



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

**Metodologia para o estudo da composição de
betões estruturais leves autocompactáveis
com agregados de argila expandida**

Sandrine de Freitas Pereira

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

Orientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno
Coorientador: Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira

Junho de 2013

À minha família.

Agradecimentos

Ao Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno (Orientador científico deste trabalho), a autora expressa uma enorme gratidão pela disponibilidade, dedicação e compreensão, sempre demonstrada na realização do presente trabalho.

Ao Prof. Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira (Coorientador científico deste trabalho), a autora agradece a colaboração no desenvolvimento do presente trabalho.

À colega e amiga Paula Barroca, a autora agradece a colaboração na execução de trabalhos laboratoriais, bem como o companheirismo e apoio prestado.

A autora agradece também ao Sr. Eng.º Albino Alves e ao Sr. António Félix, a colaboração e disponibilidade para a realização de trabalhos laboratoriais.

Aos pais, irmãos e namorado a autora expressa um carinhoso agradecimento pelo apoio, paciência e persistência demonstrada ao longo deste percurso.

À Universidade da Beira Interior, a autora agradece por todos os meios e condições disponibilizadas.

A autora agradece ainda às empresas que forneceram alguns materiais gratuitamente, fundamentais ao desenvolvimento do presente estudo, nomeadamente à OMYA COMITAL - Minerais e Especialidades, S.A., o fornecimento do fíler calcário (Betocarb P10U) e à empresa Sika-Portugal - Produtos Construção e Indústria, S.A., o fornecimento do superplastificante (Sika® ViscoCrete® 3005).

A todos, que de algum modo contribuíram para a concretização deste trabalho (Amigos e funcionários da UBI) e que aqui não foram referidos a autora agradece a disponibilidade e cooperação prestada.

Resumo

METODOLOGIA PARA O ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES ESTRUTURAIS LEVES AUTOCOMPACTÁVEIS COM AGREGADOS DE ARGILA EXPANDIDA

O presente trabalho descreve um estudo que teve como objetivo a definição dos parâmetros para a composição de betões estruturais autocompactáveis leves (LWSCC), incorporando agregados de argila expandida em substituição dos agregados naturais de massa volúmica normal, visando a adequação da metodologia proposta por Nepomuceno para os betões autocompactáveis de densidade normal (NWSCC). A avaliação destas adaptações foi efetuada sobretudo através de uma campanha experimental, mas foi também suportada pela pesquisa bibliográfica.

A campanha experimental incluiu ensaios de caracterização dos materiais e ensaios em argamassas e betões, quer no estado fresco quer no estado endurecido, para avaliar as adaptações necessárias na referida metodologia. Avaliaram-se as propriedades dos materiais constituintes, com especial ênfase na absorção dos agregados leves. Foi estudada a curva de referência para os agregados grossos pelo método da baridade, para detetar possíveis diferenças face à proposta na metodologia dos NWSCC. Avaliaram-se ainda as propriedades de escoamento das argamassas adequadas à produção dos LWSCC, a relação entre as percentagens de substituição do cimento pela adição e as razões W/C e V_p/V_s , a estimativa de V_w/V_p e $Sp/p\%$ a usar nos ensaios iniciais da argamassa, as correlações com a resistência à compressão do betão e, em termos de trabalhabilidade, a relação entre os parâmetros V_p/V_s , V_m/V_g , D_m e H_2/H_1 . Por último foi ainda avaliada qualitativamente a segregação estática.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a absorção dos agregados leves constitui um aspeto muito relevante neste tipo de betões. Verificou-se ainda que a curva de referência dos agregados grossos e as propriedades reológicas das argamassas propostas por Nepomuceno são adequadas à obtenção de LWSCC. A resistência à compressão do LWSCC depende não só da razão W/C mas também do volume de agregados grossos leves na mistura (V_m/V_g). A massa volúmica também é influenciada pela razão V_m/V_g . Foram obtidas as correlações necessárias à adequação da metodologia, nomeadamente as correlações com a resistência e massa volúmica. No estado fresco todas as misturas cumpriram os critérios de autocompactabilidade e a análise qualitativa das secções longitudinais de cilindros revelou misturas muito homogéneas, sem segregação e exsudação. Os resultados obtidos foram satisfatórios e conduziram ao desenvolvimento de uma proposta de metodologia para o estudo de betões autocompactáveis de agregados leves.

Palavras-chave:

Betão autocompactável, Betão leve, Agregados de argila expandida; Estudo da composição; resistência à compressão; massa volúmica; trabalhabilidade.

Abstract

METHODOLOGY FOR THE MIX DESIGN OF STRUCTURAL LIGHTWEIGHT SELF-COMPACTING CONCRETE WITH EXPANDED CLAY AGGREGATES

This dissertation describes a study aimed at defining the parameters for the mix design of structural lightweight self-compacting concrete (LWSCC), incorporating expanded clay aggregates to replace natural aggregates with normal density, aiming the adaptation of the methodology proposed by Nepomuceno for normal weight self-compacting concrete (NWSCC). The evaluation of these adjustments was made mainly through an experimental campaign, but was also supported by the literature.

The experimental campaign included testing for material characterization and tests on mortar and concrete, whether in a fresh or hardened state, to assess the necessary adaptations to the referred methodology. The properties of the constituent materials were evaluated, with particular emphasis on the water absorption of lightweight aggregates. The reference curve for the coarse aggregates was evaluated by bulk density method, to detect possible differences compared to the proposal on the methodology of NWSCC. It was also evaluated the flow properties of mortar suitable for the production of LWSCC, the relationship between percentage replacement of cement by the addition and the ratios W/C and V_p/V_s , the estimated V_w/V_p and $Sp/p\%$ in the initial tests using the mortar, the correlation with the compressive strength of the concrete and, in terms of workability, the relationship between the parameters V_p/V_s , V_m/V_g , D_m and H_2/H_1 . Finally, static segregation has been evaluated qualitatively.

The results showed that the water absorption of lightweight aggregates is a very relevant aspect in this type of concrete. It was also found that the reference curve of the coarse aggregates and the rheological properties of mortar proposed by Nepomuceno are suitable for obtaining LWSCC. The compressive strength of LWSCC depends not only on the W/C ratio but also on the volume of lightweight coarse aggregate in the mixture (V_m/V_g). The density is also influenced by the V_m/V_g ratio. The correlations necessary for adaptation of the method were obtained, including correlation with the strength and density. In the fresh state all blends met the criteria for self-compactability and the qualitative analysis of longitudinal sections of cylinders revealed very homogeneous mixtures without segregation and bleeding. The results were satisfactory and led to the development of a proposal methodology for the mix design of self-compacting concrete with lightweight aggregates.

Keywords

Self-compacting concrete; Lightweight concrete; expanded clay aggregates; Mix design; compressive strength; density; workability.

Índice Geral

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos e justificação do tema	2
1.3. Metodologia de trabalho	3
1.4. Organização da dissertação	7
2. Estado da arte	9
2.1. Introdução	9
2.2. Desenvolvimento do betão	9
2.3. Betão autocompactável de agregados leves	11
2.3.1. Estado fresco	11
2.3.2. Estado endurecido	13
2.3.3. Vantagens e desvantagens	14
2.4. Metodologia de base	15
3. Programa experimental	17
3.1. Introdução	17
3.2. Materiais utilizados	17
3.2.1. Ligante	17
3.2.2. Adição mineral	18
3.2.3. Agregados	20
3.2.4. Adjuvantes	24
3.2.5. Água da amassadura	24
3.3. Curvas granulométricas de referência dos agregados	24
3.3.1. Agregados finos naturais	25
3.3.2. Agregados grossos naturais	26
3.3.3. Agregados grossos leves	26
3.4. Reologia da fase argamassa	28
3.5. Estudos em argamassas	29
3.5.1. Cálculo da argamassa	29
3.5.2. Procedimento de amassadura	31
3.5.3. Ensaios no estado fresco	32
3.5.3.1. Ensaio de espalhamento	32
3.5.3.2. Ensaio de fluidez	34
3.5.4. Procedimento de acerto das misturas	35
3.5.5. Produção de provetes para ensaios no estado endurecido	38
3.5.6. Ensaios no estado endurecido	38
3.5.6.1. Ensaio de compressão	38
3.5.6.2. Medição da massa volúmica	39
3.6. Estudos em betões	40
3.6.1. Cálculo do betão	40
3.6.2. Procedimento de amassadura	43
	xi

3.6.3. Ensaio no estado fresco	43
3.6.3.1. Ensaio de espalhamento	43
3.6.3.2. Ensaio de fluidez	45
3.6.3.3. Ensaio de autocompactabilidade	48
3.6.4. Procedimento de acerto das misturas	50
3.6.5. Produção de provetes para ensaios no estado endurecido	50
3.6.6. Ensaio no estado endurecido	51
3.6.6.1. Ensaio de compressão	51
3.6.6.2. Medição da massa volúmica	51
3.6.6.3. Avaliação qualitativa da segregação	52
4. Apresentação e discussão dos resultados	53
4.1. Introdução	53
4.2. Reologia da fase argamassa	54
4.3. Estudos em argamassas	58
4.3.1. Ensaio das argamassas no estado fresco e endurecido	58
4.3.2. Correlações entre os parâmetros das misturas	59
4.3.3. Correlações com a resistência à compressão	61
4.3.4. Percentagem de substituição do cimento pela adição	62
4.4. Estudos em betões	67
4.4.1. Correções e composição das misturas	67
4.4.2. Ensaio dos betões no estado fresco	69
4.4.3. Parâmetros reológicos	69
4.4.4. Autocompactabilidade	70
4.4.5. Correlações entre os parâmetros das misturas	72
4.4.6. Correlações com a resistência à compressão	72
4.4.7. Correlações da resistência dos betões e argamassas	73
4.4.8 - Correlações com a massa volúmica	75
4.4.9 - Avaliação qualitativa da segregação	76
5. Metodologia proposta para o estudo da composição	77
5.1. Introdução	77
5.2. Outros estudos considerados	78
5.3. Modelo para estimativa da resistência à compressão	79
5.4. Modelo para estimativa da massa volúmica	81
5.5. Desenvolvimento da proposta	83
5.5.1. Considerações gerais	83
5.5.2. Validade da proposta	83
5.5.3. Requisitos funcionais	84
5.5.4. Seleção dos materiais	85
5.5.5. Parâmetros iniciais da mistura	85
5.5.6. Estudos em argamassas	89
5.5.7. Estudos em betões	89

6. Conclusões e propostas para trabalhos futuros	91
6.1. Conclusões	91
6.2. Propostas para trabalhos futuros	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	
Anexo A. 1. ESTUDOS EM ARGAMASSAS	101
Anexo A. 1.1. COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS	103
Anexo A. 1.2. ESTUDOS REOLÓGICOS DAS ARGAMASSAS	119
Anexo A. 1.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MASSAS VOLÚMICAS DAS ARGAMASSAS	127
Anexo A. 2. ESTUDOS EM BETÕES	135
Anexo A. 2.1. COMPOSIÇÃO DOS BETÕES	137

Índice de Figuras

3.1. Diagrama cumulativo da fração volumétrica (COULTER LS 200)	19
3.2. Diagrama diferencial da fração volumétrica (COULTER LS 200)	20
3.3. Imagem geral dos agregados utilizados no presente estudo	21
3.4. Curva granulométrica dos agregados	22
3.5. Curva granulométrica dos agregados	23
3.6. Curva granulométrica real e de referência dos agregados finos naturais	25
3.7. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos naturais	26
3.8. Compacidade da mistura em função da fração volumétrica da Leca S	27
3.9. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos leves	28
3.10. Procedimento de amassadura proposto por Nepomuceno	31
3.11. Cone para ensaio de espalhamento em argamassas	32
3.12. 2ª Fase do ensaio de espalhamento	33
3.13. 3ª Fase do ensaio de espalhamento	33
3.14. 4ª Fase do ensaio de espalhamento	33
3.15. Funil V para ensaio de fluidez das argamassas	34
3.16. 2ª Fase do ensaio do funil V	35
3.17. Intervalo de variação dos parâmetros reológicos das argamassas	36
3.18. Alterações da reologia com o aumento de $S_p/p\%$ e mantendo constante V_w/V_p	37
3.19. Alterações da reologia com o aumento de V_w/V_p e mantendo constante $S_p/p\%$	37
3.20. Prensa utilizada para ensaios à compressão	38
3.21. Posicionamento do provete na prensa	39
3.22. Rotura do tipo normal	39
3.23. Sequência de amassadura proposta por Nepomuceno	43
3.24. Cone para ensaio de espalhamento em betões	44
3.25. Ensaio de espalhamento	45
3.26. Avaliação da segregação	45
3.27. Funil V para ensaio de fluidez do betão	46
3.28. 2ª Fase do ensaio do funil V	47
3.29. 3ª Fase do ensaio do funil V	47
3.30. Caixa L para o ensaio de autocompactabilidade dos betões	48
3.31. Medição do parâmetro T40	49
3.32. Medição do parâmetro H2	49
3.33. Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adotados para os betões	50
3.34. Corte longitudinal dos provetes cilíndricos	51
3.35. Ensaio de compressão	51
3.36. Rotura do tipo normal	51
3.37. Secção de um provete cilíndrico de betão autocompactável leve	52

4.1. Acerto das propriedades reológicas da argamassa de referência	54
4.2. Propriedades reológicas dos betões	57
4.3. Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para misturas binárias	60
4.4. Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para misturas binárias	60
4.5. Dosagem de superplastificante em função do consumo de cimento	61
4.6. Relação $f_{m,28}$ versus W/C para todas as famílias de argamassas	62
4.7. Relação de fad. versus W/C para todas as famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário	63
4.8. Relação de fad. em função da W/C e V_p/V_s	63
4.9. Relação de fad. em função da W/C e V_p/V_s .	65
4.10. Relação de fad. em função da W/C e V_p/V_s .	66
4.11. Propriedades reológicas de todas as amassaduras de betão autocompactável leve	69
4.12. Relação entre os parâmetros H_2/H_1 e D_m	70
4.13. Relação entre os parâmetros t e T_{40}	71
4.14. Dosagem de superplastificante em função do consumo de cimento	72
4.15. Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C	73
4.16. Relação de $f_{cm,28}$ versus $f_{cm,7}$	73
4.17. Relação entre a resistência à compressão dos betões e argamassas	74
4.18. Relação da resistência à compressão dos LWSCC e argamassas em função da razão W/C	74
4.19. Massa volúmica do betão autocompactável leve em função de V_m/V_g	75
5.1. Relação de $f_{cm,28}$ em função da razão W/C e V_m/V_g , obtida no programa Tcurve-3D	81
5.2. Relação de $f_{cm,28}$ em função da razão W/C , obtida no programa Tcurve-3D	81
5.3. Massa volúmica do betão autocompactável leve versus V_m/V_g	82
5.5. Relação entre V_p/V_s e a razão V_w/V_p	88
5.6. Relação entre V_w/V_p e $S_p/p\%$	88
Anexos:	
A.1. Estudos reológicos da argamassa A-S1	121
A.2. Estudos reológicos da argamassa A-S2	121
A.3. Estudos reológicos da argamassa A-S3	122
A.4. Estudos reológicos da argamassa A-S4	122
A.5. Estudos reológicos da argamassa A-S5	123
A.6. Estudos reológicos da argamassa A-S6	123
A.7. Estudos reológicos da argamassa A-S7	124
A.8. Estudos reológicos da argamassa A-S8	124
A.9. Estudos reológicos da argamassa A-S9	125

Índice de Tabelas

3.1. Resultados obtidos nos ensaios realizados no presente estudo	18
3.2. Propriedades do ligante fornecidas pelo fabricante	18
3.3. Propriedades da adição mineral fornecidas pelo fabricante	19
3.4. Massa específica da adição mineral	19
3.5. Parâmetros físicos do fíler calcário fornecidos pelo COULTER LS 200	19
3.6. Análise granulométrica de acordo com a E245-1971	22
3.7. Análise granulométrica de acordo com 933-1:2012	22
3.8. Propriedades dos agregados	23
3.9. Resultados obtidos para a absorção do agregado leve	24
3.10. Propriedades do superplastificante	24
3.11. Curva granulométrica real e de referência dos agregados finos naturais	25
3.12. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos naturais	26
3.13. Proporções em volume absoluto entre a Leca S e Leca 4/12	27
3.14. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos leves	28
4.1. Acerto das propriedades reológicas da argamassa de referência	54
4.2. Parâmetros relevantes das misturas	55
4.3. Dosagens teóricas calculadas	55
4.4. Parâmetros de correção em função da absorção e do teor em água superficial dos agregados	55
4.5. Dosagens de amassadura (corrigidas)	56
4.6. Correções adicionais da mistura para obtenção das propriedades reológicas	56
4.7. Dosagens efetivas	56
4.8. Ensaio no estado fresco	56
4.9. Parâmetros relevantes das misturas	59
4.10. Dosagens teóricas (efetivas)	59
4.11. Resultados obtidos no estado fresco e endurecido	59
4.12. Resultados obtidos por Nepomuceno	64
4.13. Resultados obtidos por Nepomuceno	66
4.14. Correções efetuadas nas amassaduras de betão	67
4.15. Parâmetros relevantes das misturas	68
4.16. Parâmetros de correção em função da absorção e do teor em água superficial dos agregados	68
4.17. Composição das misturas efetivas	68
4.18. Resultados obtidos no estado fresco dos betões autocompactáveis leves	69
4.19. Resultados obtidos no estado endurecido	72
4.20. Massas volúmicas obtidas nos betões autocompactáveis leves	75
4.21. Secções das amassaduras de LWSCC de provetes cilindros com Ø150 mm e 300 mm de altura	76

5.1. Composição das misturas estudadas por Bogas <i>et al.</i>	78
5.2. Elementos considerados no desenvolvimento do modelo matemático	80

Anexos:

A.1. Composição da argamassa A-S1.1	105
A.2. Composição da argamassa A-S1.2	105
A.3. Composição da argamassa A-S1.3	106
A.4. Composição da argamassa A-S1.4	106
A.5. Composição da argamassa A-S1.5	107
A.6. Composição da argamassa A-S1.6	107
A.7. Composição da argamassa A-S1.7	108
A.8. Composição da argamassa A-S2.1	108
A.9. Composição da argamassa A-S2.2	109
A.10. Composição da argamassa A-S2.3	109
A.11. Composição da argamassa A-S3.1	110
A.12. Composição da argamassa A-S3.2	110
A.13. Composição da argamassa A-S3.3	111
A.14. Composição da argamassa A-S4.1	111
A.15. Composição da argamassa A-S4.2	112
A.16. Composição da argamassa A-S4.3	112
A.17. Composição da argamassa A-S5.1	113
A.18. Composição da argamassa A-S5.2	113
A.19. Composição da argamassa A-S6.1	114
A.20. Composição da argamassa A-S6.2	114
A.21. Composição da argamassa A-S6.3	115
A.22. Composição da argamassa A-S6.4	115
A.23. Composição da argamassa A-S8.1	116
A.24. Composição da argamassa A-S8.2	116
A.25. Composição da argamassa A-S8.3	117
A.26. Composição da argamassa A-S8.4	117
A.27. Composição da argamassa A-S9.1	118
A.28. Composição da argamassa A-S9.2	118
A.29. Estudos reológicos da argamassa A-S1	121
A.30. Estudos reológicos da argamassa A-S2	121
A.31. Estudos reológicos da argamassa A-S3	122
A.32. Estudos reológicos da argamassa A-S4	122
A.33. Estudos reológicos da argamassa A-S5	123
A.34. Estudos reológicos da argamassa A-S6	123
A.35. Estudos reológicos da argamassa A-S7	124

A.36. Estudos reológicos da argamassa A-S8	124
A.37. Estudos reológicos da argamassa A-S9	125
A.38. Resistência à compressão da argamassa A-S1.6	129
A.39. Massa volúmica da argamassa A-S1.6	129
A.40. Resistência à compressão da argamassa A-S2.3	129
A.41. Massa volúmica da argamassa A-S2.3	129
A.42. Resistência à compressão da argamassa A-S3.4	130
A.43. Massa volúmica da argamassa A-S3.4	130
A.44. Resistência à compressão da argamassa A-S4.3	130
A.45. Massa volúmica da argamassa A-S4.3	130
A.46. Resistência à compressão da argamassa A-S5.2	131
A.47. Massa volúmica da argamassa A-S5.2	131
A.48. Resistência à compressão da argamassa A-S6.5	131
A.49. Massa volúmica da argamassa A-S6.5	131
A.50. Resistência à compressão da argamassa A-S7.1	132
A.51. Massa volúmica da argamassa A-S7.1	132
A.52. Resistência à compressão da argamassa A-S8.4	132
A.53. Massa volúmica da argamassa A-S8.4	132
A.54. Resistência à compressão da argamassa A-S9.2	133
A.55. Massa volúmica da argamassa A-S9.2	133
A.56. Estudos reológicos do BAC - S1.1	139
A.57. Estudos reológicos do BAL - S1.1	140
A.58. Estudos reológicos do BAL - S1.2	141
A.59. Estudos reológicos do BAL - S2.1	142
A.60. Estudos reológicos do BAL - S3.1	143
A.61. Estudos reológicos do BAL - S4.1	144
A.62. Estudos reológicos do BAL - S5.1	145
A.63. Estudos reológicos do BAL - S6.1	146
A.64. Estudos reológicos do BAL - S7.1	147
A.65. Estudos reológicos do BAL - S8.1	148
A.66. Estudos reológicos do BAL - 9.1	149

Abreviaturas

ACI	American Concrete Institute, Detroit (USA).
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
EFNARC	European Federation of National Trade Associations Representing Producers and Applicators of Specialist Building Products
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
IST	Instituto Superior Técnico.
JSCE	Japan Society of Civil Engineers.
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal).
LWSCC	Betão Autocompactável de agregados leves.
NP	Norma Portuguesa.
NWSCC	Betão Autocompactável de agregados naturais.
UBI	Universidade da Beira Interior.

