>Areia R a3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,96</td> <td style="text-align: center;">99,88</td> <td style="text-align: center;">99,91</td> <td style="text-align: center;">99,93</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,94</td> <td style="text-align: center;">94,77</td> <td style="text-align: center;">81,92</td> <td style="text-align: center;">90,93</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">99,54</td> <td style="text-align: center;">71,59</td> <td style="text-align: center;">53,70</td> <td style="text-align: center;">76,62</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">74,49</td> <td style="text-align: center;">28,00</td> <td style="text-align: center;">29,46</td> <td style="text-align: center;">51,97</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">14,52</td> <td style="text-align: center;">1,96</td> <td style="text-align: center;">12,90</td> <td style="text-align: center;">13,71</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">1,14</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">5,47</td> <td style="text-align: center;">3,30</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,18</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> <td style="text-align: center;">1,43</td> <td style="text-align: center;">0,80</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">2,104</td> <td style="text-align: center;">3,035</td> <td style="text-align: center;">3,166</td> <td style="text-align: center;">2,635</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2 a1	Areia 0/4 a2	Areia R a3	Mistura (Curva Real)		0,50	0,00	0,50		Percentagem de passados					9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	4,760	99,96	99,88	99,91	99,93	2,380	99,94	94,77	81,92	90,93	1,190	99,54	71,59	53,70	76,62	0,590	74,49	28,00	29,46	51,97	0,297	14,52	1,96	12,90	13,71	0,149	1,14	0,34	5,47	3,30	0,074	0,18	0,14	1,43	0,80	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						2,104	3,035	3,166	2,635
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2 a1	Areia 0/4 a2	Areia R a3	Mistura (Curva Real)																																																																							
	0,50	0,00	0,50																																																																								
Percentagem de passados																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																							
4,760	99,96	99,88	99,91	99,93																																																																							
2,380	99,94	94,77	81,92	90,93																																																																							
1,190	99,54	71,59	53,70	76,62																																																																							
0,590	74,49	28,00	29,46	51,97																																																																							
0,297	14,52	1,96	12,90	13,71																																																																							
0,149	1,14	0,34	5,47	3,30																																																																							
0,074	0,18	0,14	1,43	0,80																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																							
Módulos de finura																																																																											
	2,104	3,035	3,166	2,635																																																																							
		δp= 2854,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,010601 m ³ /m ³ Vp= 0,334381 m ³ /m ³ Vw= 0,244098 m ³ /m ³ Vsp= 0,003545 m ³ /m ³ Vs= 0,417976 m ³ /m ³																																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 420,0 kg C2= 0,0 kg CV= 79,6 kg MS= 0,0 kg FC= 454,8 kg FG= 0,0 kg W= 244,1 litros Sp= 3,54 litros S1= 543,4 kg S2= 0,0 kg S3= 482,8 kg		Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 672,0 g C2= 0,0 g CV= 127,3 g MS= 0,0 g FC= 727,6 g FG= 0,0 g W= 390,6 ml Sp= 5,67 ml S1= 869,4 g S2= 0,0 g S3= 772,4 g																																																																									
		<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td style="text-align: center;">1745,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td style="text-align: center;">0,489</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> <td style="text-align: center;">0,581</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td style="text-align: center;">0,256</td> </tr> </table>				<u>Massa total, em kg</u>	1745,5	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	0,489	<u>Razão água/cimento</u>	0,581	<u>Razão água/finos</u>	0,256																																																														
<u>Massa total, em kg</u>	1745,5																																																																										
<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	0,489																																																																										
<u>Razão água/cimento</u>	0,581																																																																										
<u>Razão água/finos</u>	0,256																																																																										
		<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em g</u></td> <td style="text-align: center;">2792,8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td style="text-align: center;">0,489</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> <td style="text-align: center;">0,581</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td style="text-align: center;">0,256</td> </tr> </table>				<u>Massa total, em g</u>	2792,8	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	0,489	<u>Razão água/cimento</u>	0,581	<u>Razão água/finos</u>	0,256																																																														
<u>Massa total, em g</u>	2792,8																																																																										
<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	0,489																																																																										
<u>Razão água/cimento</u>	0,581																																																																										
<u>Razão água/finos</u>	0,256																																																																										

Anexo F
ESTUDOS REOLÓGICOS DAS ARGAMASSAS

Anexo F.1

REOLOGIA DAS ARGAMASSAS - SÉRIE 1

Quadro F.1.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.1	0,80	0,70	0,35	313	315	5,39	8,86	1,86
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.2	0,80	0,68	0,31	214	215	11,38	3,60	0,88
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.3	0,80	0,69	0,34	235	233	10,40	4,48	0,96
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80.4	0,80	0,70	0,34	262	260	7,66	5,81	1,31

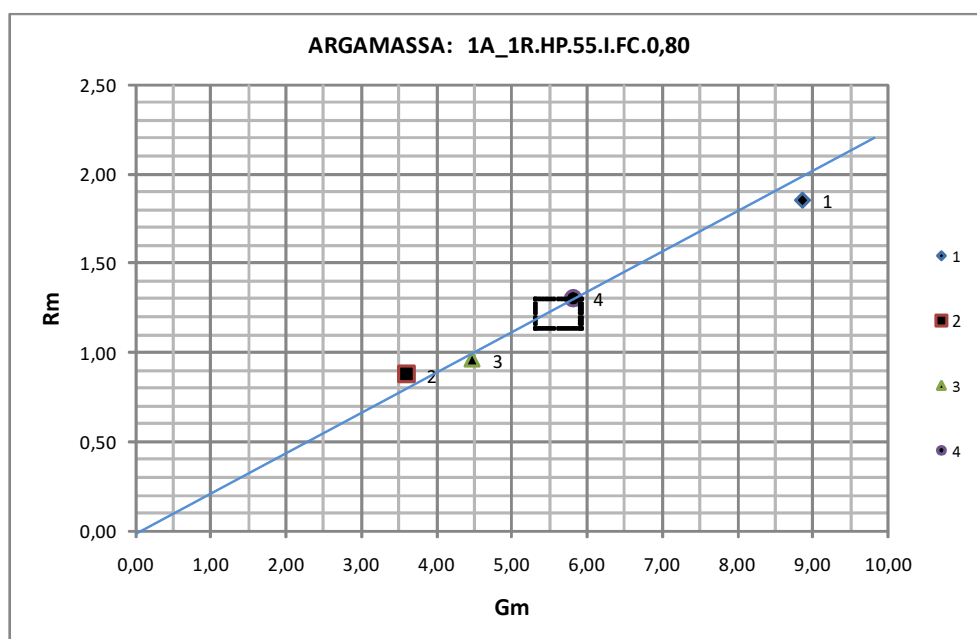


Figura F.1.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 2A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,700	0,340	327	327	5,65	9,69	1,77
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,680	0,320	278	270	5,88	6,51	1,70
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	0,800	0,670	0,330	210	205	12,41	3,31	0,81
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.4	0,800	0,650	0,350	206	206	12,09	3,24	0,83
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.5	0,800	0,690	0,330	226	227	10,50	4,13	0,95
2A_1.HP.55.I.FC.0,80.6	0,800	0,710	0,330	264	261	7,81	5,89	1,28