Simbologia

Alfabeto latino:

A%	Absorção do agregado leve, expressa em percentagem referida à massa do agregado seco
a ₁	Percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/2
a ₂	Percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/4
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
C	Volume de CEM I 42,5 R, em kg/m ³
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₃ S	Silicato tricálcico
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
CR	Cloretos
Cv	Coefficiente de variação de um conjunto de valores
D ₀	Diâmetro inicial na base do cone, em mm
di	Diâmetro das partículas, em µm
Dm	Diâmetro médio de espalhamento, em mm
f _{ad} .	Percentagem unitária da adição no volume absoluto do total de materiais finos da mistura (Vp) (ou percentagem unitária de substituição do cimento pela adição)
FC	Volume de fíler calcário, em kg/m ³
fc1	Percentagem unitária em volume absoluto do cimento tipo I 42,4R
f _{cm, 28}	Resistência à compressão dos LWSCC aos 28 dias de idade, em MPa
f _{cm, 7}	Resistência à compressão dos LWSCC aos 7 dias de idade, em MPa
Fe ₂ O ₃	Óxido de ferro
ffc	Percentagem unitária em volume absoluto do fíler calcário
f _{m, 28}	Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade, MPa
f _{m, 7}	Resistência à compressão das argamassas aos 7 dias de idade, em MPa
g ₁	Percentagem unitária em volume absoluto de Brita 3/6
g ₂	Percentagem unitária em volume absoluto de Brita 6/15
g ₃	Percentagem unitária em volume absoluto de Leca S
g ₄	Percentagem unitária em volume absoluto de Leca 4/12
Gc	Área de espalhamento relativa no ensaio de espalhamento do betão
Gm	Área de espalhamento relativa
H%	Teor de água superficial dos agregados
H1	Altura do betão na coluna vertical da caixa L, em mm
H2	Altura do betão na extremidade da caixa L, em mm
H2/H1	Razão entre a altura do betão na extremidade da caixa L (H2) e na coluna

	vertical (H1), em mm
HR	Humidade relativa
K ₂ O	Óxido de potássio
M	Massa do provete seco até massa constante, em kg
M ₁	Massa do provete saturada com superfície seca, em kg
MgO	Óxido de magnésio
MN	Produto do parâmetro (Vp/Vs) pelo parâmetro (Vm/Vg)
M _{sat}	Massa volúmica do provete saturado com superfície seca, em kg/m ³
Na ₂ O	Óxido sódio
R7/28	Relação entre os valores médios de resistência à compressão do betão aos 7 e 28 dias de idade
Rc	Velocidade relativa de escoamento no ensaio de fluidez do betão, em s ⁻¹
Rm	Velocidade relativa de escoamento, em s ⁻¹
Sd	Desvio padrão de um conjunto de valores
SiO ₂	Sílica
SO ₃	Sulfatos
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
T	Temperatura, em ° C
T20	Tempo que o betão demora a percorrer a distância de 20 cm na caixa L após abertura da comporta, expresso em s
T40	Tempo que o betão demora a percorrer a distância de 40 cm na caixa L após abertura da comporta, expresso em s
V	Volume do provete, em m ³
VC1	Volume absoluto de cimento tipo I 42,5R, em m ³ /m ³
VFC	Volume absoluto de fíler calcário, em m ³ /m ³
Vg	Volume absoluto de agregados grossos na mistura, em m ³ /m ³
V _{g3}	Volume do agregado grosso 3 (Leca S), em m ³ /m ³
V _{g4}	Volume do agregado grosso 4 (Leca 4/12), 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
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/Vm	Razão em volume absoluto entre o volume de agregados finos e as quantidades de argamassa

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_{sp}	Volume de superplastificante da mistura, em m^3/m^3
V_{sp}/V_p	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	Volume de água na mistura, em l/m^3
W/C	Razão em massa entre as quantidades de água e de cimento da mistura
W/F	Razão em massa entre as quantidades de água e de materiais finos da mistura
W/MC	Razão em massa entre as quantidades de água e de materiais cimentícios da mistura

Alfabeto grego:

δ	Massa volúmica, em kg/m^3
δ_{C1}	Massa volúmica do CEM I 42,5, em kg/m^3
δ_{fc}	Massa volúmica do fíler calcário, em kg/m^3
δ_{gi}	Massa volúmica do agregado grosso, em kg/m^3
δ_{Sat}	Massa volúmica do provete saturado, em kg/m^3
δ_{seca}	Massa volúmica do provete seco em estufa a 100°C, até massa constante, em kg/m^3
δ_{si}	Massa volúmica do agregado fino, em kg/m^3
ΔS_p	Varição da dosagem de superplastificante em valor absoluto (l/m^3) face ao valor inicial
$\Delta SP\%$	Varição da dosagem de superplastificante em valor absoluto (l/m^3), expressa em percentagem do valor inicial calculado para a mistura
δ_{sp1}	Massa volúmica do adjuvante, em kg/m^3
ΔW	Varição da dosagem de água em valor absoluto (l/m^3) face ao inicial
$\Delta \delta$	Perda de massa, em kg/m^3

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Durante os últimos anos, os trabalhos de investigação relacionados com o material do betão estrutural têm incidido na melhoria de algumas características importantes de forma a produzir variedades de betão que exibam propriedades mecânicas e físicas superiores às definidas nas normas e regulamentos [34].

O betão é o material mais utilizado na construção civil devido à sua excelente versatilidade, disponibilidade e economia [18], sendo composto por uma mistura de cimento, areia, pedra e água, além de outros materiais como aditivos e adições. Apesar de todas as vantagens associadas ao uso de betão em infraestruturas de Engenharia Civil, a sua utilização é por vezes limitada em algumas estruturas por causa do seu elevado peso próprio em relação a outros materiais de construção [18].

Atualmente surgiu o estudo de um novo betão, que consiste na incorporação de agregados leves em substituição dos agregados naturais de massa volúmica normal, designado por betão autocompactável leve. Este combina as vantagens da autocompactabilidade com as do betão leve [15].

Este betão apresenta vantagens tais como a redução do peso próprio das estruturas pela baixa densidade dos agregados leves, reduzindo as áreas das secções transversais. Assim, os custos de construção podem ser menores a longo prazo quando aplicado em estruturas, tais como, pontes e edifícios altos [4,16]. Outras vantagens são a baixa densidade dos agregados leves bem como a autocompactabilidade que é uma propriedade única para evitar a segregação [16].

Nos betões autocompactáveis leves a trabalhabilidade é um factor crucial, sendo essencial garantir no estado fresco uma alta fluidez, deformabilidade, boa capacidade de enchimento e resistência à segregação [44]. Uma adequada trabalhabilidade pressupõe necessariamente, entre outros aspetos, a obtenção de uma adequada autocompactabilidade [22].

A resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e massa volúmica são propriedades a ter em conta no estado endurecido, indispensáveis para um correto dimensionamento e avaliação do comportamento das estruturas com o passar do tempo [4,22]. Os resultados obtidos relativamente a estes parâmetros por vezes indesejados devem-se a algumas propriedades dos agregados leves [4]. Estes apresentam elevada porosidade, que resulta numa baixa massa volúmica. Sendo assim, é necessária atenção especial na escolha dos agregados leves a utilizar, pois nem todos permitem alcançar as resistências e massas volúmicas exigidas. Outros aspetos importantes no betão autocompactável leve são a zona de transição entre a fase agregado e a fase pasta que é diferente do betão convencional e a quantidade de água interna, aspetos que afetam negativamente as suas propriedades reológicas [44].

As propriedades reológicas dos betões autocompactáveis, ou seja, tensão de corte e viscosidade plástica, podem ser medidos com recurso a reómetros. Contudo, são utilizados ensaios alternativos para a sua avaliação, como o ensaio de espalhamento (*Slump Flow*), o ensaio de fluidez, o ensaio da caixa U, o ensaio da caixa e o ensaio da caixa L, pois revelaram-se mais económicos e essenciais à caracterização de outros parâmetros fundamentais [22].

As partículas de agregados leves devem ter uma distribuição uniforme no betão e um risco mínimo de segregação durante o processo de transporte e colocação, sendo um passo importante na análise da sua viabilidade [15,44]. Outro aspeto relevante é a capacidade de resistência à compressão no estado endurecido, que devido às características dos agregados leves porosos é relativamente baixa e a capacidade de absorção é elevada. Por isso é necessário uma quantidade de cimento razoável para garantir uma resistência à compressão e trabalhabilidade adequada [16]. Para melhorar a trabalhabilidade do betão e diminuir o consumo de superplastificante, têm sido utilizadas adições do tipo I ou adições do tipo II, como exemplo o fíler calcário e cinzas volantes, respetivamente.

Com o surgimento do betão autocompactável foi desenvolvido uma nova geração de superplastificante à base de policarboxilatos modificados, adequados a este tipo de betão, que têm vindo a melhorar ao longo dos últimos anos.

Em Portugal a utilização de agregados leves em betões autocompactáveis ainda não tem a visibilidade pretendida devido à falta de empresas com o conhecimento adequado para controlo dos agregados leves, durante o transporte e colocação em obra [39]. O seu desenvolvimento está inteiramente relacionado com a disponibilidade dos agregados leves nos diferentes países. Em Portugal são usadas as argilas expandidas com o nome comercial LECA, com uma gama de resistência disponível limitada [39].

É necessário mencionar, que o desenvolvimento de um novo betão é sempre combinado com a falta de normas, informação e experiência [15]. Na literatura existem poucos estudos sobre o uso de agregados leves na produção de betão autocompactável. No entanto a maioria dela está focada na trabalhabilidade ou reologia adequadas à autocompactabilidade do betão leve [4]. Também segundo a EFNARC 2009, atualmente o estudo sobre a resistência à segregação é realizada segundo o método da observação visual e a estabilidade do volume do betão autocompactável leve e a uniformidade de distribuição dos agregados é pouco tratada. No entanto é de grande significado prático para o estudo da viabilidade do betão autocompactável leve [44].

1.2. Objetivos e justificação do tema proposto

O interesse sobre o estudo de betões autocompactáveis foi demonstrado pela signatária, surgindo com base no conhecimento adquirido na unidade curricular de Estudo e Aplicação de Betões Especiais, sendo posteriormente proposto pelo Prof. Doutor Miguel Nepomuceno o estudo

de betões autocompactáveis com a introdução de agregados leves. O desenvolvimento da dissertação segundo este tema despertou interesse de imediato, dado às vastas qualidades oferecidas pelos materiais leves.

O presente estudo tem por objetivo definir os parâmetros para a composição de betões autocompactáveis com a incorporação de agregados leves de argila expandida em substituição dos agregados naturais de massa volúmica normal, visando a adequação da metodologia proposta por Nepomuceno [22] para os betões autocompactáveis de massa volúmica normal. Espera-se obter resultados e conclusões relevantes que possam vir a estimular a sua utilização em trabalhos futuros.

1.3. Metodologia de trabalho

Visando a concretização dos objetivos definidos para o presente estudo, delineou-se inicialmente uma metodologia de trabalho que a seguir se resume.

O critério de seleção dos materiais teve como premissa o facto dos betões a produzir poderem ser designados de “*sand-lightweight concrete*” de acordo com o ACI 318 [1]. Em consequência, apenas se selecionou areia natural como agregado fino, distribuída por duas granulometrias, a Areia 0/2 e a Areia 0/4. Os agregados grossos foram constituídos apenas por agregados leves de argila expandida, distribuídos por duas granulometrias, a Leca 5 e a Leca 4/12, esta última com a máxima dimensão de 12,7 mm. Tendo em conta a previsível necessidade de reforçar a fase argamassa em betões de agregados leves, foi selecionado apenas o cimento CEM I 42,5R, correspondendo ao cimento de maior resistência disponível nos laboratórios de Construção da UBI. Adicionalmente, selecionou-se uma adição de fíler calcário de modo a possibilitar a substituição parcial do cimento e a obtenção de diferentes níveis de resistência. Como adjuvante selecionou-se o superplastificante Sika ViscoCrete 3005 à base de policarboxilatos modificados e com o qual já se possuía experiência na produção de betões da gama de densidade normal. Não se estabeleceu como premissa a classe da massa volúmica a obter para os betões de agregados leves, sendo essa massa volúmica avaliada no final do trabalho.

A caracterização dos materiais selecionados para este trabalho viria mais tarde a ser incluída na descrição do programa experimental, com o subtítulo “*Materiais utilizados*”.

Assumiu-se que a metodologia a adotar no estudo da composição dos betões estruturais autocompactáveis de agregados leves, adiante designados abreviadamente pela sigla (LWSCC) deveria seguir tanto quanto possível a metodologia para betões autocompactáveis de massa volúmica normal, adiante designados abreviadamente por (NWSCC), proposta por Nepomuceno [22], com as adaptações necessárias, que constitui aliás o objetivo da presente investigação.

Com o objetivo de adaptar a metodologia proposta por Nepomuceno [22] aos LWSCC, analisaram-se as diferentes fases dessa metodologia e perspetivaram-se as adaptações eventualmente necessárias. Assim, colocaram-se, desde logo, as seguintes interrogações:

- 1) Quais as curvas de referência a adotar para os agregados finos e para os agregados grossos?
- 2) Quais as propriedades das argamassas adequadas à produção de LWSCC? Qual a percentagem de substituição do cimento pela adição para obter a razão W/C pretendida e qual a estimativa de V_w/V_p e $S_p/p\%$ a usar nos ensaios iniciais da argamassa?
- 3) Qual a relação entre a resistência à compressão do betão aos 28 dias e a razão W/C? Existem outros parâmetros para além da razão W/C que afetam a resistência do LWSCC? Em termos de trabalhabilidade, qual a relação entre os parâmetros V_p/V_s , V_m/V_g , D_m e H_2/H_1 ? Como avaliar a segregação estática?

As respostas a estas questões seriam alcançadas através da pesquisa bibliográfica e da execução de uma campanha experimental suportada por amassaduras experimentais, sendo que a ordem dessas respostas corresponderia basicamente à sequência dos trabalhos laboratoriais, com as necessárias adaptações que os resultados entretanto obtidos viessem a justificar. Assim, a metodologia preconizada incluiu inicialmente as três seguintes fases:

Fase 1- Resposta à questão 1

A resposta à questão 1 seria concretizada através do estudo dos agregados. No que respeita aos agregados finos, a curva de referência a usar seria a mesma proposta por Nepomuceno [22], pois os agregados finos seriam constituídos apenas por agregados naturais. Quanto aos agregados grossos, poderia eventualmente usar-se a mesma curva granulométrica de referência proposta por Nepomuceno [22]. No entanto, os agregados leves apresentam-se com um índice volumétrico superior aos agregados naturais, por apresentarem uma forma geométrica semelhante a uma esfera, o que poderá influenciar a baridade dos agregados.

Em semelhança do procedimento adotado por Nepomuceno [22] para os agregados grossos naturais, considerou-se adequado analisar experimentalmente a melhor proporção entre os dois agregados leves conducente à compacidade máxima. Os ensaios a realizar incluiriam a medição da baridade e compacidade de diferentes misturas, correspondentes a diferentes proporções volumétricas dos dois agregados leves. A proporção que conduzisse à máxima compacidade seria aquela a usar como curva de referência. Caso se viesse a concluir que a curva de referência assim determinada não apresentava diferenças significativas face àquela proposta por Nepomuceno, então dar-se-ia preferência à curva proposta por Nepomuceno, o que facilitaria a adequação do método. Esta fase viria mais tarde a ser descrita na campanha experimental, repartida pelos subtítulos “*Materiais utilizados*” e “*Curvas granulométricas de referência dos agregados*”.

Fase 2- Resposta à questão 2

A resposta à questão 2 seria concretizada através de estudos prévios em argamassas e em betões com agregados naturais e agregados leves. A resposta a esta questão poderia resultar, à partida, mais complexa, caso se viesse a verificar a necessidade de se ajustar a reologia da argamassa.

Preconizou-se que numa primeira etapa seria produzida uma argamassa adequada à produção de betões autocompactáveis de massa volúmica normal, com V_p/V_s de 0,80 e percentagem de substituição do cimento por fíler calcário de 60%, registando-se os parâmetros G_m e R_m . Com essa argamassa seria produzido um betão autocompactável de massa volúmica normal usando a razão V_m/V_g de 2,28 e registados os resultados de G_c (espalhamento) e de R_c (fluidez no funil V), podendo eventualmente registrar-se o resultado H_2/H_1 na caixa L.

Na segunda etapa, o mesmo volume absoluto de agregados grossos naturais do betão estudado na primeira etapa seria substituído por agregados grossos leves e o betão seria produzido e ensaiado para avaliar os parâmetros G_c (espalhamento) e R_c (fluidez no funil V), podendo eventualmente registrar-se o resultado H_2/H_1 na caixa L. Seriam então comparados os valores de G_c e R_c obtidos nos dois tipos de betões. Se a diferença fosse desprezável isso significaria que as propriedades reológicas das argamassas propostas por Nepomuceno [22] para os NWSCC seriam adequadas à produção dos LWSCC. Caso contrário, se a diferença fosse significativa, isto significaria que as propriedades da argamassa não eram adequadas. Nesse caso, seguir-se-ia uma terceira etapa para o ajustamento nas dosagens de V_w/V_p e $Sp/p\%$ e obtenção dos parâmetros relevantes.