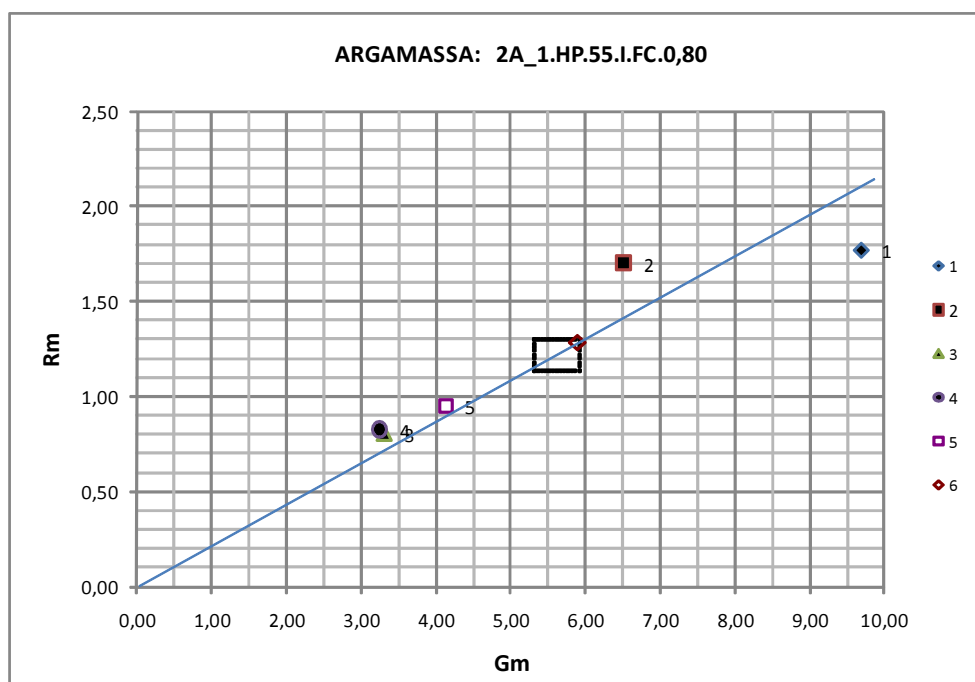


Figura F.1.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 3A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
3A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,710	0,330	263	260	7,78	5,84	1,29

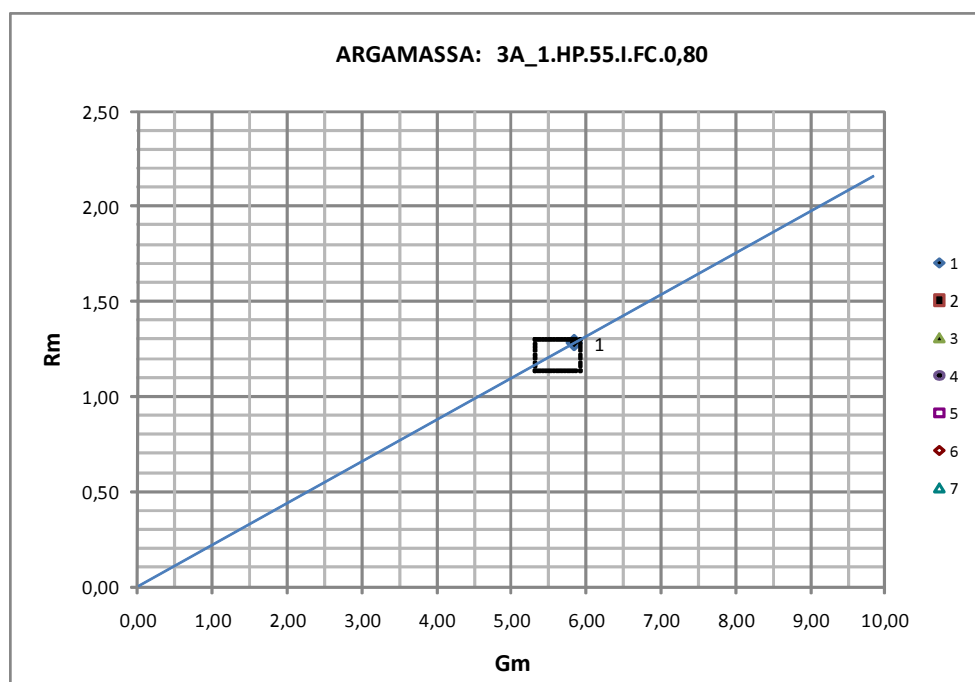


Figura F.1.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 4A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
4A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,710	0,330	229	230	9,22	4,27	1,08
4A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,720	0,335	244	245	8,72	4,98	1,15
4A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	0,800	0,725	0,335	254	255	7,97	5,48	1,25

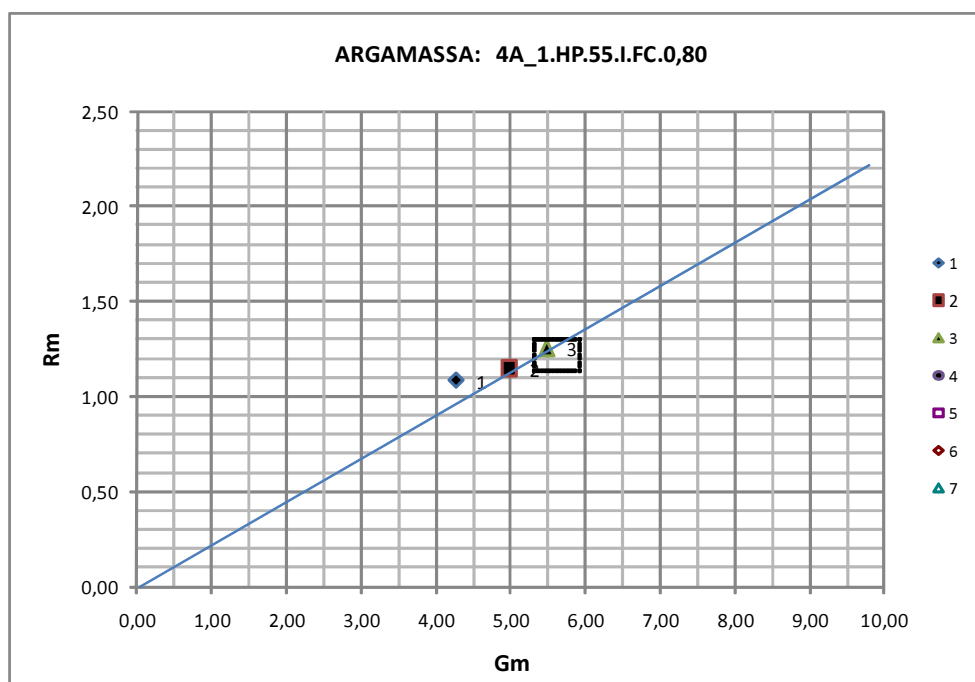


Figura F.1.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 5A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
5A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,730	0,335	275	275	7,47	6,56	1,34
5A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,725	0,335	277	277	6,72	6,67	1,49
5A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	0,800	0,710	0,335	265	266	7,78	6,05	1,29