A terceira etapa, a ser necessária, como se referiu, corresponderia ao ajustamento das dosagens de V_w/V_p e $Sp/p\%$ até que se obtivessem as propriedades reológicas adequadas dos betões em termos de G_c e de R_c . Na realidade, este procedimento é semelhante ao que se utiliza no acerto das argamassas. Obtidos os valores de V_w/V_p e $Sp/p\%$ seria efetuada uma argamassa com esses parâmetros e os valores de G_m e de R_m ditariam as propriedades adequadas da fase argamassa. Nesta etapa seria ainda necessário obter novas relações entre a percentagem de substituição do cimento pela adição e a razão W/C pretendida. Nesse caso, o parâmetro V_p/V_s seria mantido fixo em todo o estudo, uma vez que o tempo disponível para a realização da presente investigação era relativamente curto, assumindo V_p/V_s o valor de 0,80. Para estudar a relação entre a percentagem de substituição do cimento pela adição e a razão W/C pretendida, seriam produzidas mais cinco argamassas com os novos valores de G_m e R_m , utilizando percentagens de substituição do cimento por adição de 0, 20, 30, 40 e 50%. Esses resultados seriam apresentados graficamente no modelo a desenvolver para estimar os parâmetros da mistura.

A Fase 2 veio posteriormente a ser descrita na campanha experimental com o subtítulo “Reologia da fase argamassa”.

Fase 3- Resposta à questão 3

A resposta à questão 3 corresponderia à fase mais extensa do trabalho e seria concretizada através de ensaios no estado fresco e endurecido, quer das argamassas de densidade normal, quer dos betões autocompactáveis de agregados leves. Pela quantidade de informação envolvida e pela necessidade da própria metodologia em separar os estudos em argamassas dos estudos em betões, esta fase viria mais tarde a ser designada na campanha experimental com os subtítulos “*Estudos em argamassas*” e “*Estudos em betões*”.

A revisão bibliográfica, no caso dos betões estruturais vibrados de agregados leves, permitiu identificar, para além da razão W/C e da resistência da fase argamassa, vários parâmetros associados ao agregado leve como passíveis de afetar a resistência à compressão, entre eles, o volume, o tipo de agregado, a sua forma e a resistência ao esmagamento [5]. Uma vez que no presente estudo apenas se selecionou um tipo de agregado leve excluíram-se os fatores relativos ao tipo de agregado, à sua forma e à resistência ao esmagamento das partículas. Para além disso, o efeito da resistência da fase argamassa poderia ser avaliado indiretamente pela razão W/C, uma vez que existe uma boa relação entre estes dois parâmetros. Assim, pretendeu-se indagar sobre a influência na resistência resultante da variação da razão W/C e do volume de agregados leves, expresso em termos de V_m/V_g , por ser um dos parâmetros da mistura.

Com base nas premissas assumidas, estabeleceu-se que os betões autocompactáveis de agregados leves a produzir deveriam incluir diferentes razões V_m/V_g e, simultaneamente, diferentes razões W/C em massa, compreendidas entre os 0,28 e os 0,60. Contudo, uma vez que a resposta à questão relativa à resistência deveria ocorrer concomitantemente com a resposta relativa à trabalhabilidade, seria ainda necessário considerar a variável V_p/V_s .

Atendendo a que a utilização de muitas combinações de valores (V_m/V_g ; V_p/V_s ; razão W/C) poderiam comprometer os prazos estabelecidos para a concretização do trabalho, entendeu-se selecionar apenas valores de V_m/V_g e de V_p/V_s que, à partida, oferecessem garantias de obtenção de betões autocompactáveis e que simultaneamente correspondessem a valores extremos propostos na metodologia de Nepomuceno. Assim, optou-se por fixar dois pares de valores ($V_m/V_g=2,28$; $V_p/V_s=0,80$) e ($V_m/V_g=2,60$; $V_p/V_s=0,70$), ambos conducentes a um parâmetro MN (número de mistura) de 1,82. Para cada par de valores de V_m/V_g e V_p/V_s deveria fazer-se variar a razão W/C entre os 0,28 e os 0,60, mediante a combinação de diferentes proporções entre o cimento CEM I 42,5 R e a adição de fíler calcário.

Face à metodologia proposta por Nepomuceno [22], o estudo das argamassas é feito separadamente do estudo dos betões, pelo que a sequência deveria traduzir-se na produção de nove famílias de argamassas, combinando valores de V_p/V_s de 0,80 e 0,70 com diferentes famílias de finos, ou seja, diferentes percentagens de substituição do ligante por adição. Posteriormente, na fase betão, cada uma dessas argamassas com V_p/V_s de 0,80 seria utilizada para produzir um betão autocompactável com V_m/V_g de 2,28, enquanto as argamassas com V_p/V_s de 0,70 seriam utilizadas para produzir betões com V_m/V_g de 2,60.

Relativamente à segregação estática, constatou-se que na bibliografia tinham sido já propostos vários métodos para avaliar esta propriedade em betões autocompactáveis de densidade normal [38], mas poucas eram as propostas para os betões autocompactáveis de agregados leves [3]. Atendendo aos recursos disponíveis, entendeu-se que a resposta a esta questão poderia ser materializada através da produção de cilindros com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura moldados com os diferentes betões produzidos ao longo da campanha experimental. Após 24

horas, os provetes seriam desmoldados, cortados no sentido longitudinal e seria analisada qualitativamente a distribuição dos agregados leves, com o respetivo registo fotográfico.

1.4. Organização da dissertação

O presente estudo encontra-se estruturado em 6 capítulos, incluindo esta introdução, os quais se organizam do seguinte modo:

O Capítulo 2 apresenta um levantamento do estado da arte, incluindo o desenvolvimento do betão ao longo dos anos; as propriedades do LWSCC no estado fresco e endurecido; vantagens e desvantagens do LWSCC; metodologia de base.

No Capítulo 3 descreve-se o programa experimental realizado, subdividido em cinco subcapítulos, incluindo: introdução; materiais utilizados; curvas granulométricas de referência dos agregados; reologia da fase argamassa; estudos em argamassas e estudos em betões.

No Capítulo 4 apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos e de forma semelhante ao capítulo anterior, subdividiu-se em três subcapítulos, nomeadamente, introdução; reologia da fase argamassa; o estudo em argamassas e o estudo em betões.

No Capítulo 5 é apresentada a metodologia proposta para o estudo da composição dos betões autocompactáveis de agregados leves, subdividido em, introdução; outros estudos considerados; modelo para estimativa da resistência à compressão; modelo para estimativa da massa volúmica e desenvolvimento da proposta.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões do estudo efetuado e algumas propostas para trabalhos futuros nesta área.

2. Estado-da-arte

2.1. Introdução

São ainda escassos os estudos sobre betões autocompactáveis de agregados leves. Nos estudos analisados na bibliografia foram observadas as principais condições a garantir no betão autocompactável leve para a obtenção de resultados satisfatórios. As conclusões de alguns desses estudos serviram de apoio para o desenvolvimento da investigação que se apresenta neste trabalho. Para além desses estudos, este capítulo apresenta uma síntese do desenvolvimento do betão ao longo dos anos e o que influenciou o surgimento do LWSCC. São ainda abordadas as principais vantagens e desvantagens do betão autocompactável leve e analisadas as propriedades no estado fresco e estado endurecido. Por fim, apresenta-se uma breve descrição das principais etapas da metodologia que serviu de base ao presente estudo.

2.2. Desenvolvimento do betão

Nas antigas civilizações, os Romanos exploraram as possibilidades deste material com mestria em diversas obras, casas, templos, pontes e aquedutos, muitos dos quais chegaram aos nossos dias e são exemplos do elevado nível atingido pelos construtores Romanos. Posteriormente e até ao século XVIII o betão tem uma utilização reduzida, quase exclusivamente limitada às fundações e ao interior de paredes de alvenaria [2].

Durante os últimos anos, os trabalhos de investigação relacionados com o material do betão estrutural têm incidido na melhoria de algumas características importantes de forma a produzir variedades de betão que exibam propriedades mecânicas e físicas superiores às definidas em normas e regulamentos [34]. Hoje em dia existem vários tipos de betão dos quais se destaca, o betão vibrado e o betão autocompactável, que se distinguem pela necessidade e pela ausência de vibração ou qualquer outra forma de compactação, respetivamente. Cada um destes tipos de betões pode ser subdividido em betão de massa volúmica normal ou betão leve, ou ainda em betão da gama de resistência normal ou alta. Quando são adicionadas fibras metálicas, poliméricas ou naturais, estes betões adquirem a designação genérica de betões reforçados com fibras.

O betão vibrado, aplicado correntemente nas estruturas depende essencialmente de uma compactação eficiente durante a colocação, para atingir a resistência e durabilidade exigidas. Uma compactação insuficiente tem como consequência uma redução drástica do desempenho estrutural, independentemente de serem utilizadas as melhores técnicas de produção, transporte e colocação, e para além de exigir mão-de-obra especializada que tem vindo a escassear no ramo da construção [22].

Nas estruturas de betão armado e pré-esforçado o peso próprio constitui uma ação geralmente predominante no dimensionamento das mesmas [40]. Sendo assim, é evidente que o uso de betões leves reduz consideravelmente o peso dos materiais e torna a construção mais económica [21]. Sendo assim houve uma grande importância ligada ao betão com agregados leves, que segundo Bruno Silva [39], também os Romanos já conheciam as suas qualidades, tendo executado algumas aplicações estruturais, com recurso à combinação de um ligante à base de cal com rochas vulcânicas. O primeiro registo do uso de betão leve, na construção, remonta à época pré-colombiana (1100 a.C.), com uma mistura de pedra-pomes com ligante à base de cinzas volantes e cal.

Os agregados leves à base de agregados artificiais apareceram por volta dos anos 20 do século passado. Apesar da descoberta da argila expandida remontar a 1885, só em 1918 é que o agregado foi fabricado e empregado no betão. Estes agregados, apresentavam menor densidade, mas o betão fabricado com eles tinha aproximadamente a mesma resistência que o betão normal. A produção comercial de argila expandida começou no ano de 1928 nos Estados Unidos da América. Hoje em dia, é o agregado mais aplicado nos betões leves, podendo-se afirmar que 70% da produção de agregado leve é de argila expandida. Na Europa as primeiras unidades industriais de produção de agregados leves começou a partir de 1938/1939, inicialmente nos países nórdicos, pois devido ao seu clima rigoroso existe a necessidade de introduzir na construção materiais com boas características de isolamento [39].

Em Portugal, a utilização de agregados leves ainda não tem a visibilidade desejada, só se usando argilas expandidas (LECA), com uma gama de resistências limitada. Um dos principais factores que contribui para uma reduzida utilização do betão leve no nosso país é a inexistência de empresas de betão pronto, que possuam a capacidade de caracterização, controlo dos agregados leves, e conhecimento relacionado com o transporte e colocação em obra [39].

A dada altura, sendo a durabilidade das estruturas de betão uma grande medida de qualidade de produção, passou a ser motivo de grande interesse por parte da comunidade científica em virtude dos custos astronómicos de reparação e reabilitação das estruturas de betão [6]. Sensivelmente no ano de 1983, este problema passou a ser de maior interesse para o Japão. A falta de operários especializados e a manifestação de problemas de saúde bem como o ruído incomodativo no local e na zona circundante, conduziu à necessidade do desenvolvimento de um novo tipo de betão proposto por Okamura em 1986, tendo como objetivo uma maior homogeneidade e uma melhoria na durabilidade das estruturas independente da qualidade dos trabalhos de compactação, vindo a ser designado por betão autocompactável.

Ao longo do desenvolvimento do betão autocompactável, o número de aplicações práticas foi crescendo, no início, mais intensamente no Japão e depois em alguns países da Europa e no exterior [34].

Atualmente surgiu o estudo de um novo betão, designado por betão autocompactável leve (LWSCC), que combina as vantagens do betão autocompactável de massa volúmica normal

(NWSCC) com as do betão leve, considerando as propriedades dos materiais em especial a massa volúmica e as excelentes propriedades como isolante térmico [15]. A sua utilização tem sido, cada vez mais, adotada em inúmeros projetos e aplicações devido ao seu bom comportamento mecânico e durabilidade.

2.3. Betão autocompactável de agregados leves

2.3.1. Estado fresco

Os betões autocompactáveis de agregados leves devem apresentar alta fluidez, deformabilidade, boa capacidade de enchimento, resistência à segregação e trabalhabilidade adequada no estado fresco.

Nos betões autocompactáveis, a trabalhabilidade pode ser genericamente definida como a maior ou menor facilidade com que o betão é manuseado e a maior ou menor facilidade com que este preenche todos os espaços da cofragem pela ação do peso próprio, conservando a sua estabilidade e uma qualidade uniforme sem defeitos.

Com a vibração do betão simples os agregados grossos movem-se criando “segregação”, sendo a autocompactação uma propriedade única para evitá-la [4]. Pelo exposto, segundo Choi *et al.* [4], o betão leve exige uma metodologia de cálculo específica, diferente do betão convencional. Usar o método de estudo da composição do betão convencional poderia dar origem à segregação do material, bem como uma menor resistência devido ao peso reduzido do agregado. Para evitar tais problemas, recomenda a aplicação do método de mistura do NWSCC de alto desempenho para o LWSCC, sendo o mais popular desenvolvido pelo professor OKAMURA [4]. A utilização deste método foi também proposta por Nepomuceno [22], apresentando ajustes, com base em estudos laboratoriais, e posteriormente uma metodologia de cálculo para os NWSCC. Além disso, a distribuição uniforme do agregado leve e o risco mínimo de segregação deve ser mantido durante o processo de transporte e colocação em obra [44].

Extensas investigações sobre trabalhabilidade do NWSCC foram realizadas na América do Norte e Europa e vários teste e métodos foram usados para a avaliação da autocompactabilidade do LWSCC no estado fresco semelhantes aos usados para o NWSCC [44].

O desenvolvimento dos betões leves nos diferentes países está diretamente relacionado com a disponibilidade de recursos de agregados leves. Na Alemanha e Noruega os agregados leves mais frequentes são as argilas expandidas (Liapor e Leca), existindo uma ampla gama de resistências. Em Espanha e Portugal usam-se com maior frequência argilas expandidas (Arlite e Leca, respetivamente), mas a gama de resistência é mais limitada. Na Holanda é usual a utilização de agregados leves produzidos a partir de cinzas volantes (Lytag e Aardelite), sendo a situação do Reino Unido semelhante. Nos Estados Unidos usam-se variados tipos de xistos expandidos [39].

Atualmente existem já alguns estudos utilizando materiais leves tais como, tufo, pedra-pomes, diatomite e argila expandida. Outros materiais como calcário e cinzas volantes foram utilizados para preencher os vazios e equilibrar a viscosidade do betão no estado fresco [4,41].

Nepomuceno [22], reportou que os ensaios de espalhamento e fluidez (Funil V) são adequados à avaliação das propriedades reológicas do NWSCC, enquanto os ensaios da caixa U, caixa e caixa L, podem ser utilizados para avaliar a trabalhabilidade (autocompactabilidade) do NWSCC. O método da estabilidade visual e o GMT-Test são geralmente utilizados para estimar a resistência do NWSCC em relação à segregação [38]. Da mesma forma, outros autores utilizaram os mesmos testes e o método da observação visual para avaliar as propriedades do LWSCC [3, 4, 14, 16, 19, 17] e não detetaram diferenças significativas nas misturas, exceto o agregado utilizado.

Relativamente aos ensaios mencionados anteriormente, foram definidos intervalos para os seus parâmetros correspondentes conducentes à obtenção das propriedades reológicas (G_c , R_c) adequadas. O diâmetro médio de espalhamento (*Slump Flow*) deve estar compreendido entre 550 e 750 mm [3, 4, 14, 16, 17], o tempo de escoamento (t) medido no funil V deve situar-se entre 7 a 20 segundos [4, 17]. No ensaio da caixa L a razão H_2/H_1 deverá ser superior a 0,8; durante o escoamento do betão na caixa L é usual medir-se o tempo que o betão demora a percorrer 20 cm (T_{20}) e 40 cm (T_{40}), ambos medidos a partir da comporta [17, 44]. Os parâmetros apresentados, comparativamente aos apresentados por Nepomuceno [22] para os NWSCC, não apresentam dissemelhanças.

Nos estudos realizados até hoje sobre betões autocompactáveis de agregados leves foram definidos alguns parâmetros e premissas conducentes a resultados satisfatórios. Um aspeto relevante no estudo das propriedades das misturas de LWSCC no estado fresco é o volume de agregados leves. Choi Y *et al.* [4], concluíram que misturas com uma percentagem elevada de agregado fino leve conduz ao aumento do tempo no funil V e conseqüentemente à diminuição do diâmetro médio de espalhamento. Isto deve-se à baixa força de arrastamento que os LWSCC apresentam sem a incorporação de agregados grossos leves. Também Bogas *et al.* [3], utilizando apenas agregado grosso leve (Leca) obtiveram resultados satisfatórios no estado fresco para LWSCC com razões de V_m/V_g (relação em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos leves) compreendido entre 2,0 e 2,6 e propondo para o volume de vazios (V_v) o mesmo intervalo proposto por Okamura *et al.* [36] para NWSCC, entre 0,3 e 0,4.

Segundo Bogas *et al.* [3], para a obtenção de adequadas propriedades de autocompactabilidade e adequada resistência à segregação, a razão volumétrica entre o volume de materiais finos e o volume de agregados finos (V_p/V_s) deverá situar-se entre 0,55 e 0,75. Concluindo também que a razão volumétrica entre as quantidades totais de água e de materiais finos na mistura (V_w/V_p) deve situar-se entre 0,80 e 0,90. Sam *et al.* [45] também propuseram como adequadas razões de V_w/V_p entre 0,85 e 1,00.

O intervalo apresentado para a razão (V_m/V_g) foi também proposto por Nepomuceno [22] para NWSCC, bem como uma razão para (V_p/V_s) entre 0,60 e 0,80, reforçando assim a conclusão de que as propriedades dos NWSCC são adequadas à obtenção de LWSCC.

2.3.2. Estado endurecido

No estado endurecido a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e massa volúmica são propriedades a ter em conta, indispensáveis para um correto dimensionamento e avaliação do comportamento das estruturas com o passar do tempo [4]. Uma vez que no presente estudo só se avaliou a resistência à compressão e massa volúmica do LWSCC, em seguida apenas se faz referência a estudos existentes sobre a resistência à compressão dos LWSCC.

Quando o betão fissura fica suscetível a ser atacado por substâncias prejudiciais, o que vai provocar problemas de durabilidade e reduzir a qualidade em serviço. Isto está relacionado com a quantidade de água da mistura e qualidade de cura, sendo assim, limita-se a quantidade de água e reduz-se a quantidade de cimento [16], visto que a utilização de menores quantidades de cimento reduz o fornecimento C_3A e C_3S , que conseqüentemente reduz a expansão do betão e evita a reação alcali-agregado ou o ataque de sulfatos [16].

Os agregados leves apresentam uma baixa resistência à compressão e módulo de elasticidade, sendo um dos pontos mais importantes o estudo das suas propriedades para a obtenção de resultados satisfatórios. Pelo exposto, a resistência à compressão depende da proporção de agregados leves na mistura [4]. Segundo Choi Y *et al.* [4], misturas com 100% de agregados grossos leves apresentam uma diminuição de resistência à compressão mais acentuada do que misturas com uma percentagem inferior a 75%.