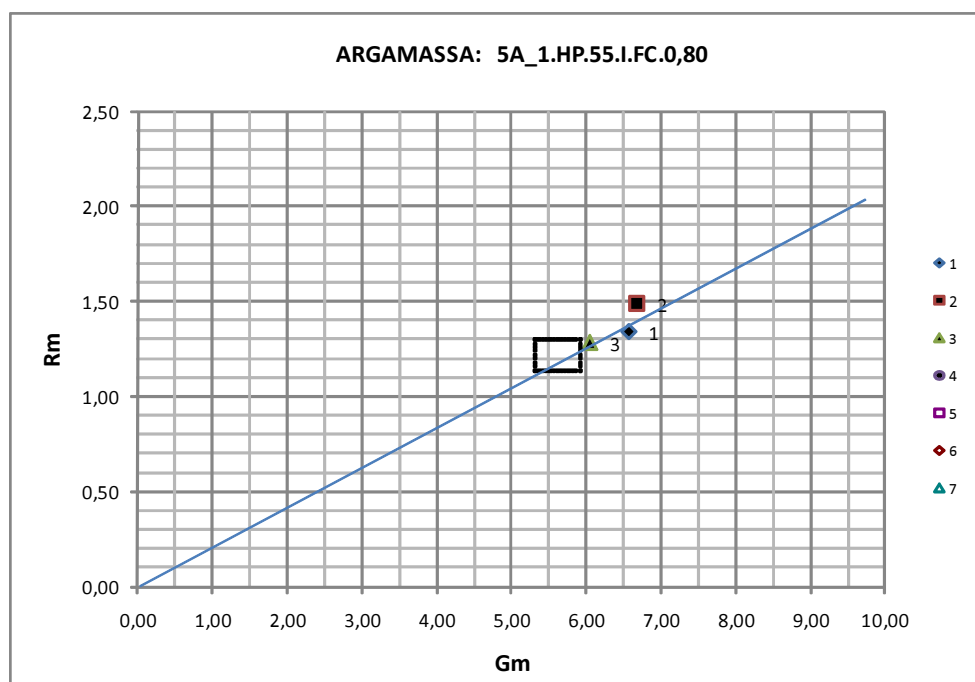


Figura F.1.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 6A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
6A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,710	0,335	278	277	7,91	6,70	1,26
6A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,700	0,335	249	249	9,00	5,20	1,11
6A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	0,800	0,705	0,335	261	261	8,12	5,81	1,23

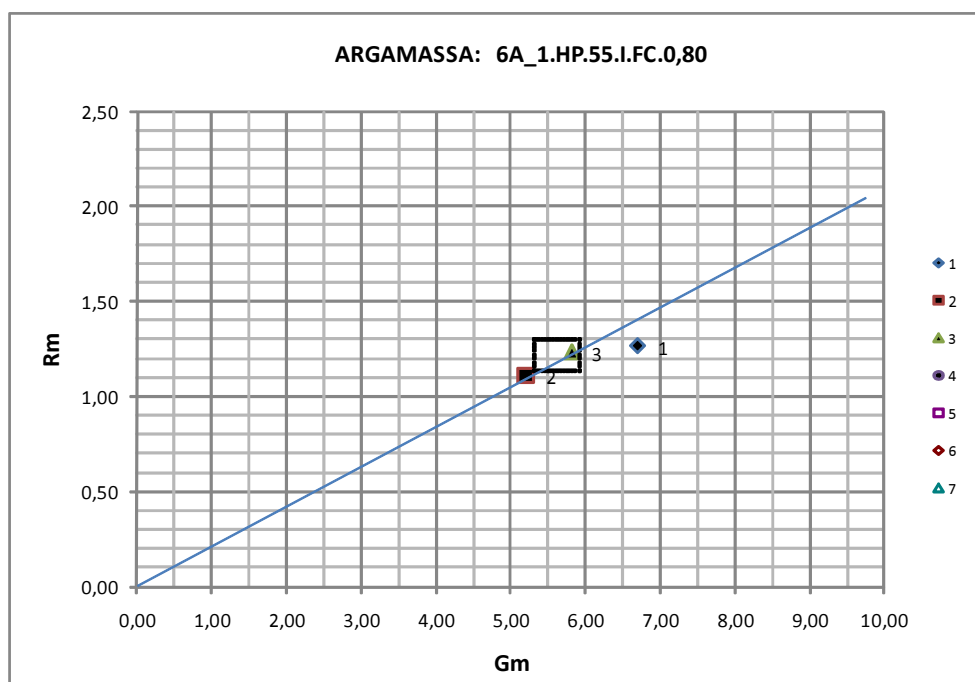


Figura F.1.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.7 - Estudos reológicos da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 7A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
7A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,705	0,335	200	196	10,82	2,92	0,92
7A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,720	0,335	262	262	7,75	5,86	1,29

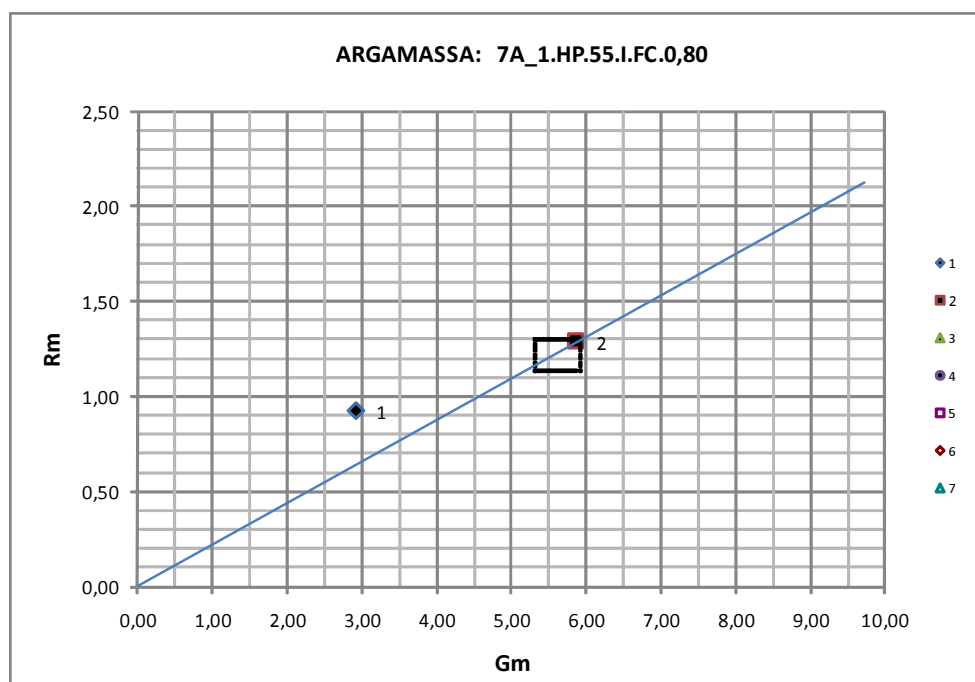


Figura F.1.7 - Estudos reológicos da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.8 - Estudos reológicos da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 8A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
8A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,720	0,335	260	260	8,60	5,76	1,16

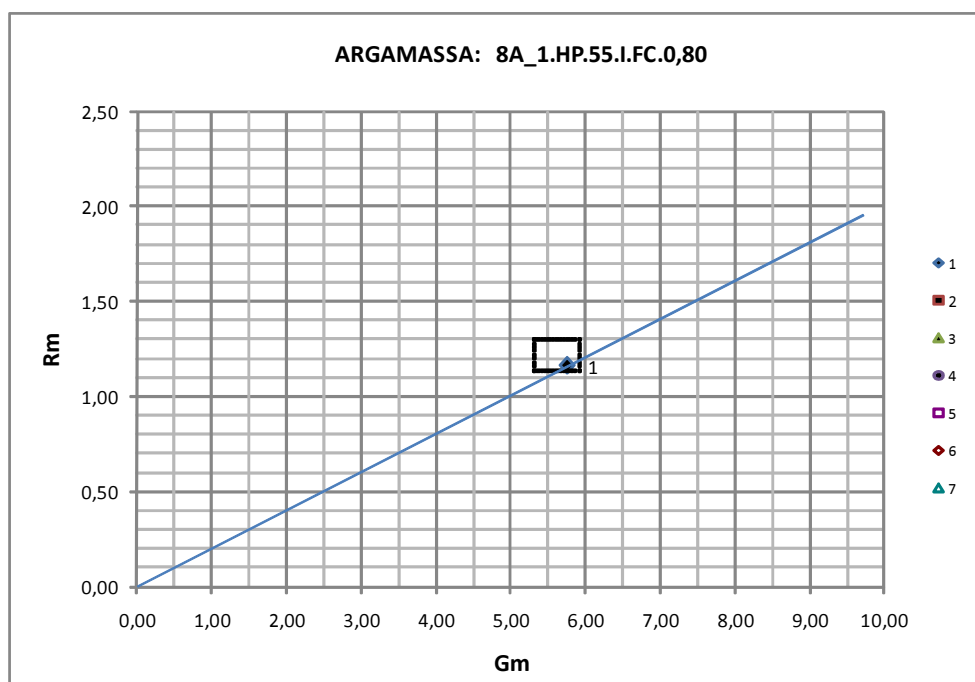


Figura F.1.8 - Estudos reológicos da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.9 - Estudos reológicos da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 9A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
9A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,720	0,335	238	239	8,81	4,69	1,14
9A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,730	0,335	270	270	6,31	6,29	1,58
9A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	0,800	0,725	0,335	262	263	8,16	5,89	1,23

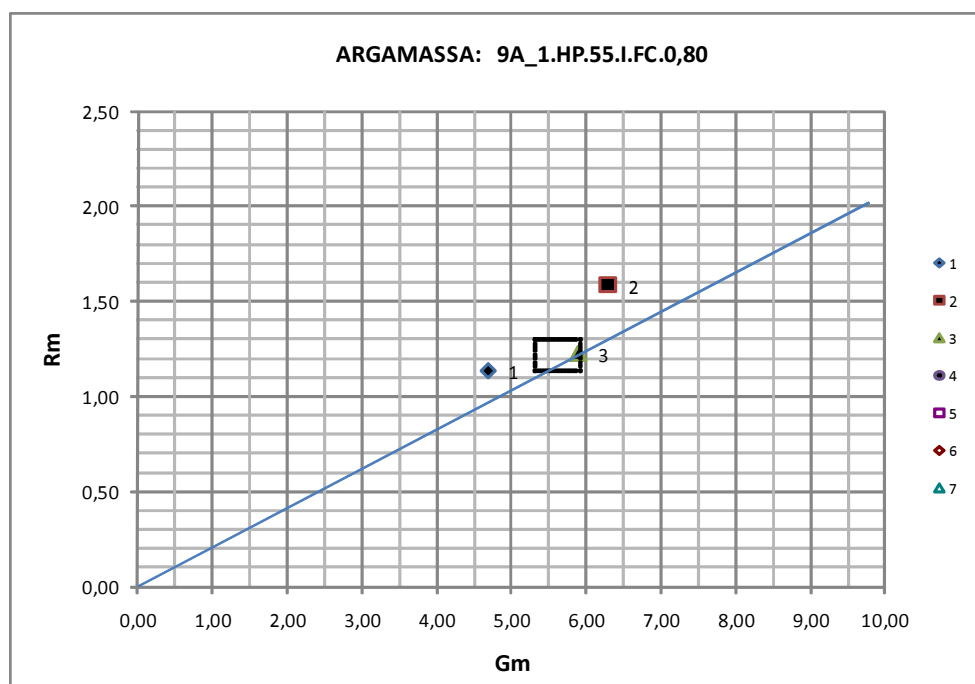


Figura F.1.9 - Estudos reológicos da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.10 - Estudos reológicos da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 10A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
10A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,80	0,725	0,335	288	289	6,07	7,32	1,65
10A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,80	0,710	0,335	264	263	7,93	5,94	1,26

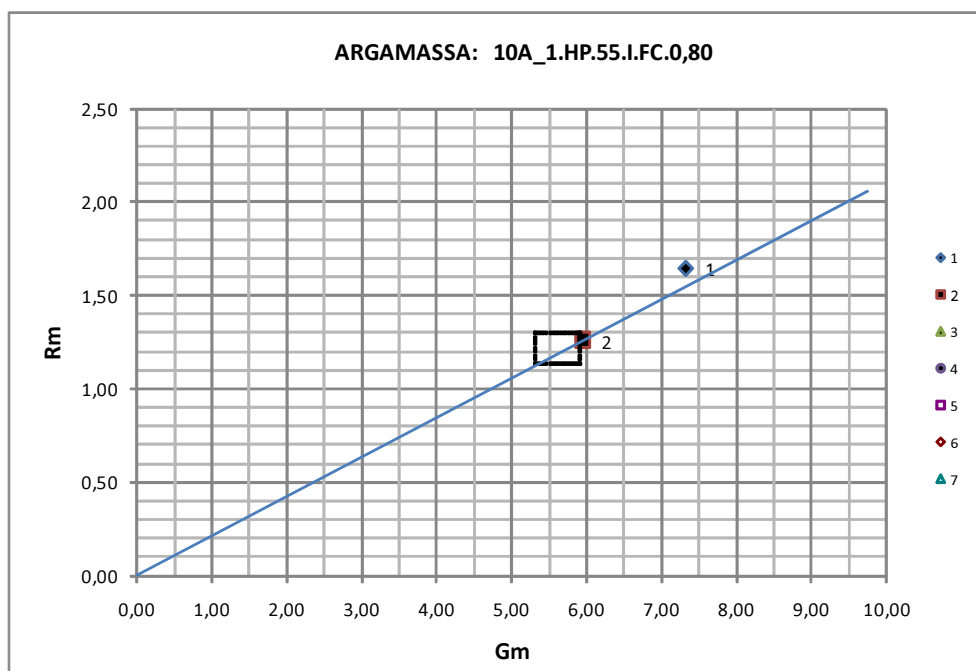


Figura F.1.10 - Estudos reológicos da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80