Tal como a proporção de agregados leves [4], também a quantidade de água na mistura influencia a resistência à compressão. HWang *et al.* [16], concluíram que mantendo fixa a razão água/massa cimentícia e aumentando a quantidade de água a resistência à compressão aos 91 dias aumenta, obtendo resistências na ordem dos 50 a 56 MPa. Grabois *et al.* [14], obtiveram resistências à compressão aos 28 dias para LWSCC com argila expandida em torno dos 35 MPa. Também Zhimin *et al.* [44], obtiveram resistências à compressão na ordem dos 50 MPa aos 28 dias de cura, para LWSCC com xisto expandido, concluindo que o betão autocompactável leve tem um crescimento de resistência à compressão mais acentuado nos primeiros dias de cura. Segundo HWang *et al.* [16] e Kestemont [17], a razão W/C deverá ser superior a 0,42.

Topçu *et al.* [41], produziram LWSCC com diferentes tipos de agregados leves, tais como, tufo, pedra-pomes e diatomite. Através do seu estudo, concluíram que os melhores resultados de resistência à compressão foram obtidos para LWSCC com pedra-pomes, devido ao alto bloqueio da pasta de cimento e à superfície semiporosa do agregado. E a menor resistência à compressão foi obtida para LWSCC com diatomite, devido à elevada fraqueza do agregado e da fraca ligação

na zona de transição da pasta de cimento e o agregado leve. Para contornar o problema é corrente a utilização de material pozolânico [16].

A massa volúmica dos betões autocompactáveis leves é pouco tratada em estudos de betões autocompactáveis leves, sendo avaliada apenas para classificação estrutural, contudo após uma análise pormenorizada da bibliografia existente conclui-se importante uma análise mais detalhada deste parâmetro. Alguns autores [3,8] que até hoje realizaram estudos sobre LWSCC referiram intervalos de massas volúmicas entre 1724 a 2300 kg/m³, porém para serem classificados como LWSCC a massa volúmica não deverá ser superior a 1920 kg/m³.

2.3.3. Vantagens e desvantagens

Sendo geralmente cerca de 30% do volume do betão autocompactável constituído por agregados grossos, este tem uma grande influência na sua densidade [41]. A aplicação do LWSCC oferece inúmeras vantagens como, redução da poluição sonora no entorno das construções devido à ausência de vibração, excelentes propriedades térmicas e acústicas através da redução da condutibilidade térmica, redução da massa específica e elevada porosidade dos agregados leves, aumento da resistência ao fogo, excelente acabamento das superfícies devido à sua fluidez, capacidade de preenchimento das formas, redução dos custos de transportes, no caso de estruturas pré-fabricadas [14].

Outra vantagem é a redução do peso próprio das estruturas, reduzindo as áreas das secções transversais. Assim, os custos de construção podem ser menores a longo prazo quando aplicado em estruturas, tais como, pontes e edifícios altos [4]. É usado especialmente em reabilitação tendo como principal objetivo a redução do peso próprio, em elementos pré-fabricados e também em betonagem de estruturas monolíticas [15]. A utilização de LWSCC é também adequada para estruturas de grande porte e estruturas marinhas devido à elevada relação resistência-densidade, alta resistência ao fogo e à fadiga [45].

No desenvolvimento deste tipo de betão as características dos agregados utilizados têm uma grande importância no produto final, bem como a sua disponibilidade em cada país [15, 16].

O principal problema associado à utilização de agregados leves é a elevada porosidade que leva à absorção de água da mistura. Sendo assim, é necessário ter em conta a quantidade de água adicional para manter a trabalhabilidade em níveis aceitáveis [39]. Tal problema acaba por afetar a resistência à compressão do LWSCC no estado endurecido, sendo necessário ter em conta uma quantidade de cimento razoável, que leva a uma adequada trabalhabilidade [18]. Para contornar este problema é também usual pré-humedecer os agregados leves com uma quantidade de água apropriada [20].

Outro aspeto negativo da utilização de agregados leves é verificado na avaliação das suas propriedades mecânicas, que apresentam resultados inferiores comparativamente com os betões autocompactáveis com agregados de massa volúmica normal. A resistência à compressão é

relativamente menor devido à fraca resistência dos agregados leves, o que leva também a um diferente tipo de rotura, que ocorre pelo agregado uma vez que a matriz argamassa é mais resistente do que o agregado leve [8]. Contudo, tal problema não implica a não obtenção de uma gama de resistências à compressão em níveis aceitáveis para os LWSCC de modo a serem classificados como betões estruturais.

É necessário mencionar, que o desenvolvimento de um novo betão é sempre combinado com a falta de normas, informação e experiência [15]. Na literatura existem poucos estudos sobre o uso de agregados leves na produção de betão autocompactável. No entanto, a maioria dela está focada na trabalhabilidade ou reologia adequadas à autocompactabilidade do betão leve.

2.4. Metodologia de base

Com base em estudos existentes, concluiu-se que os métodos de mistura e ensaios realizados no estado fresco para os NWSCC são também adequados para os LWSCC. Pelo exposto optou-se pela utilização da metodologia proposta por Nepomuceno [22] para o desenvolvimento do presente trabalho. Neste subcapítulo descreve-se de modo sucinto os seus principais aspetos.

A abordagem proposta por Nepomuceno [22], considera a análise separada das argamassas e betões, define as propriedades reológicas das argamassas adequadas à obtenção de betões autocompactáveis num intervalo próximo daquele proposto por Okamura *et al.* [35], estabelece uma nova metodologia para obtenção dessas propriedades, introduz novos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) e de agregados grossos (V_m/V_g) das misturas, estabelece um novo parâmetro (MN) para quantificar o volume de agregados grossos de cada betão (V_m/V_g), adequado especificamente à argamassa que este incorpora tendo em vista a obtenção de determinado grau de autocompactabilidade e, finalmente, utiliza simultaneamente o parâmetro V_p/V_s e a “família de finos” para controlar a resistência das argamassas e indiretamente a resistência dos betões com ela produzidos.

Basicamente existem quatro etapas principais para o desenvolvimento desta metodologia, sendo estas:

Requisitos funcionais

São considerados todos os elementos que possam de alguma forma condicionar, quer a escolha dos materiais a utilizar, quer o estudo da composição do betão. Em termos de propriedades no estado endurecido, a proposta de estudo apenas contempla a resistência à compressão, expressa pelo seu valor médio aos 28 dias de idade ($f_{cm,28}$).

Em termos de propriedades do betão no estado fresco, o principal requisito constitui obviamente a obtenção da autocompactabilidade, avaliada com base no ensaio da caixa L.

Materiais

Os materiais a utilizar são definidos tendo em consideração os requisitos funcionais. Os materiais deverão apresentar correlações adequadas, propostas por Nepomuceno [22], tal como a curva de referência para cada combinação de agregados. Na escolha do tipo de ligante deverá ter-se em conta o nível de resistência pretendida, podendo optar-se por CEM I 42,5R ou CEM II/B-L32,5N. Quanto ao tipo de adição mineral, poderá optar-se pela cinza volante, fíler calcário ou fíler granítico. Em geral recomenda-se apenas a utilização de associações binárias de materiais finos.

Estudos em argamassas

Definidos os materiais a utilizar, o estudo da argamassa inicia-se com a definição da razão W/C adequada, tendo em vista a obtenção da resistência pretendida nos betões. Face à metodologia adotada, a razão W/C dos betões é igual à razão W/C das argamassas. Assim, definida a resistência média pretendida para o betão, é possível estimar a razão W/C desse betão, a qual coincide com a razão W/C da argamassa.

Para a definição da argamassa será necessário adotar um valor para a razão volumétrica (V_p/V_s). O valor de V_p/V_s poderá variar entre 0,60 e 0,80, mas recomenda-se que esse intervalo se situe, de preferência, entre os 0,65 e os 0,80.

Definido V_p/V_s e conhecido o valor da razão W/C da argamassa, determina-se a percentagem de substituição do cimento pela adição (fad.), com base em correlações propostas por Nepomuceno [22], que oferecem como resposta o fad. em função da razão W/C e de V_p/V_s . De seguida procede-se à determinação experimental dos valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$ que conduzem às propriedades reológicas pretendidas, ou seja, G_m entre 5,3 e 5,9 e R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1} .

Estudos em betões

Uma vez definidos os parâmetros da argamassa, o estudo da composição do betão completa-se com a definição do volume de vazios (V_v) e da razão V_m/V_g . O volume de vazios assume um valor constante da ordem de $V_v=0,030 \text{ m}^3/\text{m}^3$, enquanto o parâmetro V_m/V_g é determinado em função da razão V_p/V_s da argamassa e do grau de autocompactabilidade desejado para o betão, traduzido pelos parâmetros D_m do ensaio de espalhamento e H_2/H_1 na caixa L.

As propriedades do betão no estado fresco são avaliadas laboratorialmente através da realização de uma amassadura experimental. O diâmetro de espalhamento deverá situar-se entre os 630 e os 700 mm e o tempo de escoamento medido no funil V deverá situar-se entre os 10 e os 20 segundos. O grau de autocompactabilidade medido no ensaio da caixa L, traduzido pelo parâmetro H_2/H_1 , deverá ser igual ou superior a 0,80.

Uma vez cumpridos os requisitos estabelecidos quanto às propriedades do betão no estado fresco, procede-se à recolha de provetes para avaliação da resistência à compressão. De qualquer forma, se o valor da razão W/C corresponder ao valor de dimensionamento, a resistência à compressão deverá confirmar o valor pretendido.

3. Programa experimental

3.1. Introdução

O programa experimental foi delineado com a finalidade de especificar os meios e a forma de dar cumprimento à metodologia preconizada e de se atingirem os objetivos propostos com um nível de confiança satisfatório e os menores custos económicos. No sentido de conferir alguma flexibilidade ao programa experimental inicial, foram admitidos alguns ajustamentos à medida que os resultados obtidos o aconselhassem, tendo em vista a redução do número de ensaios necessários. Impunha-se por isso uma interpretação progressiva dos resultados em cada fase do trabalho, devendo esta prosseguir somente até que fossem obtidas conclusões relevantes e bem fundamentadas que suportassem a fase seguinte.

Os procedimentos de ensaios adotados neste trabalho foram definidos, sempre que aplicável, recorrendo a documentos normativos nacionais ou estrangeiros. No decurso deste trabalho serão citadas, sempre que existam, as normas adotadas em cada um dos ensaios, dispensando-se por isso uma descrição exaustiva dos procedimentos. Contudo, nos casos em que estes difiram das normas será feita uma breve descrição dos procedimentos adotados.

A implementação prática da metodologia adotada traduziu-se no desenvolvimento de um programa experimental que inclui o desenvolvimento sequencial das seguintes etapas: 1- Materiais utilizados; 2- Curvas granulométricas de referência para os agregados; 3- Reologia da fase argamassa; 4- Estudos em argamassas e 5- Estudos em betões.

3.2. Materiais utilizados

A descrição dos materiais utilizados será subdividida em grupos: Ligante, adição mineral, agregados, adjuvante e água de amassadura.

3.2.1. Ligante

A escolha do tipo de ligante recaiu sobre o cimento Portland (CEM I 42,5R), classificado de acordo com a NP EN 197-1 [28]. As propriedades químicas e físicas deste ligante foram fornecidas pelo fabricante aquando da sua receção. No entanto, ainda foi determinada a baridade compactada e a massa volúmica de acordo com os procedimentos descritos nas especificações do LNEC E 247-1971 [10] e E 64-1979 [13], respetivamente. Os resultados dos ensaios efetuados no âmbito do presente estudo são apresentados na Tabela 3.1, enquanto na Tabela 3.2 são apresentadas as propriedades físicas, mecânicas e químicas do ligante, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3.1. Resultados obtidos nos ensaios realizados no presente estudo

Material		Massa volúmica		Baridade compactada
		Valor médio [kg/cm ³]		
Tipo	Designação	Picnómetro	Densímetro de Le Châtelier	[kg/m ³]
Ligante	CEM I 42,5R	3,239	3,101	1168,9

Tabela 3.2. Propriedades do ligante fornecidas pelo fabricante

		Peso Específico [g/cm ³]	3,10	3,11
Ensaio Físicos	Resíduo de Peneiração (%) [NP EN 196-6]	45 µm	4,20	3,60
		32 µm	---	---
	Superfície Específica de Blaine (cm ² /g) [NP EN 196-6]		3732	3959
	Água na Pasta Normal (%) [NP EN 196-3]		28,70	28,80
	Tempo de Presa (min)	Início	134,0	126,0
		Fim	176,0	169,0
	Expansibilidade (mm) [NP EN196-3]		0,50	0,50
		Índice de Refletância (0 a 100)	---	---
Ensaio Mecânicos	Resistência à flexão [MPa]	2 dias	6,1	6,4
		7 dias	7,9	8,5
		28 dias	9,0	9,5
	Resistência à compressão [MPa]	2 dias	31,2	31,9
		7 dias	46,0	47,0
		28 dias	57,8	58,7
Análise Química	---	Perda ao Fogo (%)	3,47	2,85
	---	Resíduo Insolúvel (%)	0,78	0,71
	SiO ₂	Óxido de Silício (%)	17,25	18,67
	Al ₂ O ₃	Óxido de Alumínio (%)	4,52	4,57
	Fe ₂ O ₃	Óxido de Ferro (%)	3,29	3,29
	CaO	Óxido de Cálcio (%)	62,15	62,51
	MgO	Óxido de Magnésio (%)	1,44	1,22
	SO ₃	Sulfatos (%)	2,72	2,78
	K ₂ O	Óxido de Potássio (%)	0,47	0,45
	Na ₂ O	Óxido Sódio (%)	0,23	0,12
	CR	Cloretos (%)	0,08	0,08
---	Cal Livre (%)	1,32	1,36	
Observações: Anual - valor médio dos últimos 12 meses				

3.2.2. Adição mineral

Relativamente à adição mineral, a escolha recaiu sobre uma adição do tipo I (quase inerte), constituída por fíler calcário e fornecida pela empresa OMYA COMITAL, Minerais e Especialidades, SA. O fíler calcário é um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura que o cimento Portland, sendo basicamente constituído por carbonato de cálcio oolítico, designado comercialmente por Betocarb P1-OU.

As propriedades químicas e físicas desta adição foram fornecidas pelo fabricante aquando da sua receção. No entanto, ainda foi determinada a massa específica de acordo com o procedimento descrito na Especificação do LNEC E 64-1979 [13] e analisada a dimensão e distribuição dos grãos do material através do analisador de partículas COULTER LS 200. As propriedades químicas e físicas da adição fornecidas pelo fabricante são apresentadas na Tabela 3.3, enquanto na Tabela 3.4 se apresenta a massa específica do fíler calcário. Os parâmetros físicos fornecidos pelo analisador de partículas são apresentados na Tabela 3.5 e os diagramas cumulativo e diferencial da fração granulométrica em função do tamanho das partículas são ilustrados nas Figuras 3.1 e 3.2, respetivamente.

Tabela 3.3. Propriedades da adição mineral fornecidas pelo fabricante

Material	Fíler Calcário	
Características Químicas	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%
Características Físicas	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 <325µm - (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	

Tabela 3.4. Massa específica da adição mineral

Material	Fíler Calcário
Designação comercial	Betocarb P1-OU
Massa Volúmica [kg/m ³]	2720

Tabela 3.5. Parâmetros físicos do fíler calcário fornecidos pelo COULTER LS 200

Parâmetros medidos	Material Fíler Calcário
Diâmetro das partículas [µm]	14,81
Superfície específica [cm ² /g]	5088
d10 [µm] (<10)	1,879
d25 [µm] (<25)	2,808
d50 [µm] (<50)	5,455
d75 [µm] (<75)	21,63
d90 [µm] (<90)	45,02

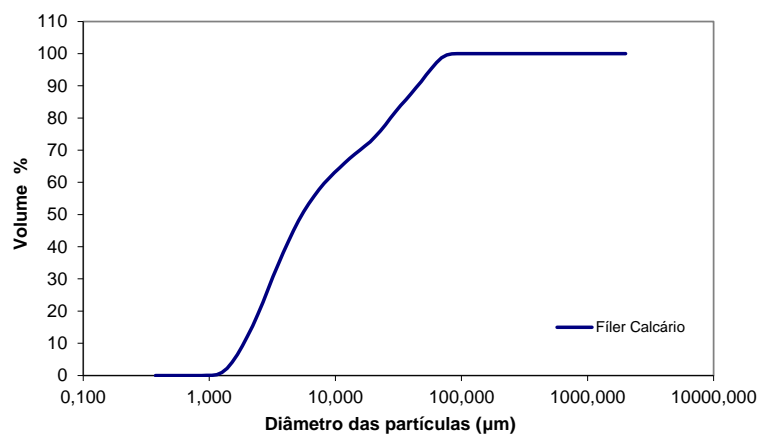


Figura 3.1. Diagrama cumulativo da fração volumétrica (COULTER LS 200)

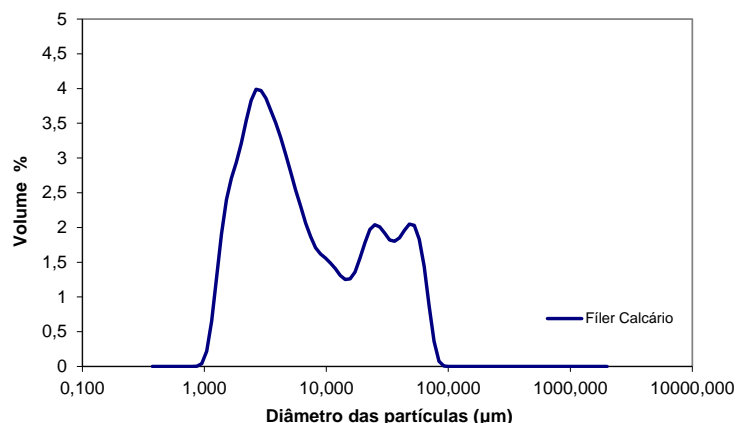


Figura 3.2. Diagrama diferencial da fração volumétrica (COULTER LS 200)

3.2.3. Agregados

Para o presente estudo optou-se pela aquisição de dois fusos granulométricos para cada tipo de agregado com o objetivo de se obter a melhor compactidade possível, ou seja, dois agregados finos naturais, dois agregados grossos naturais e dois agregados leves de argila expandida.

Relativamente aos agregados finos naturais, a escolha recaiu sobre uma areia amarela com máxima dimensão de 2 mm e uma areia calibrada, proveniente do rio Tejo, com máxima dimensão de 4 mm, designadas por Areia 0/2 e Areia 0/4, respetivamente.

Como agregados grossos naturais foram utilizados dois fusos granulométricos de granito britado fornecidos pela pedreira Bartolomeu, designados por Brita 3/6 e Brita 6/15. A Brita 6/15 não foi sujeita a correção de forma das partículas, apresentando algumas partículas achatadas e alongadas, o que poderá afetar negativamente os valores obtidos em alguns ensaios.

No que respeita aos agregados grossos leves a escolha recaiu sobre a argila expandida, com o nome comercial Leca, fornecida pela empresa Weber. Optou-se por dois tamanhos distintos, uma com granulometria entre 1,0 e 5,0 mm e outra com uma granulometria entre 4 e 12 mm, denominadas por Leca S e Leca 4/12, respetivamente.

As propriedades dos agregados foram avaliadas segundo os seguintes ensaios:

- i) Análise granulométrica de acordo com os procedimentos descritos na especificação do LNEC E245 -1971 [9] e na NP EN 933-1 [32] e EN 933-2 [33].
- ii) Absorção de água de acordo com o procedimento descrito na NP EN 1097-6 [30].
- iii) Massa volúmica dos agregados saturados em água e com superfície seca de acordo com o procedimento descrito na NP EN 1097-6 [30], exceto para as argilas expandidas.
- iv) Baridade do material seco compactado pela Especificação do LNEC E 247-1971 [10].