Quadro F.1.11 - Estudos reológicos da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80

ARGAMASSA: 11A_1.HP.55.I.FC.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
11A_1.HP.55.I.FC.0,80.1	0,800	0,710	0,335	277	276	6,38	6,65	1,57
11A_1.HP.55.I.FC.0,80.2	0,800	0,705	0,335	270	270	6,87	6,29	1,46
11A_1.HP.55.I.FC.0,80.3	0,800	0,700	0,335	262	262	7,41	5,86	1,35

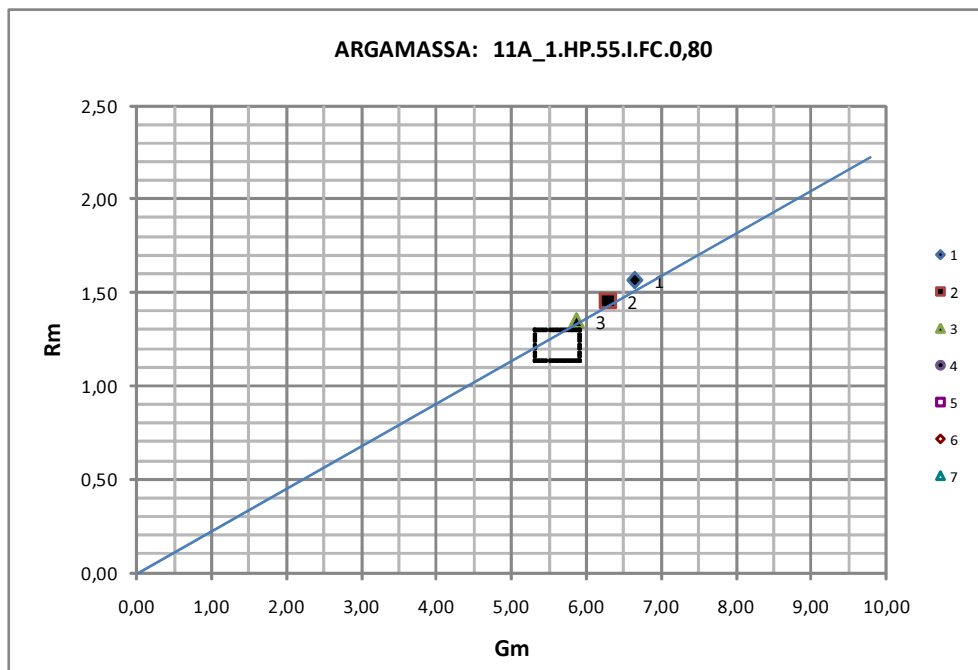


Figura F.1.11 - Estudos reológicos da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80

Anexo F.2

REOLOGIA DAS ARGAMASSAS - SÉRIE 2

Quadro F.2.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80

ARGAMASSA: 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,700	0,335	163	163	16,38	1,66	0,61
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	0,800	0,730	0,340	192	192	13,69	2,69	0,73
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.3	0,800	0,730	0,370	235	235	10,60	4,52	0,94
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.4	0,800	0,740	0,370	238	236	10,75	4,62	0,93
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.5	0,800	0,735	0,390	252	250	9,91	5,30	1,01
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.6	0,800	0,750	0,385	255	255	8,90	5,50	1,12
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80.7	0,800	0,755	0,385	262	262	8,12	5,86	1,23

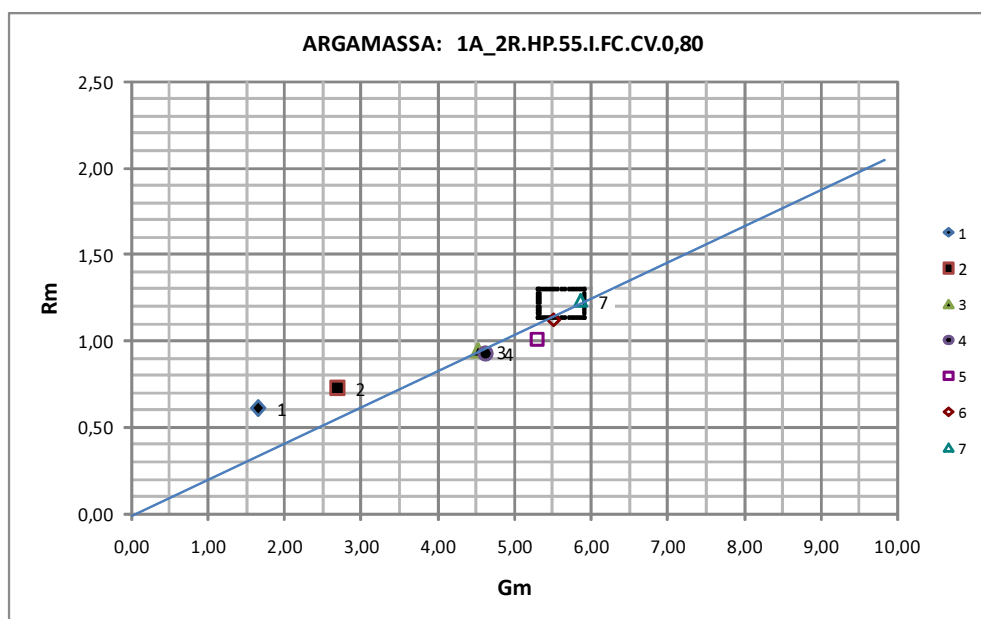


Figura F.2.1 - Estudos reológicos da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80

Quadro F.2.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

ARGAMASSA: 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,755	0,385	280	280	6,56	6,84	1,52
2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	0,800	0,740	0,385	256	257	8,21	5,58	1,22