Na Figura 3.3 apresenta-se uma imagem geral dos agregados utilizados no presente estudo. Os resultados obtidos na análise granulométrica de acordo com a E245-1971 [9] são apresentados na Tabela 3.6 e na Figura 3.4, enquanto a análise granulométrica realizada de acordo com a EN 933-

1:2012 [32] é apresentada na Tabela 3.7 e na Figura 3.5. Os resultados das medições da absorção de água, massas volúmicas e baridades são resumidos na Tabela 3.8.

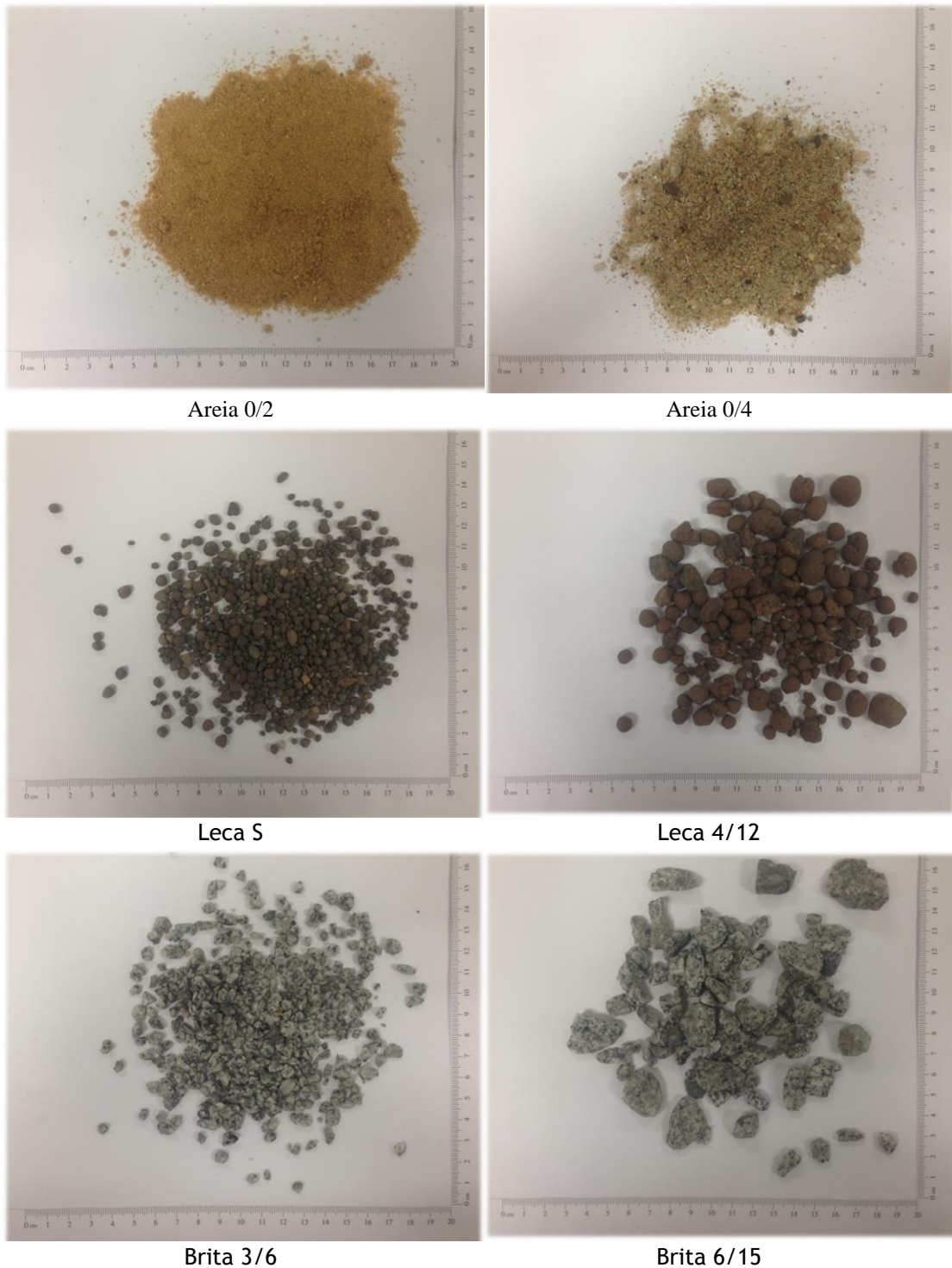


Figura 3.3. Imagem geral dos agregados utilizados no presente estudo

Tabela 3.6. Análise granulométrica de acordo com a E245-1971

Material:		Agregado fino		Agregado grosso natural		Agregado grosso leve	
		Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	Brita 6/15	Leca S	Leca 4/12
Peneiro	Malha [mm]	Percentagens acumuladas de material que passa nos peneiros					
(*) 1"	25,40	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,10	100,00	100,00	100,00	99,82	100,00	100,00
(*) 1/2"	12,70	100,00	100,00	100,00	60,43	100,00	96,00
3/8"	9,52	100,00	99,99	100,00	28,09	99,98	54,54
n° 4	4,76	99,97	99,35	61,61	1,59	82,66	6,61
n° 8	2,38	99,49	92,46	5,20	0,44	7,15	0,96
n° 16	1,190	98,16	72,03	1,13	0,28	0,55	0,69
n° 30	0,590	72,53	32,32	0,49	0,23	0,43	0,63
n° 50	0,297	27,42	6,60	0,30	0,20	0,40	0,54
n° 100	0,149	8,62	1,13	0,20	0,16	0,34	0,43
n° 200	0,074	1,72	0,25	0,12	0,10	0,28	0,30
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulo de finura		1,938	2,961	5,311	6,692	5,085	6,356

Peneiros para cálculo do módulo de finura

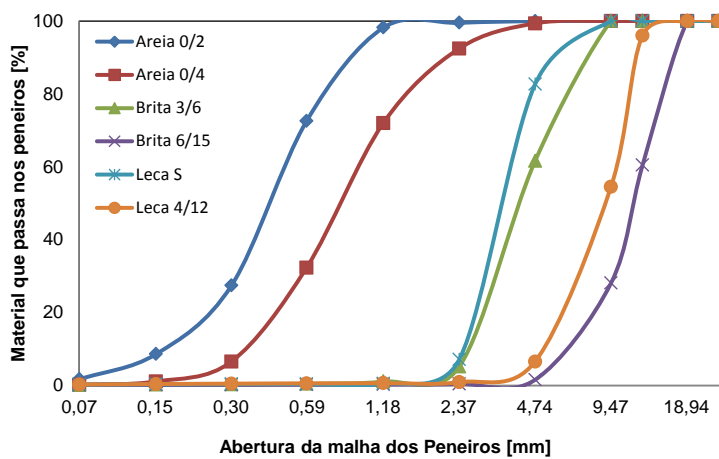


Figura 3.4. Curva granulométrica dos agregados

Tabela 3.7. Análise granulométrica de acordo com 933-1:2012

Material:		Agregado fino		Agregado grosso natural		Agregado grosso leve	
		Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	Brita 6/15	Leca S	Leca 4/12
Malha [mm]	Percentagens acumuladas de material que passa nos peneiros						
32,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
16,00	100,00	100,00	100,00	96,69	100,00	100,00	
8,00	99,99	99,89	100,00	18,21	100,00	52,61	
4,00	99,90	98,14	38,75	4,01	57,36	6,15	
2,00	99,31	89,38	1,02	3,59	2,39	1,36	
1,000	96,04	68,55	0,10	3,06	0,63	1,11	
0,500	60,67	28,22	0,04	2,20	0,53	0,96	
0,250	18,79	4,94	0,04	1,27	0,45	0,79	
0,125	5,13	0,78	0,01	0,62	0,38	0,63	
0,063	0,68	0,15	0,01	0,24	0,32	0,42	
Resíduo	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Módulo de finura	2,202	3,101	5,600	6,670	5,383	6,364	

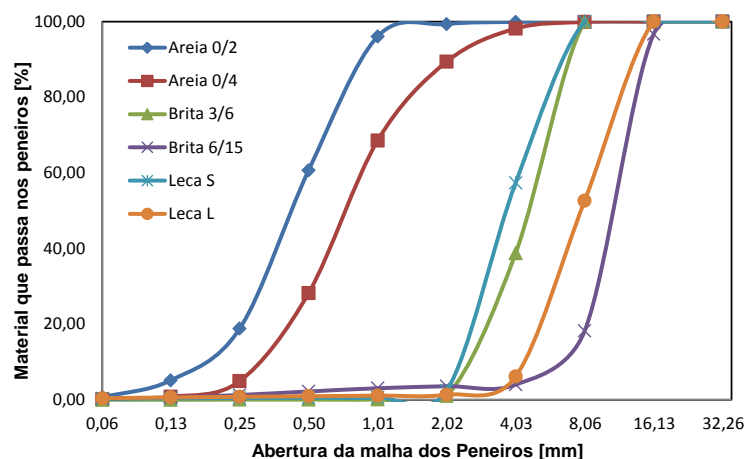


Figura 3.5. Curva granulométrica dos agregados

Tabela 3.8. Propriedades dos agregados

Material	Agregado fino		Agregado grosso natural		Agregado grosso leve	
	Areia 0/2	Areia 0/4	Brita 3/6	Brita 6/15	Leca S	Leca 4/12
Absorção de água 24h (%)	0,83	0,68	0,097	0,14	14,22	25,38
Massa Volúmica [kg/m ³]	2559,4	2586,3	2710,0	2700,0	650,0	530,0
Baridade Compactada [kg/m ³]	1342,2	1571,1	1471,1	1628,0	440,0	637,3

No caso particular dos agregados leves foi ainda determinada a absorção de água após 30 e 60 minutos de imersão, expressa em percentagem da massa do agregado leve no estado natural (condições de armazenamento), de modo a analisar-se a compensação da dosagem de água da mistura em função da absorção. Esta questão acabou por ser muito relevante pelo facto de se ter optado em utilizar os agregados leves na condição em que foram fornecidos, em vez de utilizá-los pré-saturados.

No processo de amostragem, retirou-se uma amostra do saco de plástico da Leca S, conforme fornecido, que se encontrava no interior no laboratório. Da Leca 4/12, foi retirada uma amostra do interior do laboratório exposta ao ar e duas outras do depósito que se encontrava no exterior, sendo uma da camada inferior e outra da camada superior deste.

O procedimento de ensaio consistiu em pesar a amostra inicial e de seguida mergulhá-la em água durante 30 ou 60 minutos. Ao perfazerem o tempo de imersão, foi escorrida a água de cada amostra com o auxílio de um escoador de pequenas dimensões e seca a superfície das partículas com lenços de papel, com o cuidado de não se perder amostra. Por fim, foram pesadas novamente e foi determinada a absorção pela Equação 3.1, onde A representa a absorção do material em %, M1 é a massa da amostra inicial e M2 é a massa da amostra final saturada com a superfície seca. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.9.

$$A\% = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (3.1)$$

Tabela 3.9. Resultados obtidos para a absorção do agregado leve

Agregado	Condição do agregado leve no estado natural	A%(¹)	
		30 min	60 min
Leca 5	No laboratório, em saco de plástico, conforme fornecido	0,48	0,55
Leca 4/12	No laboratório, exposto ao ar 15 dias (HR = 60%; T = 15°C)	2,07	3,69
Leca 4/12	No exterior, tempo húmido, camada inferior do depósito	1,75	2,80
Leca 4/12	No exterior, tempo húmido, camada superior do depósito	0,68	0,83

(1) Absorção de água após 30 e 60 minutos de imersão, em % da massa do agregado leve no estado natural

3.2.4. Adjuvantes

No presente estudo optou-se pela utilização de um superplastificante redutor de água de alta gama fornecido pela Sika, designado comercialmente por Sika ViscoCrete 3005, visto ser desenvolvido especificamente para betões autocompactáveis. Este superplastificante está em conformidade com a NP EN 934-2:2009 [31] e apresenta-se sob a forma líqüida, de cor castanho claro, levemente turvo e com uma densidade de aproximadamente 1,05. A sua base química é essencialmente constituída por policarboxilatos modificados, em solução aquosa. As propriedades do adjuvante, fornecidas pelo fabricante, são apresentadas na Tabela 3.10.

Tabela 3.10. Propriedades do superplastificante

Material	Sika Viscosidade 3005
Base	Solução aquosa de policarboxilatos modificados
Aspetto	Líquido castanho claro, levemente turvo
Massa Volúmica	1,05 ± 0,02 kg/dm ³
pH (23 ± 2°C)	4,0 ± 1,0

3.2.5. Água da amassadura

Relativamente à água de amassadura não se realizou qualquer avaliação, utilizando-se água da rede pública de abastecimento, em conformidade com a Especificação do LNEC E372 [12].

3.3. Curvas granulométricas de referência dos agregados

No presente trabalho a metodologia a implementar consistiu no estudo de uma argamassa de referência conducente a um betão autocompactável de agregados de massa volúmica normal e posteriormente a produção de betões autocompactáveis com agregados grossos leves. Para a realização de cada fase de estudo teve-se como principal objetivo utilizar a melhor associação das areias, britas e lecas e definir uma curva granulométrica de referência, obtidas com base no método da baridade. Tal método apenas foi realizado para os agregados grossos leves utilizados no presente estudo cuja forma esférica difere dos restantes agregados utilizados. Relativamente aos agregados finos naturais e agregados grossos naturais as curvas granulométricas de referência utilizadas foram as propostas por Nepomuceno [22], uma vez que a granulometria destes materiais não diferia dos utilizados ao longo do presente estudo.

3.3.1. Agregados finos naturais

Na Tabela 3.11 apresenta-se a distribuição da curva de referência proposta por Nepomuceno [22] e a curva granulométrica real definida com base na distribuição granulométrica de cada agregado fino utilizado neste trabalho e das percentagens com que entram na mistura, ou seja, 50% de Areia 0/2 e 50% Areia 0/4.

Tabela 3.11. Curva granulométrica real e de referência dos agregados finos naturais

Peneiro	Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Mistura (Curva Real)	Mistura (Curva de Referência)
		a1 0,50	a2 0,50		
Percentagem de passados					
3/8"	9,520	100,00	99,99	100,00	100,00
n° 4	4,760	99,97	99,35	99,66	99,96
n° 8	2,380	99,49	92,46	95,97	99,12
n° 16	1,190	98,16	72,03	85,09	90,81
n° 30	0,590	72,53	32,32	52,43	62,30
n° 50	0,297	27,42	6,60	17,01	21,05
n° 100	0,149	8,62	1,13	4,88	4,72
n° 200	0,074	1,72	0,25	0,98	0,85
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura:		1,938	2,961	2,450	2,220

A Figura 3.6 ilustra graficamente os valores apresentados na Tabela 3.11, sendo visível uma aproximação adequada da curva real à curva de referência.

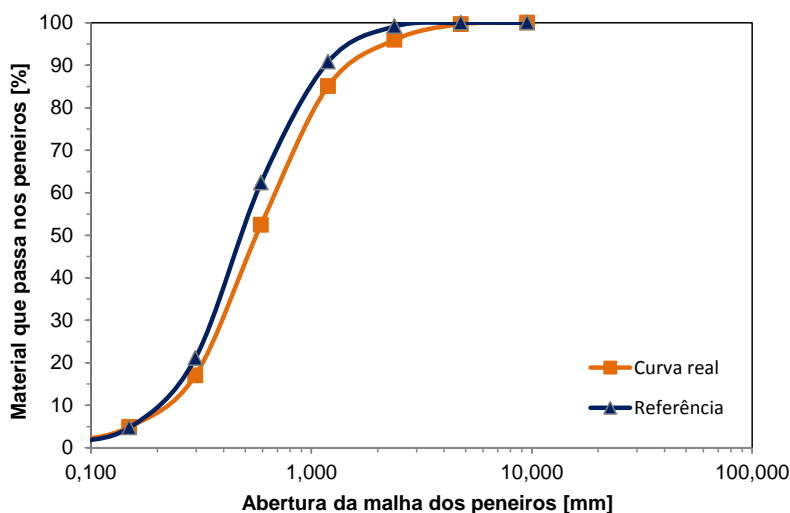


Figura 3.6. Curva granulométrica real e de referência dos agregados finos naturais

3.3.2. Agregados grossos naturais

A Tabela 3.12 apresenta a distribuição da curva de referência proposta por Nepomuceno [22] e a curva real definida com base na distribuição granulométrica de cada agregado grosso natural

utilizado neste trabalho e nas percentagens com que entram na mistura, ou seja, 60% e 40% de Brita 3/6 e Brita 6/15, respetivamente.

Tabela 3.12. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos naturais

Peneiro	Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Mistura	Mistura
		a1 0,50	a2 0,50	(Curva Real)	(Curva de Referência)
Percentagem de passados					
(*) 1''	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00
¾''	19,100	100,00	99,82	99,93	100,00
(*) ½''	12,700	100,00	60,43	84,17	94,57
3/8''	9,520	100,00	28,09	71,24	74,90
nº 4	4,760	61,61	1,59	37,60	36,54
nº 8	2,380	5,20	0,44	3,30	5,99
nº 16	1,190	1,13	0,28	0,79	2,24
nº 30	0,590	0,49	0,23	0,39	1,31
nº 50	0,297	0,30	0,20	0,26	0,79
nº 100	0,149	0,20	0,16	0,19	0,50
nº 200	0,074	0,12	0,10	0,11	0,28
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura:		5,311	6,692	5,863	5,777

A Figura 3.7 ilustra graficamente os valores apresentados na Tabela 3.12, sendo visível uma aproximação adequada da curva real à curva de referência.

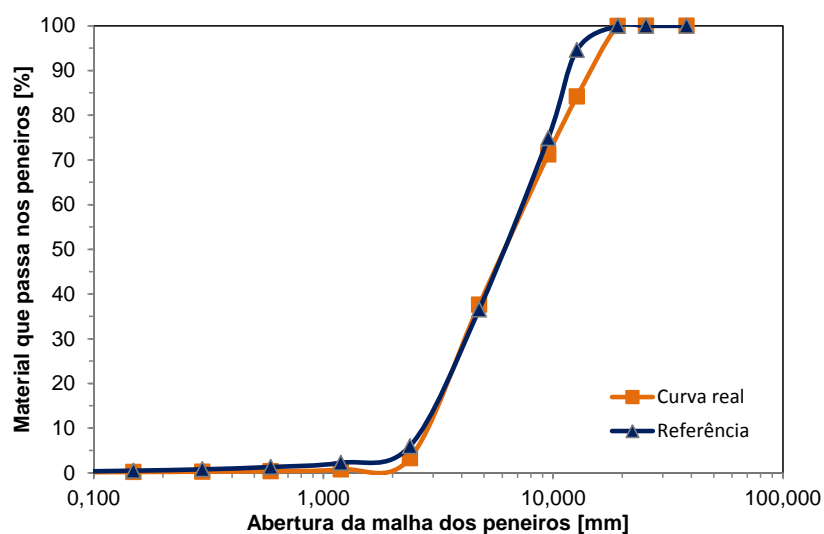


Figura 3.7. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos naturais

3.3.3. Agregados grossos leves

Relativamente aos agregados leves, foi utilizado o método da baridade para determinar as proporções em volume absoluto entre a Leca S e a Leca 4/12. Para possibilitar a medição dos materiais, o volume absoluto foi traduzido em massa. Na Tabela 3.13 são apresentados os resultados obtidos no método da baridade para a Leca S e Leca 4/12, bem como a compacidade da mistura e a máxima dimensão para cada associação dos agregados grossos leves. A máxima

compacidade foi obtida em duas situações, a primeira associando 30% de Leca S e 70% de Leca 4/12, e a segunda usando 100% de Leca 4/12.