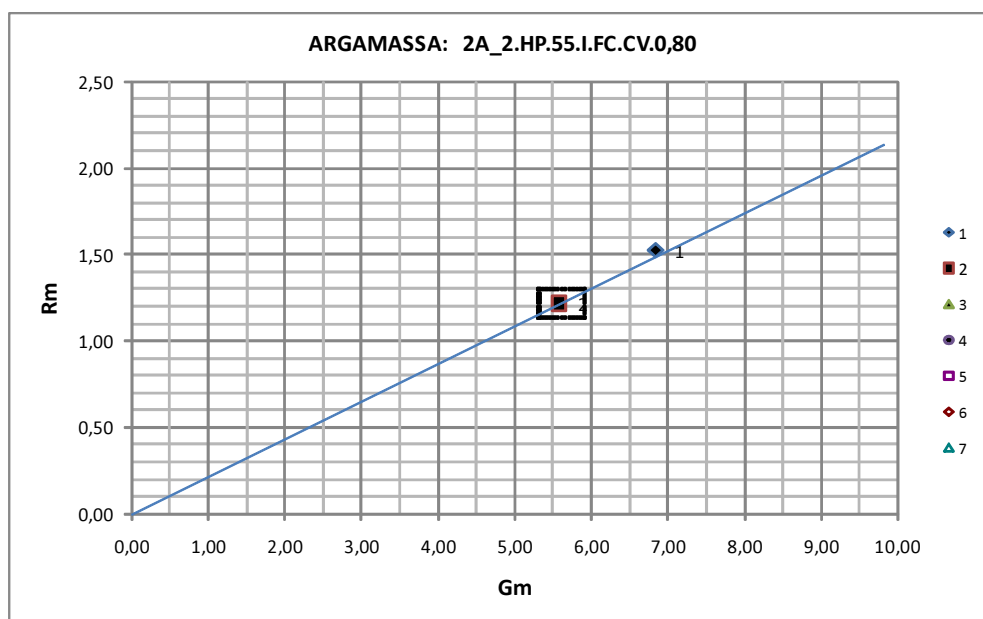


Figura F.2.2 - Estudos reológicos da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

Quadro F.2.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

ARGAMASSA: 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,740	0,385	261	262	7,95	5,84	1,26

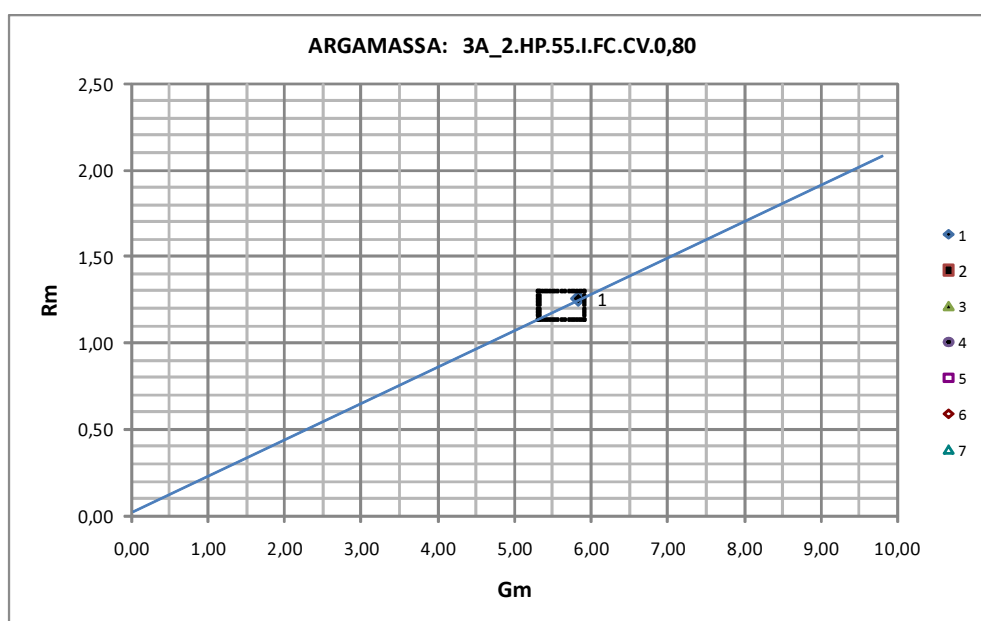


Figura F.2.3 - Estudos reológicos da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

Quadro F.2.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

ARGAMASSA: 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,740	0,385	267	265	7,50	6,08	1,33
4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	0,800	0,735	0,385	261	262	7,97	5,84	1,25

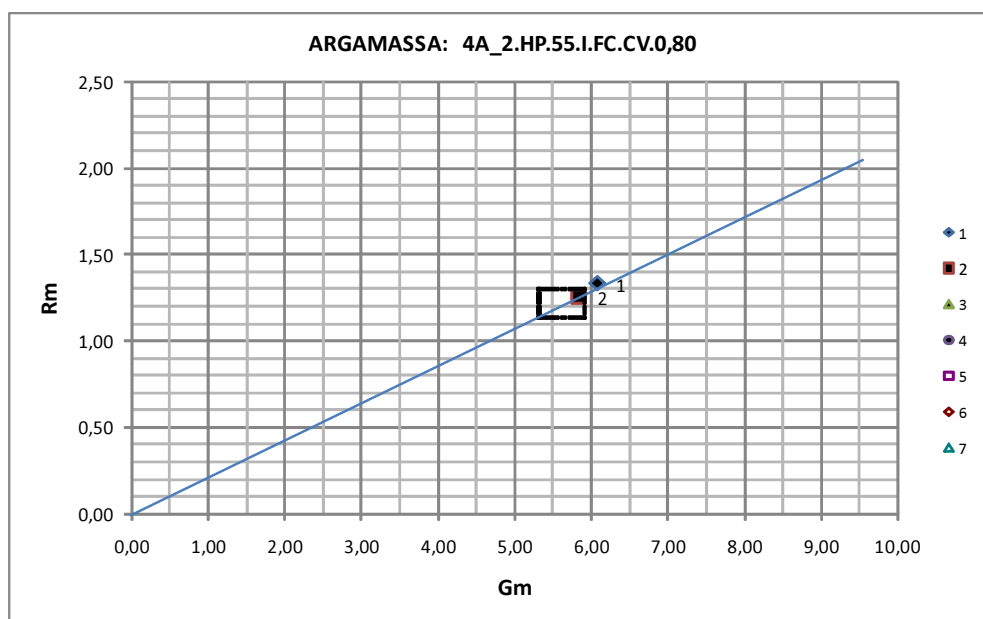


Figura F.2.4 - Estudos reológicos da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

Quadro F.2.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

ARGAMASSA: 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,710	0,385	203	203	10,72	3,12	0,93
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.2	0,800	0,725	0,385	235	235	8,41	4,52	1,19
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.3	0,800	0,730	0,390	256	257	7,71	5,58	1,30

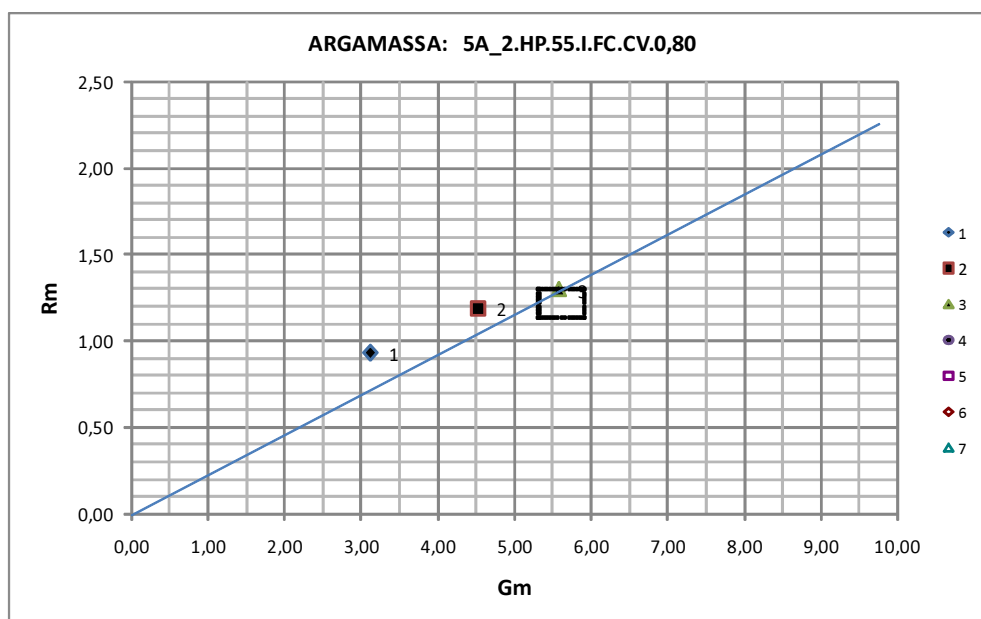


Figura F.2.5 - Estudos reológicos da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

Quadro F.2.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

ARGAMASSA: 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80.1	0,800	0,730	0,390	255	255	7,78	5,50	1,29

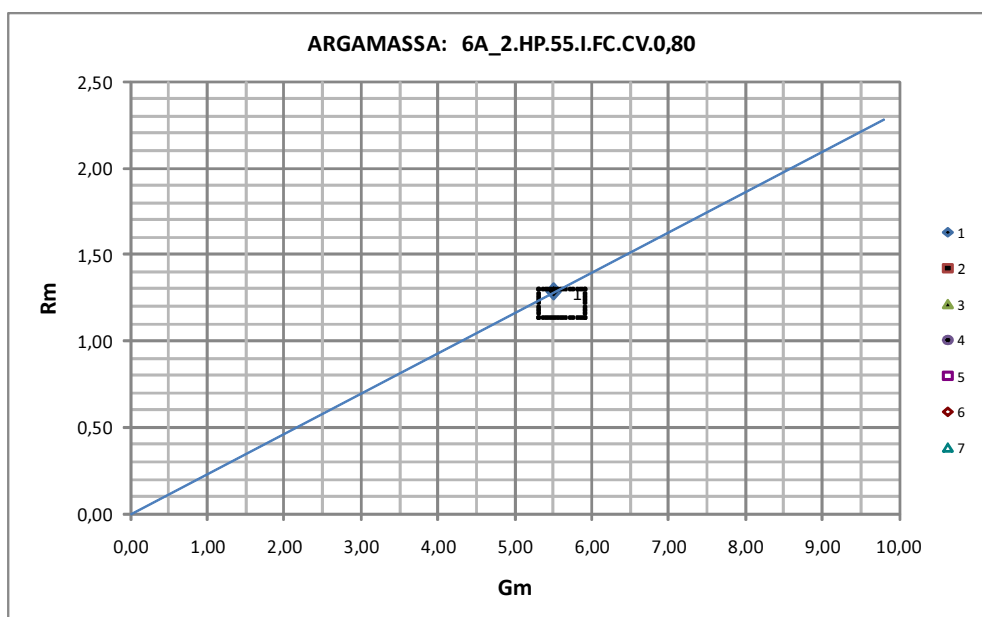


Figura F.2.6 - Estudos reológicos da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80

Anexo G

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MASSA VOLÚMICA DAS
ARGAMASSAS QUE CUMPRIRAM OS PARÂMETROS REOLÓGICOS**

Anexo G.1
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E
MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS - SÉRIE 1

Quadro G.1.1 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	1	26-01-2011	23-02-2011	28	87,3	54,6	54,54	0,66	1,2
	2				86,7	54,2			
	3				87,8	54,9			
	4				88,4	55,3			
	5				85,5	53,4			
	6				87,9	55,0			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.2 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 1A_1R.HP.55.I.FC.0,80