Tabela 3.13. Proporções em volume absoluto entre a Leca S e Leca 4/12

Mistura	Percentagens unit. dos agregados (Volume absoluto)		Massas dos agregados		Massas para volume de 10 litros	Baridade da mistura	Compacidade da mistura, C	D _{máx}
	Leca S	Leca 4/12	Leca S	Leca 4/12				
	V1	V2	m1 [kg]	m2 [kg]	[kg]	[kg/m ³]	[adm.]	[mm]
0	0,00	1,00	---	---	---	637,00	0,534	12,700
1	0,10	0,90	0,485	5,600	6,080	608,00	0,521	12,700
2	0,20	0,80	1,091	5,600	5,980	598,00	0,524	12,700
3	0,30	0,70	1,871	5,600	5,940	594,00	0,533	12,700
4	0,40	0,60	2,910	5,600	5,700	570,00	0,524	12,700
5	0,50	0,50	4,365	5,600	5,500	550,00	0,518	12,700
6	0,60	0,40	6,548	5,600	5,300	530,00	0,512	12,700
7	1,00	0,00	---	---	---	440,00	0,473	9,520

Com base nos resultados obtidos para a compacidade da mistura e as frações granulométricas da Leca S, traçou-se o gráfico ilustrado na Figura 3.8, sendo visível os dois conjuntos de valores que representam as máximas compacidades. Para o presente estudo optou-se pela solução de 30% de Leca S e 70% de Leca 4/12, visto não ser vantajoso apenas a utilização de agregados leves grossos, pois não suportam força de arrastamento suficiente para proporcionar uma distribuição uniforme dos agregados. A conclusão tomada teve por base a análise de bibliografia existente.

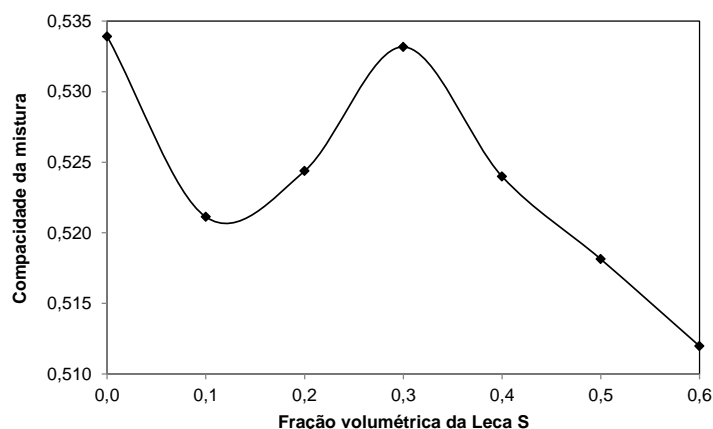


Figura 3.8. Compacidade da mistura em função da fração volumétrica da Leca S

Relativamente à curva de referência utilizada para os agregados grossos leves, optou-se pela proposta de Nepomuceno [22], visto não existirem diferenças significativas, face à obtida no presente estudo. Na Tabela 3.14 apresenta-se a distribuição da curva granulométrica de referência proposta por Nepomuceno [22] e a real obtida a partir da distribuição granulométrica de cada agregado leve e das percentagens com que estas entram na mistura, ou seja, 30% de Leca S e 70% de Leca 4/12. A Figura 3.9 ilustra graficamente os valores apresentados na Tabela

3.14 e à semelhança dos outros agregados utilizados, a curva real aproxima-se adequadamente à curva de referência.

Tabela 3.14. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos leves

Peneiro	Abertura da malha (mm)	Areia 0/2	Areia 0/4	Mistura	Mistura
		a1	a2	(Curva Real)	(Curva de Referência)
		0,50	0,50		
Percentagem de passados					
(*) 1''	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00
¾''	19,100	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) ½''	12,700	100,00	96,00	97,20	94,57
3/8''	9,520	99,98	54,54	68,17	74,90
nº 4	4,760	82,66	6,61	29,42	36,54
nº 8	2,380	7,15	0,96	2,82	5,99
nº 16	1,190	0,55	0,69	0,65	2,24
nº 30	0,590	0,43	0,63	0,57	1,31
nº 50	0,297	0,40	0,54	0,50	0,79
nº 100	0,149	0,34	0,43	0,40	0,50
nº 200	0,074	0,28	0,30	0,29	0,28
Resíduo		0,00		0,00	
Módulo de Finura:		5,085	6,356	5,975	5,777

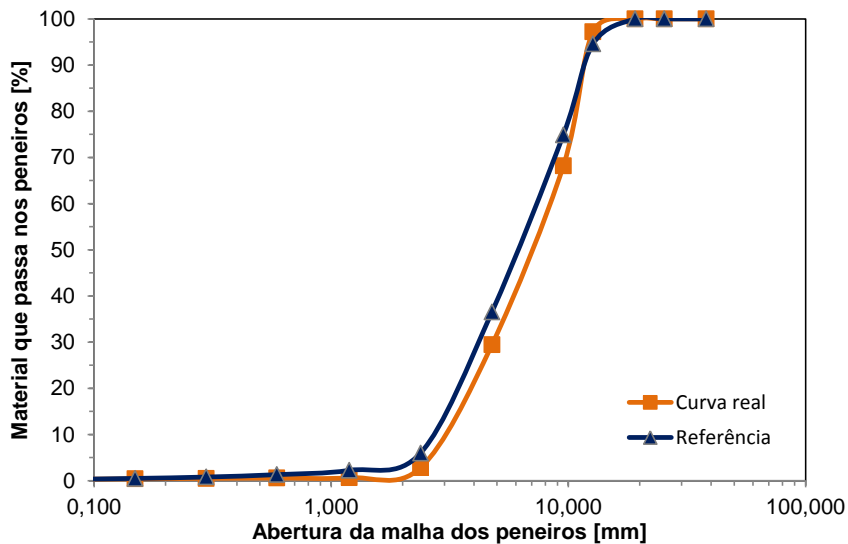


Figura 3.9. Curva granulométrica real e de referência dos agregados grossos leves

3.4. Reologia da fase argamassa

Para avaliar se as propriedades reológicas propostas por Nepomuceno [22] para os NWSCC se adequavam à produção dos LWSCC, definiram-se estudos prévios em argamassas e em betões com agregados naturais e agregados leves. Uma vez que se trata de uma fase prévia, e de modo a evitar repetições, os procedimentos adotados no cálculo, no acerto das propriedades reológicas e nos ensaios no estado fresco e endurecido, serão descritos no subcapítulo 3.5 relativo ao estudo em argamassas e no subcapítulo 3.6 relativo ao estudo dos betões.

O procedimento incluiu a produção de uma argamassa para betões autocompactáveis com V_p/V_s de 0,80 e percentagem de substituição do cimento por fíler calcário de 60%. Foram efetuados

ensaios no estado fresco registrando-se os parâmetros Gm e Rm e ensaios no estado endurecido para avaliação da resistência à compressão e da massa volúmica.

Com a argamassa estudada produziu-se um betão autocompactável de massa volúmica normal usando a razão Vm/Vg de 2,28. Foram efetuados ensaios no estado fresco, registrando-se os parâmetros Gc (espalhamento), Rc (fluidez no funil V) e H2/H1 (caixa L) e foram efetuados ensaios no estado endurecido para avaliar a resistência à compressão e a massa volúmica. De seguida foi produzido um outro betão idêntico ao anterior, mas substituindo-se o mesmo volume absoluto de agregados grossos naturais por agregados grossos leves. Novamente efetuaram-se os mesmos ensaios no estado fresco e endurecido.

Este procedimento teve como objetivo comparar os valores de Gc e Rc obtidos nos dois tipos de betões. Se a diferença fosse desprezável isso significaria que as propriedades reológicas das argamassas propostas por Nepomuceno para os NWSCC seriam adequadas à produção dos LWSCC. Caso contrário, isto significaria que as propriedades da argamassa não eram adequadas. Nesse caso, seguir-se-ia uma terceira etapa para o ajustamento das dosagens de Vw/Vp e Sp/p% e obtenção dos parâmetros relevantes. Esta terceira etapa veio a verificar-se desnecessária, uma vez que os dois betões não apresentaram diferenças significativas no estado fresco.

3.5. Estudos em argamassas

3.5.1. Cálculo das argamassas

No presente trabalho utilizou-se o procedimento de cálculo proposto por Nepomuceno [22], sendo este aplicável a qualquer combinação de dois agregados finos e qualquer combinação de finos.

Parâmetros utilizados

i) O volume absoluto do total de agregados finos (Vs), definido com base na percentagem unitária em volume absoluto da Areia 0/2 (a₁) e Areia 0/4 (a₂) é dado pela seguinte expressão:

$$V_s = a_1 \times V_{s1} + a_2 \times V_{s2} \quad (3.2)$$

ii) O volume absoluto do total de material fino (Vp), definido pelas percentagens unitárias em volume absoluto do cimento tipo I 42,5R (fc₁) e do fíler calcário (ffc) é dado por:

$$V_p = f_{c1} \times V_{p1} + f_{fc} \times V_{p2} \quad (3.3)$$

iii) O parâmetro Vp/Vs que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de finos e de agregados finos;

iv) O parâmetro Vw/Vp que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e de materiais finos;

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

Formulação das argamassas

A fórmula fundamental do cálculo das argamassas é dada por:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad (3.4)$$

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 .

O volume de vazios (V_v) foi desprezado para efeitos de cálculo das argamassas, sendo assim:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = 1,0 \quad (3.5)$$

De onde resulta:

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = 1,0 \quad (3.6)$$

$$V_p = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right)} \quad (3.7)$$

$$V_w = \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p \quad (3.8)$$

$$V_{sp} = \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p \quad (3.9)$$

$$V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \quad (3.10)$$

Note-se que:

$$\left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) = \left(\frac{S_p}{p}\right) \times \frac{\delta_p}{\delta_{SP}} \quad (3.11)$$

Onde:

$$\delta_p = fc_1 \times \delta_{C1} + ffc \times \delta_{FC} \quad (3.12)$$

e

$$\left(\frac{S_p}{P}\right) = \left(\frac{Sp}{P}\% \right) / 100 \quad (3.13)$$

Com base em V_p são determinadas as dosagens dos materiais finos pelas expressões:

$$V_{C1} = fc_1 \times V_p \quad (3.14)$$

$$V_{FC} = ffc \times V_p \quad (3.15)$$

Onde:

V_{C1} é o volume absoluto de cimento do tipo I 42,5 R em m^3/m^3 ;

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

As dosagens dos agregados finos são determinadas com base em V_s a partir das expressões:

$$V_{S1} = a_1 \times V_s \quad (3.16)$$

$$V_{S2} = a_2 \times V_s \quad (3.17)$$

Onde:

V_{S1} é o volume absoluto da Areia 0/2 em m^3/m^3 ;

V_{S2} é o volume absoluto da Areia 0/4 em m^3/m^3 ;

a_1 é a percentagem unitária da Areia 0/2;

a_2 é a percentagem unitária da Areia 0/4.

A conversão das dosagens em volume absoluto para valores em massa é feita com base nas massas volúmicas de cada material.

3.5.2. Procedimento de amassadura

O procedimento de amassadura adotado neste estudo teve por base os estudos realizados por Domone *et al.* [7], sofrendo posteriormente algumas alterações propostas por Nepomuceno [22]. Tal procedimento é ilustrado esquematicamente na Figura 3.10.

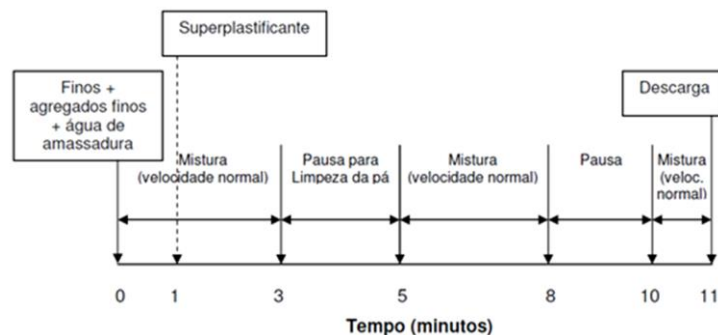


Figura 3.10. Procedimento de amassadura proposto por Nepomuceno [22]

3.5.3. Ensaios no estado fresco

No presente estudo os ensaios realizados para avaliação das argamassas no estado fresco foram o ensaio de espalhamento e ensaio de fluidez.

3.5.3.1. Ensaio de espalhamento

Dimensões dos equipamentos

Na Figura 3.11 são apresentadas as dimensões para o “cone de espalhamento” (*Slump Flow*).

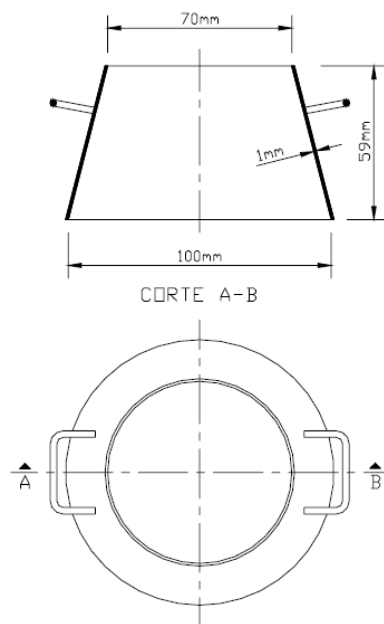


Figura 3.11. Cone para ensaio de espalhamento em argamassas

Procedimento de ensaio

1ª Fase - Limpeza do cone e da superfície que serve de base com um pano humedecido. A superfície não deve apresentar reentrâncias nem saliências que influenciem o movimento da argamassa ao longo do ensaio.

2ª Fase - Coloca-se o cone sobre a base e inicia-se o seu enchimento com a argamassa no estado fresco e logo após a sua amassadura (Figura 3.12). Após enchimento a superfície poderá ser alisada mas sem qualquer tipo de vibração ou compactação.

3ª Fase - Levanta-se o cone na vertical e a argamassa espalha-se (Figura 3.13).

4ª Fase - Após o movimento da argamassa cessar, procede-se à medição de dois diâmetros em duas direções aproximadamente perpendiculares (Figura 3.14).



Figura 3.12. 2ª Fase do ensaio de espalhamento



Figura 3.13. 3ª Fase do ensaio de espalhamento

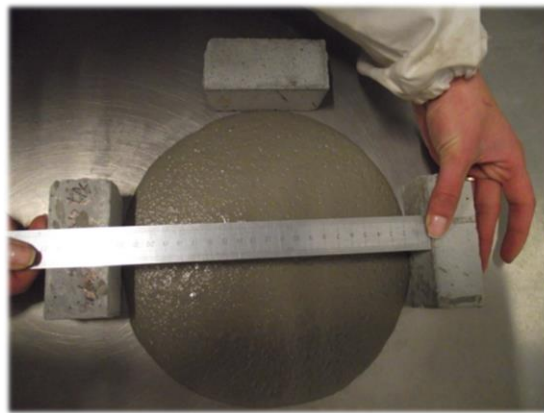


Figura 3.14. 4ª Fase do ensaio de espalhamento

Interpretação dos resultados

O resultado do ensaio é traduzido pelo diâmetro médio de espalhamento (D_m). Uma outra forma de traduzir o resultado obtido no ensaio consiste na determinação da área de espalhamento relativa, traduzida pela seguinte expressão utilizada por Okamura *et al.* [36]:

$$G_m = \left(\frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (3.18)$$

Onde:

G_m é a área de espalhamento relativa;

D_m é o diâmetro médio de espalhamento, em mm;

D_0 é o diâmetro inicial na base do cone, em mm.

3.5.3.2. Ensaio de fluidez

Dimensões dos equipamentos

Na Figura 3.15 são apresentadas as dimensões do funil V utilizado no ensaio de fluidez.

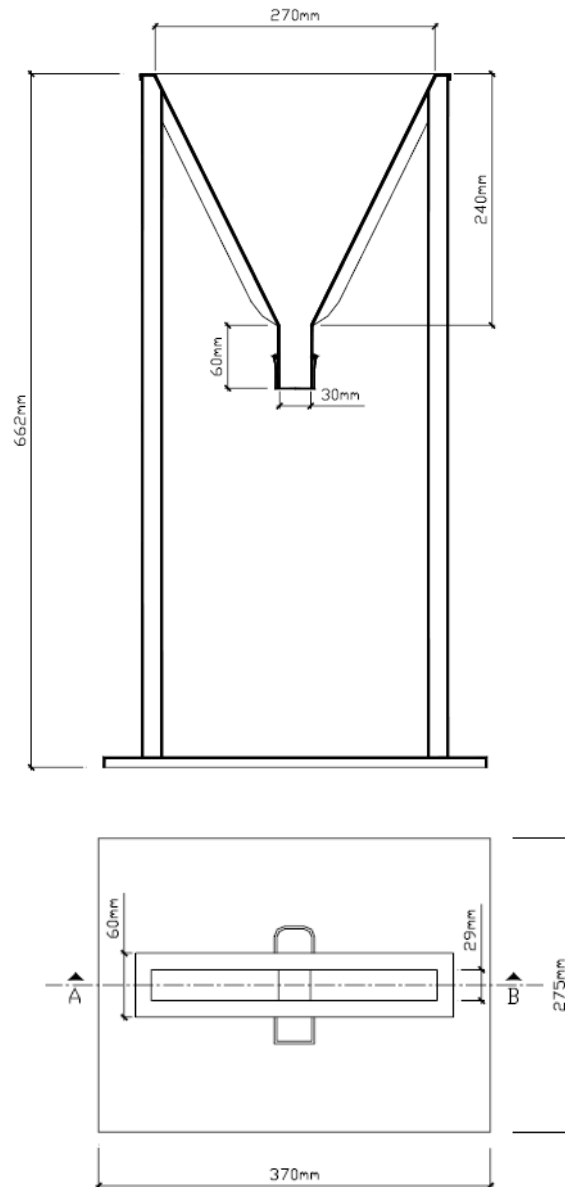


Figura 3.15. Funil V para ensaio de fluidez das argamassas

Procedimento de ensaio

1ª Fase - Limpeza do funil com um pano humedecido e o seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada. No decorrer do ensaio não deverão ocorrer movimentos sobre o funil que influenciem o escoamento da argamassa.

2ª Fase - Procede-se ao enchimento do funil V (Figura 3.16). Após o enchimento da superfície esta poderá ser alisada mas sem qualquer tipo de vibração ou compactação.

3ª Fase - A comporta inferior é aberta e com recurso a um cronómetro procede-se à medição do tempo de escoamento. O tempo de escoamento tem início quando se abre a comporta até que, observando o funil de cima para baixo, se aviste o primeiro raio de luz.



Figura 3.16. 2ª Fase do ensaio do funil V

Interpretação dos resultados

O resultado deste ensaio pode ser traduzido diretamente pelo tempo de escoamento (t), medido em segundos. Uma outra forma de expor o resultado deste ensaio, consiste na determinação da velocidade relativa de escoamento, traduzida pela seguinte expressão utilizada por Okamura *et al.* [36]:

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (3.19)$$

Onde:

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

t é o tempo de escoamento, em segundos.

3.5.4. Procedimento de acerto das misturas

O presente estudo tem como premissa a utilização da metodologia proposta por Nepomuceno [22], para betões autocompactáveis de agregados grossos de massa volúmica normal e após a sua análise definir quais as adaptações necessárias à produção de betões autocompactáveis de

agregados leves. Uma vez que as diferenças, entre os parâmetros reológicos obtidos no presente estudo e os obtidos por Nepomuceno [22], não foram significativas, optou-se pela utilização dos parâmetros reológicos propostos por Nepomuceno [22], que tiverem por base os estudos realizados por Okamura *et al.* [36].

Tais parâmetros são avaliados com recurso aos ensaios de espalhamento e fluidez expressos em área de espalhamento (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm), respetivamente.

O intervalo de variação dos parâmetros reológicos varia de 5,3 e 5,9 para Gm e 1,14 e 1,30 para Rm, o que corresponde a um diâmetro de espalhamento médio entre 251 e 263 mm e um tempo de escoamento que varia entre 7,69 e 8,77 segundos. Sendo assim possível traçar um “alvo” (Figura 3.17) que servirá de apoio para o acerto reológico das misturas.

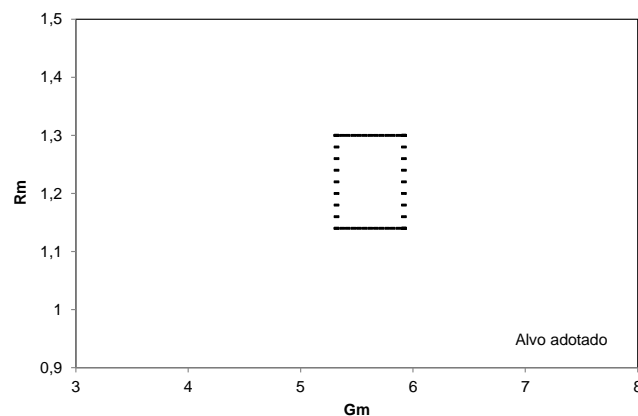


Figura 3.17. Intervalo de variação dos parâmetros reológicos das argamassas

Os parâmetros reológicos Rm e Gm são muito sensíveis a qualquer pequena variação das dosagens de água ou superplastificante, tornando difícil a obtenção dos valores pretendidos de V_w/V_p e $Sp/p\%$. No presente estudo, com o objetivo de facilitar esta tarefa, o procedimento experimental utilizado foi o proposto por Nepomuceno [22], que teve por base o padrão de comportamento definido por Ouchi *et al.* [37]. Sendo um procedimento inteiramente suportado por ensaios laboratoriais torna-se mais simples descrever o seu procedimento através de exemplificações práticas. Dado isto, são apresentados a seguir dois exemplos distintos.

1ºExemplo:

Inicialmente foi realizada uma amassadura com um $V_w/V_p = 0,70$ e um $Sp/p\% = 0,50$. Mediram-se os seus parâmetros reológicos (Gm,Rm) com base no ensaio de espalhamento e fluidez. Tais valores foram introduzidos no gráfico semelhante ao ilustrado na Figura 3.17 e obteve-se o ponto 1, o qual se encontra fora do “alvo” (Figura 3.18). Aplicando o procedimento descrito anteriormente, foi traçada uma reta e uma curva que passam pela origem. Analisando-se a situação, é visível que a dosagem de água (V_w/V_p) é correta e que a interceção acontecerá se for aumentada a dosagem de superplastificante ($Sp/p\%$). Nesse sentido, foram realizadas mais

duas amassaduras com valores de $Sp/p\%$ de 0,58 (ponto2) e 0,61 (ponto3), mantendo-se constante Vw/Vp . Dado isto, conclui-se pela medição dos parâmetros reológico, que os valores de $Vw/Vp = 0,70$ e $Sp/p\% = 0,61$ constituem o resultado final.

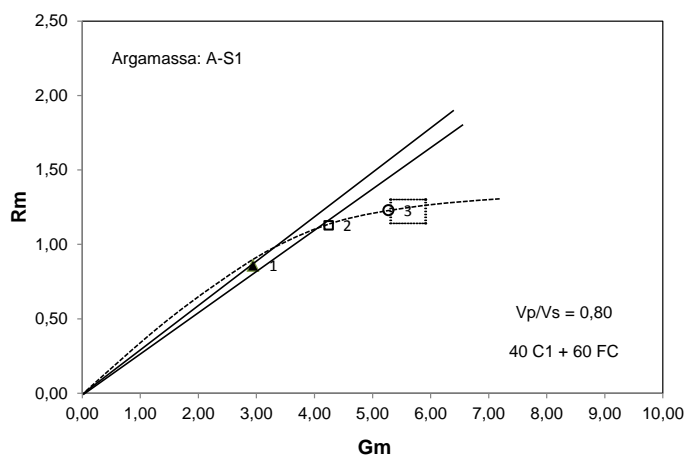


Figura 3.18. Alterações da reologia com o aumento de $Sp/p\%$ e mantendo constante Vw/Vp

2º Exemplo:

Inicialmente foi realizada uma amassadura com um valor de $Vw/Vp = 0,86$ e $Sp/p\% = 1,00$. Medindo-se os seus parâmetros reológicos e introduzindo-se no gráfico, obteve-se o ponto 1 fora do “alvo” (Figura 3.19). Traçando-se a reta e a curva que passam pela origem, decidiu-se manter constante o Vw/Vp e realizaram-se mais duas amassaduras com um Vp/Vs de 1,08 (ponto 2) e 1,05 (ponto 3). Como é visível no gráfico, encontram-se ambos fora do alvo podendo-se assim concluir que o ideal é o aumento de Vw/Vp . Dado isto, realizou-se uma quarta amassadura que constituiu o resultado final, com um $Sp/p\% = 1,00$ e um $Vw/Vp = 0,87$ (ponto 4).

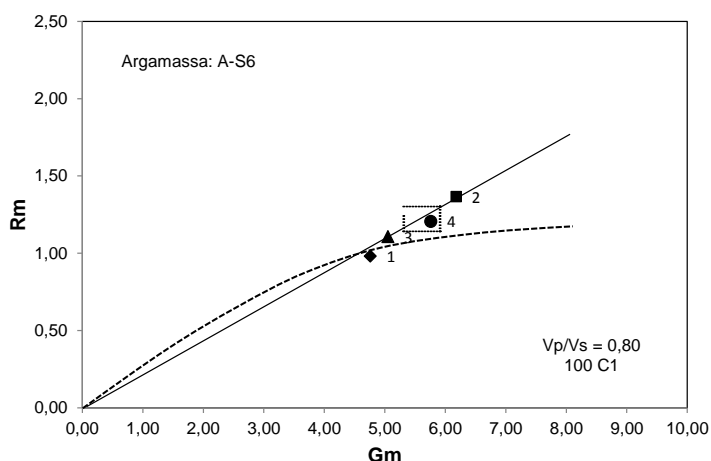


Figura 3.19. Alterações da reologia com o aumento de Vw/Vp e mantendo constante $Sp/p\%$

3.5.5. Produção de provetes para ensaios no estado endurecido

Para a produção dos provetes utilizaram-se moldes prismáticos com dimensões de 160x40x40 mm³ e posteriormente cada provete foi dividido e ensaiado na prensa sobre uma área de 40x40 mm². A prensa utilizada tem uma capacidade máxima de 3000 kN.

Produziram-se as argamassas e sempre que estas cumprissem os requisitos mínimos nos ensaios de espalhamento e fluidez, procedia-se ao enchimento dos moldes previamente untados com óleo descofrante. Para cada argamassa foram produzidos três moldes sem a aplicação de qualquer forma de compactação. Os provetes foram colocados na camara de cura a uma temperatura de 20 ± 2 °C e humidade relativa de 90%, após 24 h foram desmoldados e catalogados. Ao perfazerem 28 dias de idade, retiram-se os provetes da camara de cura para realização do ensaio à compressão.

3.5.6. Ensaio no estado endurecido

3.5.6.1. Ensaio de compressão

1ª Fase - Medição e registo da massa de cada provete para avaliação da massa volúmica aparente do provete saturado com superfície seca no estado endurecido.

2ª Fase - Partem-se os provetes a meio, obtendo-se assim 6 amostras para cada tipo de amassadura.

3ª Fase - Realização do ensaio de compressão utilizando-se a prensa ilustrada na Figura 3.20. Posicionam-se os provetes convenientemente no prato inferior da prensa para que sejam comprimidos segundo uma direção perpendicular à direção de betonagem (Figura 3.21). A taxa de compressão aplicada foi de 1,0 kN/s ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e em todos os provetes foi possível verificar uma rotura do tipo normal (Figura 3.22). Os ensaios à compressão foram realizados de acordo com a Especificação do LNEC E255 [11].



Figura 3.20. Prensa utilizada para ensaios à compressão



Figura 3.21. Posicionamento do provete na prensa



Figura 3.22. Rotura do tipo normal

3.5.6.2. Medição da massa volúmica

Para a medição da massa volúmica, todos os provetes foram pesados, tal como se descreve na 1ª Fase do ensaio de compressão das argamassas. A massa volúmica do provete saturado com superfície seca foi determinada para cada provete, com base na seguinte expressão:

$$M_{\text{sat}} = \frac{M_1}{V} \quad (3.20)$$

Onde:

M_{sat} é massa volúmica do provete saturado com superfície seca, em kg/m^3 ;

M_1 é a massa do provete saturado com superfície seca, medida na 1ª Fase do ensaio à compressão das argamassas, em kg;

V é o volume do provete, em m^3 .

3.6. Estudos em betões

3.6.1. Cálculo do betão

No presente estudo para o cálculo dos betões, tal como nas argamassas, foi utilizada a folha de cálculo desenvolvida por Nepomuceno [22], aplicável a qualquer combinação ou quantidade de agregados utilizados, desde que sejam efetuadas as adaptações necessárias. Em seguida, são apresentados os parâmetros e premissas utilizadas no presente estudo:

Parâmetros utilizados

- i) O volume absoluto do total de agregados finos (V_s), pela equação (3.1);
- ii) O volume absoluto total de agregados grossos (V_g), definido com base na percentagem unitária em volume absoluto de Leca 5 (g_3) e da Leca 4/12 (g_4), dado por:

$$V_g = g_3 \times V_g + g_4 \times V_g \quad (3.21)$$

- iii) O volume absoluto do total de material fino (V_p), pela equação (3.2);
- iv) O parâmetro V_m/V_g que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos;
- v) O parâmetro V_p/V_s que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de finos e agregados finos;
- vi) O parâmetro V_w/V_p que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e materiais finos.
- vii) O parâmetro $S_p/p\%$ que representa a relação percentual em massa entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos.

Formulação da composição

A fórmula fundamental do cálculo dos betões é dada por:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad (3.22)$$

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 .

O volume de vazios (V_v) assume um valor constante de $0,030 m^3$ por metro cúbico de betão.

Considerando-se:

$$V_m = 1 - V_g - V_v \quad (3.23)$$

Da fórmula fundamental resulta:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = V_m \quad (3.24)$$

Em seguida é apresentada a sequência de cálculo para determinação das dosagens dos materiais finos, dos agregados finos e agregados grossos leves.

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = V_m \quad (3.25)$$

Onde:

$$V_m = V_g \times \left(\frac{V_m}{V_g}\right) \quad (3.26)$$

Sendo assim:

$$V_g = \frac{1 - V_v}{1 + \left(\frac{V_m}{V_g}\right)} \quad (3.27)$$

$$V_p = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right)} \quad (3.28)$$

$$V_w = \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p \quad (3.29)$$

$$V_{sp} = \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p \quad (3.30)$$

$$V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \quad (3.31)$$

Note-se que:

$$\left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) = \left(\frac{S_p}{p}\right) \times \frac{\delta_p}{\delta_{sp}} \quad (3.32)$$

Onde:

$$\delta_p = f_{c1} \times \delta_{c1} + f_{fc} \times \delta_{fc} \quad (3.33)$$

e

$$\left(\frac{S_p}{P}\right) = \left(\frac{S_p}{P}\% \right) / 100 \quad (3.34)$$

Com base no valor de V_p , são determinadas as dosagens dos materiais finos pelas expressões:

$$V_{c1} = f_{c1} \times V_p \quad (3.35)$$

$$V_{FC} = f_{fc} \times V_p \quad (3.36)$$

Onde:

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

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

As dosagens dos agregados finos são determinadas com base em V_s a partir das expressões:

$$V_{s1} = a_1 \times V_s \quad (3.37)$$

$$V_{s2} = a_2 \times V_s \quad (3.38)$$

Onde:

V_{s1} é o volume absoluto da Areia 0/2 em m^3/m^3 ;

V_{s2} é o volume absoluto da Areia 0/4 em m^3/m^3 ;

a_1 é a percentagem unitária da Areia 0/2;

a_2 é a percentagem unitária da Areia 0/4.

As dosagens de agregados grossos são determinadas com base em V_g a partir das expressões:

$$V_{g3} = g_3 \times V_g \quad (3.39)$$

$$V_{g4} = g_4 \times V_g \quad (3.40)$$

Onde:

V_{g3} é o volume absoluto da Leca S em m^3/m^3 ;

V_{g4} é o volume absoluto da Leca 4/12 em m^3/m^3 ;

g_3 é a percentagem unitária da Leca S;

g_4 é a percentagem unitária da Leca 4/12.

A conversão das dosagens em volume absoluto para valores em massa é feita com base nas massas volúmicas de cada material.

3.6.2. Procedimento de amassadura

O procedimento de amassadura utilizado no presente estudo foi semelhante ao utilizado na fase argamassa, sendo apenas excluída a paragem para limpeza das pás. A importância de manter o mesmo procedimento de amassadura para as duas fases de estudo, tem como objetivo minimizar as alterações do comportamento da argamassa, estudada anteriormente, conducente a um betão autocompactável. O procedimento de amassadura é ilustrado na Figura 3.23.

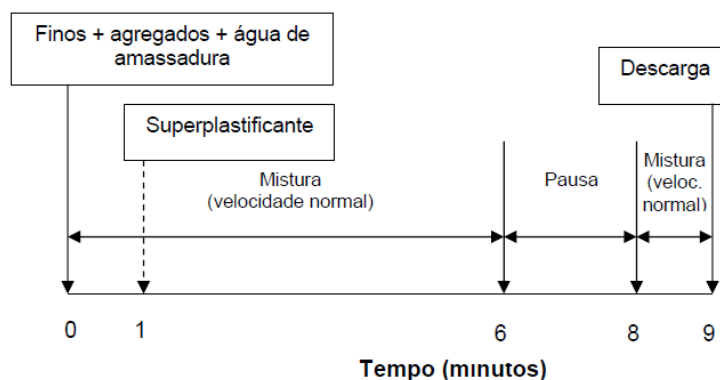


Figura 3.23. Sequência de amassadura proposta por Nepomuceno [22]

3.6.3. Ensaio no estado fresco

Os ensaios realizados foram o ensaio de espalhamento e de fluidez, com procedimento similar ao descrito para as argamassas, com exceção dos equipamentos de ensaio apresentarem dimensões superiores. Os ensaios de espalhamento e fluidez foram realizados de acordo com a NP EN 12350-8 [27] e NP EN 12350-9 [25], respetivamente. Os restantes parâmetros de autocompactabilidade foram avaliados com base no ensaio da caixa L, de acordo NP EN 12350-10 [26]. Todos os ensaios descritos foram realizados para os betões autocompactáveis de massa volúmica normal (NWSCC) e para os betões autocompactáveis leves (LWSCC).

3.6.3.1. Ensaio de espalhamento

Dimensões dos equipamentos

Na Figura 3.24 são apresentadas as dimensões para o “cone de espalhamento” (*Slump Flow*).

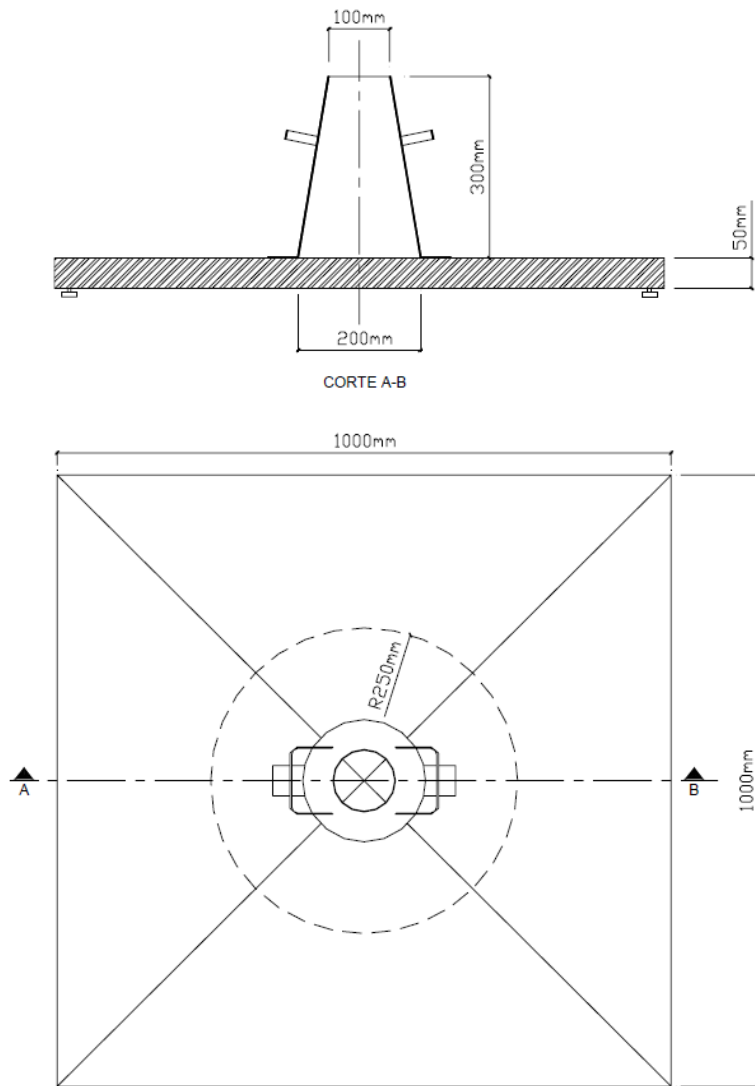


Figura 3.24. Cone para ensaio de espalhamento em betões

Procedimento de ensaio

Neste ensaio o parâmetro medido é o diâmetro médio de espalhamento (D_m).

1ª Fase - Limpeza do cone e da superfície que serve de base com um pano humedecido. A superfície deve ser lisa, nivelada e sem reentrâncias nem saliências que influenciem o movimento do betão ao longo do ensaio.

2ª Fase - Coloca-se o cone sobre a base e inicia-se o seu enchimento com o betão no estado fresco e logo após a sua amassadura. Após enchimento a superfície poderá ser alisada mas sem qualquer tipo de vibração ou compactação.

3ª Fase - Levanta-se o cone na horizontal e após o movimento do betão cessar, procede-se à medição de dois diâmetros em duas direções aproximadamente perpendiculares (Figura 3.25).

4ª Fase- Efetua-se uma observação e registo fotográfico da distribuição dos agregados na mistura e possível exsudação para avaliação qualitativa da segregação dinâmica do betão (Figura 3.26)



Figura 3.25. Ensaio de espalhamento



Figura 3.26. Avaliação da segregação

Interpretação dos resultados

O diâmetro médio de espalhamento (D_m), pode ser expresso diretamente pelo parâmetro medido no ensaio. Uma outra forma de expressar o resultado obtido consiste na determinação da área de espalhamento relativa, obtida pela seguinte expressão:

$$G_c = \left(\frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (3.41)$$

Onde:

G_c é a área de espalhamento relativa do betão;

D_m é o diâmetro médio de espalhamento, em mm;

D_0 é o diâmetro inicial da base do cone, em mm.