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
1A_1R.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	26-01-2011	23-02-2011	28	646,9	2527,0	2523,0	52,5	2,1
	3 e 4				658,8	2573,4			
	5 e 6				632,0	2468,8			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.3 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80 (5%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
2A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	11-02-2011	11-03-2011	28	87,6	54,8	54,10	1,65	3,0
	2				86,4	54,0			
	3				86,9	54,3			
	4				85,3	53,3			
	5				82,6	51,6			
	6				90,6	56,6			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.4 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 2A_1.HP.55.I.FC.0,80 (5%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
2A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	11-02-2011	11-03-2011	28	677,8	2647,7	2597,8	44,2	1,7
	3 e 4				656,3	2563,7			
	5 e 6				661,0	2582,0			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.5 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80 (10%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
3A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	11-02-2011	11-03-2011	28	74,0	46,3	49,15	2,12	4,3
	2				77,7	48,6			
	3				76,7	47,9			
	4				78,9	49,3			
	5				80,6	50,4			
	6				83,9	52,4			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.6 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 3A_1.HP.55.I.FC.0,80 (10%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
3A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	11-02-2011	11-03-2011	28	663,9	2593,4	2566,8	42,0	1,6
	3 e 4				662,7	2588,7			
	5 e 6				644,7	2518,4			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.7 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80 (15%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
4A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	11-02-2011	11-03-2011	28	80,8	50,5	49,27	1,91	3,9
	2				77,9	48,7			
	3				74,2	46,4			
	4				78,0	48,8			
	5				83,3	52,1			
	6				78,8	49,3			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.8 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 4A_1.HP.55.I.FC.0,80 (15%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
4A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	11-02-2011	11-03-2011	28	564,4	2204,7	2216,8	10,6	0,5
	3 e 4				569,5	2224,6			
	5 e 6				568,6	2221,1			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.9 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80 (20%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
5A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	11-02-2011	11-03-2011	28	78,9	49,3	47,21	1,78	3,8
	2				77,3	48,3			
	3				72,4	45,3			
	4				71,8	44,9			
	5				77,0	48,1			
	6				75,8	47,4			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.10 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 5A_1.HP.55.I.FC.0,80 (20%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
5A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	11-02-2011	11-03-2011	28	579,4	2263,3	2253,6	11,7	0,5
	3 e 4				577,8	2257,0			
	5 e 6				573,6	2240,6			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.11 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80 (25%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS									
(PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
6A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	16-02-2011	16-03-2011	28	82,2	51,4	51,54	2,09	4,1
	2				88,0	55,0			
	3				78,7	49,2			
	4				81,3	50,8			
	5				80,1	50,1			
	6				84,5	52,8			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.12 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 6A_1.HP.55.I.FC.0,80 (25%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS									
(PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
6A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	16-02-2011	16-03-2011	28	650,2	2539,8	2518,5	20,4	0,8
	3 e 4				639,8	2499,2			
	5 e 6				644,2	2516,4			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.13 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80 (30%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
7A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	16-02-2011	16-03-2011	28	83,0	51,9	51,31	1,65	3,2
	2				82,1	51,3			
	3				79,2	49,5			
	4				84,1	52,6			
	5				78,8	49,3			
	6				85,4	53,4			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.14 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 7A_1.HP.55.I.FC.0,80 (30%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
7A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	16-02-2011	16-03-2011	28	659,1	2574,6	2556,3	23,0	0,9
	3 e 4				656,3	2563,7			
	5 e 6				647,8	2530,5			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.15 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80 (35%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS									
(PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
8A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	16-02-2011	16-03-2011	28	82,9	51,8	49,60	1,97	4,0
	2				80,1	50,1			
	3				74,3	46,4			
	4				82,2	51,4			
	5				79,0	49,4			
	6				77,7	48,6			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.16 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 8A_1.HP.55.I.FC.0,80 (35%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS									
(PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
8A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	16-02-2011	16-03-2011	28	568,1	2219,1	2217,1	5,8	0,3
	3 e 4				565,9	2210,5			
	5 e 6				568,7	2221,5			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.17 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80 (40%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
9A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	16-02-2011	16-03-2011	28	75,7	47,3	49,85	2,44	4,9
	2				82,6	51,6			
	3				79,4	49,6			
	4				74,5	46,6			
	5				83,5	52,2			
	6				82,9	51,8			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.18 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 9A_1.HP.55.I.FC.0,80 (40%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
9A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	16-02-2011	16-03-2011	28	622,2	2430,5	2461,1	44,8	1,8
	3 e 4				643,2	2512,5			
	5 e 6				624,7	2440,2			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.19 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80 (45%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
10A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	16-02-2011	16-03-2011	28	78,1	48,8	49,65	2,90	5,9
	2				81,0	50,6			
	3				83,3	52,1			
	4				71,2	44,5			
	5				79,0	49,4			
	6				84,0	52,5			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.20 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 10A_1.HP.55.I.FC.0,80 (45%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
10A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	16-02-2011	16-03-2011	28	638,0	2492,2	2522,1	29,9	1,2
	3 e 4				645,7	2522,3			
	5 e 6				653,3	2552,0			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.21 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80 (50%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
11A_1.HP.55.I.FC.0,80	1	16-02-2011	16-03-2011	28	75,6	47,3	46,47	1,61	3,5
	2				77,0	48,1			
	3				71,8	44,9			
	4				72,5	45,3			
	5				71,9	44,9			
	6				77,3	48,3			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.1.22 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 11A_1.HP.55.I.FC.0,80 (50%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
11A_1.HP.55.I.FC.0,80	1 e 2	16-02-2011	16-03-2011	28	632,1	2469,1	2474,9	12,7	0,5
	3 e 4				631,3	2466,0			
	5 e 6				637,3	2489,5			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Anexo G.2
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E
MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS - SÉRIE 2

Quadro G.2.1 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80	1	17-02-2011	17-03-2011	28	82,3	51,4	54,83	2,99	5,4
	2				88,7	55,4			
	3				92,4	57,8			
	4				88,6	55,4			
	5				92,7	57,9			
	6				81,7	51,1			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.2 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
1A_2R.HP.55.I.FC.CV.0,80	1 e 2	17-02-2011	17-03-2011	28	644,4	2517,2	2532,6	45,4	1,8
	3 e 4				661,4	2583,6			
	5 e 6				639,2	2496,9			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.3 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (10%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1	17-02-2011	17-03-2011	28	82,9	51,8	53,01	1,36	2,6
	2				86,5	54,1			
	3				86,0	53,8			
	4				83,0	51,9			
	5				87,7	54,8			
	6				82,8	51,8			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.4 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (10%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
2A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1 e 2	17-02-2011	17-03-2011	28	634,8	2479,7	2471,6	15,0	0,6
	3 e 4				628,3	2454,3			
	5 e 6				635,1	2480,9			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.5 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (20%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1	17-02-2011	17-03-2011	28	83,6	52,3	51,19	1,62	3,2
	2				85,6	53,5			
	3				79,9	49,9			
	4				78,3	48,9			
	5				81,9	51,2			
	6				82,1	51,3			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.6 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (20%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
3A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1 e 2	17-02-2011	17-03-2011	28	630,6	2463,3	2450,4	11,4	0,5
	3 e 4				625,1	2441,8			
	5 e 6				626,2	2446,1			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.7 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (30%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1	17-02-2011	17-03-2011	28	86,0	53,8	50,31	3,59	7,1
	2				85,7	53,6			
	3				74,9	46,8			
	4				72,1	45,1			
	5				82,7	51,7			
	6				81,6	51,0			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.8 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (30%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
4A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1 e 2	17-02-2011	17-03-2011	28	621,8	2428,9	2420,6	13,1	0,5
	3 e 4				621,4	2427,3			
	5 e 6				615,8	2405,5			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.9 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (40%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1	17-02-2011	17-03-2011	28	76,1	47,6	48,20	1,91	4,0
	2				79,2	49,5			
	3				81,9	51,2			
	4				77,2	48,3			
	5				74,8	46,8			
	6				73,5	45,9			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.10 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (40%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
5A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1 e 2	17-02-2011	17-03-2011	28	557,3	2177,0	2151,2	22,5	1,0
	3 e 4				548,2	2141,4			
	5 e 6				546,6	2135,2			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.11 - Resistência à compressão aos 28 dias da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (50%)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Tensão de rotura à compressão			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1	17-02-2011	17-03-2011	28	76,5	47,8	47,60	1,22	2,6
	2				74,1	46,3			
	3				78,9	49,3			
	4				75,6	47,3			
	5				77,8	48,6			
	6				74,1	46,3			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro G.2.12 - Massa volúmica aos 28 dias da argamassa 6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80 (50%)

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
6A_2.HP.55.I.FC.CV.0,80	1 e 2	17-02-2011	17-03-2011	28	604,7	2362,1	2382,4	23,0	1,0
	3 e 4				608,7	2377,7			
	5 e 6				616,3	2407,4			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura à temperatura de 20 ± 2 °C e Humidade Relativa de 90 %
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,0 kN/s (6 kgf.cm². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