3.6.3.2. Ensaio de fluidez

Dimensões dos equipamentos

Na Figura 3.27 são apresentadas as dimensões para o funil V (Ensaio de fluidez).

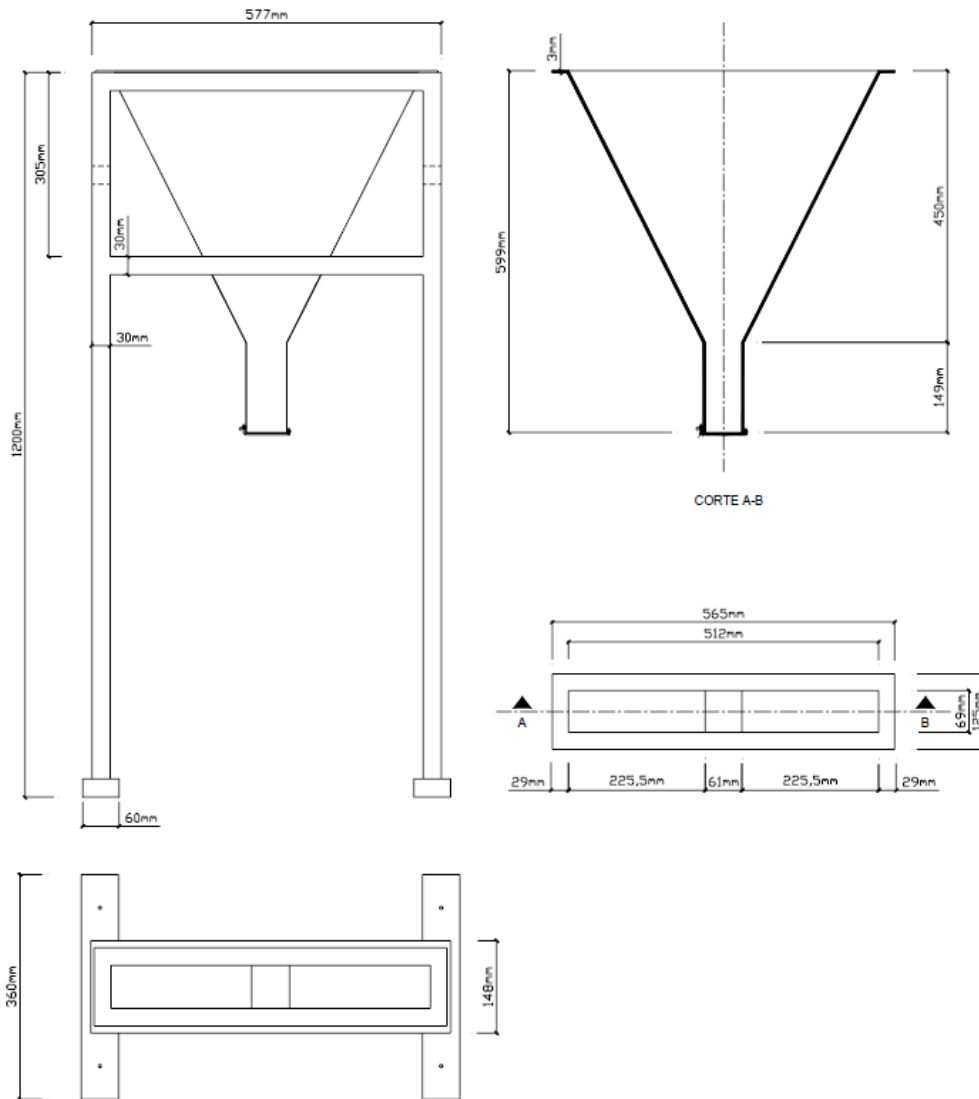


Figura 3.27. Funil V para ensaio de fluidez do betão

Procedimento de ensaio

1ª Fase - Limpeza do funil com um pano humedecido e o seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada. No decorrer do ensaio não deverão ocorrer movimentos sobre o funil que influenciem o escoamento do betão.

2ª Fase - Procede-se ao enchimento do funil V (Figura 3.28). Após enchimento a superfície poderá ser alisada mas sem qualquer tipo de vibração ou compactação.



Figura 3.28. 2ª Fase do ensaio do funil V

3ª Fase - A comporta inferior é aberta e com recurso a um cronómetro procede-se à medição do tempo de escoamento (Figura 3.29). O tempo de escoamento tem início quando se abre a comporta até que, observando o funil de cima para baixo, se aviste o primeiro raio de luz.



Figura 3.29. 3ª Fase do ensaio do funil V

Interpretação dos resultados

O parâmetro medido diretamente pelo ensaio de fluidez é o tempo de escoamento (t), expresso em segundos. Uma outra forma consiste na determinação da velocidade de escoamento relativa, traduzida pela seguinte expressão:

$$R_c = \frac{10}{t} \quad (3.42)$$

Onde:

R_c é a velocidade relativa de escoamento do betão, em s^{-1} ;

t é o tempo de escoamento, em segundos.

3.6.3.3. Ensaio de autocompactabilidade

Dimensões dos equipamentos

As dimensões da caixa L apresentam-se na Figura 3.30.

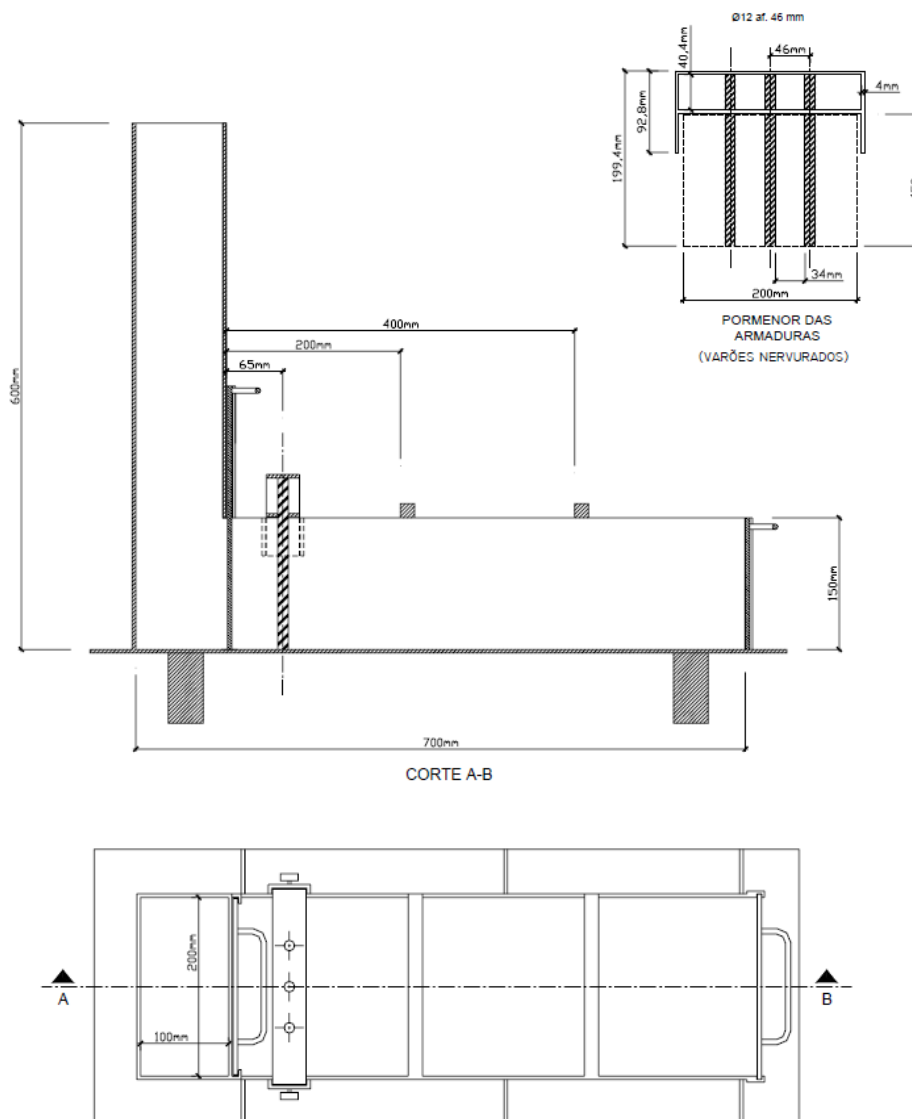


Figura 3.30. Caixa L para o ensaio de autocompactabilidade dos betões

Procedimento de ensaio

Neste ensaio serão medidos dois parâmetros:

- A altura de betão na coluna vertical (H1) e na extremidade da caixa (H2), ambos após o movimento cessar;
- O tempo que o betão demora a percorrer a distância de 40 cm (T40 s), após abertura da comporta. A caixa a utilizar tem duas barras horizontais como referência à medição deste parâmetro.

1ª Fase - Limpeza da caixa L com um pano humedecido e o seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada, para tal foi escolhida uma mesa pequena. No decorrer do ensaio não deverão ocorrer movimentos sobre a caixa que influenciem o escoamento do betão.

2ª Fase - Procede-se ao enchimento da caixa L. Após enchimento a superfície poderá ser alisada mas sem qualquer tipo de vibração ou compactação.

3ª Fase - A comporta inferior é aberta e aciona-se o cronómetro para a medição do T40. A medição do T40 tem início quando se abre a comporta até à barra horizontal assinalada na Figura 3.31. Após o movimento cessar procede-se à medição dos parâmetros H1 e H2 (Figura 3.32).



Figura 3.31. Medição do parâmetro T40



Figura 3.32. Medição do parâmetro H2

Interpretação dos resultados

Os parâmetros H1, H2 e T40 assumem diretamente os valores medidos no ensaio da caixa L.

3.6.4. Procedimento de acerto das misturas

Segundo Nepomuceno [22], pela avaliação no estado fresco dos NWSCC, estes deveriam apresentar um diâmetro de espalhamento entre 600 mm e 700 mm e um tempo de escoamento entre 10 e 20 segundos. Quando os parâmetros reológicos são expressos em Gc este deve estar compreendido entre 8,00 e 11,25 e Rc entre 0,50 e 1,00, dando origem ao “alvo” apresentado na Figura 3.33. Pelo exposto, tais parâmetros serão utilizados para avaliação dos betões autocompactáveis leves no estado fresco.

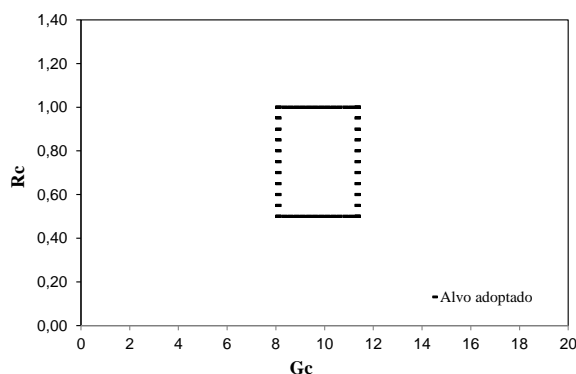


Figura 3.33. Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adotados para os betões

Sempre que no ensaio de espalhamento o betão não cumpria os requisitos mínimos reintroduzia-se essa amostra de betão na betoneira e procedia-se ao seu acerto. Os acertos dependem sobretudo de experiência laboratorial. Ao longo deste estudo, verificou-se que todas as amassaduras experimentais necessitaram de um ligeiro acréscimo de superplastificante. Isto deve-se ao facto das diferenças de volume ensaiado nas argamassas e o volume ensaiado nos LWSCC. Quanto à dosagem de água esta manteve-se constante ao longo de todas as amassaduras, pois foi considerado nas folhas de cálculo a absorção dos agregados leves.

3.6.5. Produção de provetes para ensaios no estado endurecido

Para cada amassadura procedeu-se à moldagem de 5 provetes cúbicos com 150 mm de aresta, sem qualquer tipo de vibração ou compactação. De seguida colocaram-se os provetes na câmara de cura a uma temperatura de 20 ± 2 °C e humidade relativa de $90 \pm 5\%$. Passadas 24 horas foram desmoldados e catalogados. Estes provetes seriam utilizados para o ensaio de compressão aos 7 e 28 dias de idade do betão autocompactável leve e para a medição da massa volúmica.

Para avaliação qualitativa da segregação estática do betão autocompactável leve, procedeu-se à moldagem de um provete cilíndrico para cada amassadura, previamente untado com óleo descofrante e sem qualquer tipo de vibração ou compactação. Colocaram-se os provetes na mesma camara de cura que os provetes anteriores e após 24 horas foram desmoldados e cortados longitudinalmente com o auxílio de uma serra eléctrica (Figura 3.34).



Figura 3.34. Corte longitudinal dos provetes cilíndricos

3.6.6. Ensaios no estado endurecido

3.6.6.1. Ensaio de compressão

Os ensaios à compressão foram realizados em conformidade com a Especificação do LNEC E255 [11], sendo 2 dos provetes ensaiados aos 7 dias de idade e os restantes aos 28 dias de idade.

1ª Fase - Passado o tempo de cura, retiraram-se os provetes da câmara de cura e pesaram-se.

2ª Fase - Realizou-se o ensaio de compressão na mesma prensa descrita nos ensaios da argamassa. Posicionaram-se os provetes convenientemente no prato inferior da prensa para que estes fossem comprimidos segundo uma direção perpendicular à direção de betonagem (Figura 3.35). A taxa de compressão aplicada foi de 13,5 kN/s ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e em todos os provetes verificou-se uma rotura do tipo normal (Figura 3.36).



Figura 3.35. Ensaio de compressão

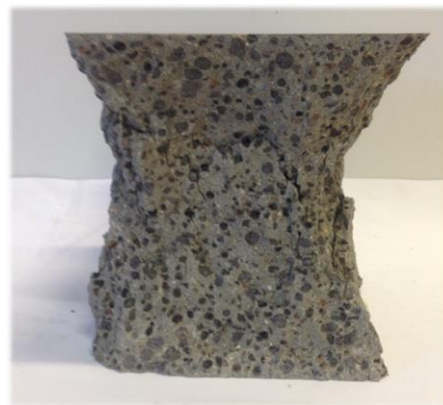


Figura 3.36. Rotura do tipo normal

3.6.6.2. Medição da massa volúmica

No presente estudo procedeu-se à medição da massa volúmica do provete saturado com superfície seca e do provete seco em estufa até massa constante.

A massa volúmica do provete saturado com superfície seca foi determinada para cada provete, com base na seguinte expressão:

$$M_{\text{sat}} = \frac{M1}{V} \quad (3.43)$$

Onde:

M_{sat} é massa volúmica do provete saturado com superfície seca, em kg/m^3 ;

$M1$ é a massa do provete saturado com a superfície seca, em kg;

V é o volume do provete, em m^3 .

Relativamente à massa volúmica do provete seco em estufa, pesaram-se os provetes e colocaram-se na estufa a uma temperatura de 100°C . Com intervalos de 24 horas pesaram-se os provetes verificando-se a estabilidade da massa às 48 horas. A massa volúmica do provete seco em estufa a 100°C até massa constante é dada por:

$$M_{\text{seca}} = \frac{M}{V} \quad (3.44)$$

Onde:

M_{seca} é a massa volúmica do provete seco em estufa a 100°C até massa constante, em kg/m^3 ;

M é a massa do provete seco até massa constante, em kg;

V é o volume do provete em m^3 .

3.6.6.3. Avaliação qualitativa da segregação

No presente estudo, para a avaliação qualitativa da segregação estática, produziram-se moldes cilíndricos, com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, e posteriormente seccionaram-se, tal como descrito no subcapítulo 3.6.5. Com base na observação visual, verificou-se uma distribuição uniforme dos agregados leves em todas as amassaduras (Figura 3.37).

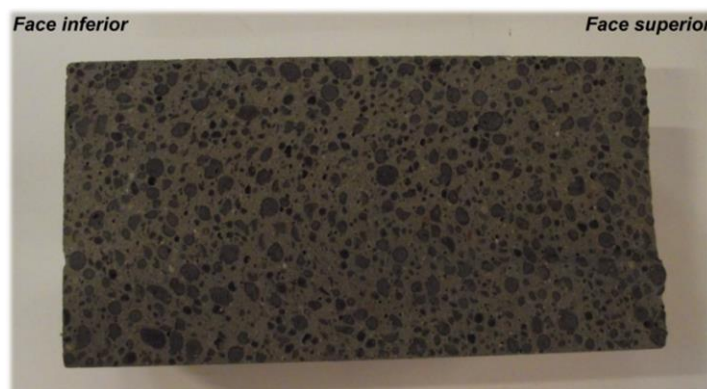


Figura 3.37. Secção de um provete cilíndrico de betão autocompactável leve

4. Apresentação e discussão dos resultados

4.1. Introdução

A metodologia adotada no presente estudo propõe a análise separada das argamassas e dos betões, uma vez que o betão autocompactável é produzido com base nas propriedades das argamassas em conjunto com o volume de vazios e agregados grossos leves. Sendo assim, um estudo pormenorizado da fase argamassa é essencial à obtenção de resultados satisfatório na fase do betão.

Inicialmente, com base em ensaios laboratoriais foram estudadas as propriedades de argamassas com diferentes “famílias de finos” e dois V_p/V_s distintos e avaliadas as suas propriedades reológicas adequadas. A utilização de diferentes “famílias de finos” proporcionou a obtenção de uma gama mais vasta de resistências à compressão. Posteriormente, face à metodologia proposta, foram produzidas amassaduras de LWSCC constituídas pelos parâmetros das argamassas, o volume de vazios e o volume de agregados grossos leves de argila expandida e avaliadas as suas propriedades reológicas. Numa etapa final avaliaram-se as resistências à compressão aos 7 e 28 dias de idade e massa volúmica do provete saturado e seco em estufa até massa constante.

Com o objetivo de uma avaliação adequada da metodologia proposta no presente estudo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo da campanha experimental e avaliadas as correlações entre os parâmetros relacionáveis no estudo das argamassas e betões. A apresentação dos resultados envolve o subcapítulo 4.2 onde se apresenta o estudo reológico inicial da fase argamassa que serviu de apoio para a aquisição de conclusões essenciais ao desenvolvimento do restante trabalho laboratorial. No subcapítulo 4.3 são apresentados os estudos em argamassas, subdividido em ensaios das argamassas no estado fresco e endurecido, correlações entre parâmetros das misturas, correlações com a resistência à compressão, percentagem de substituição do cimento pela adição. No subcapítulo 4.4 são apresentados os estudos em betões, subdividido em, correções e composição das misturas, ensaios dos betões no estado fresco, parâmetros reológicos, autocompactabilidade, correlações entre os parâmetros das misturas, correlações com a resistência à compressão, correlações da resistência dos betões e argamassas, correlações com a massa volúmica e avaliação qualitativa da segregação.

Ao longo da discussão dos resultados obtidos foi surgindo a necessidade de os relacionar com o estudo desenvolvido por Nepomuceno [22] para NWSCC, uma vez que o principal objetivo do presente trabalho era avaliar eventuais adaptações à sua metodologia.

4.2. Reologia da fase argamassa

Para se verificar se as propriedades reológicas da fase argamassa conducentes à obtenção de betões autocompactáveis de densidade normal (NWSCC) eram adequadas à produção de betões autocompactáveis de agregados leves (LWSCC), compararam-se as propriedades no estado fresco de betões produzidos com os dois tipos de agregado em dosagens equivalentes.

Inicialmente foi produzida uma argamassa adequada à produção de betões autocompactáveis de massa volúmica normal, com percentagem de substituição do cimento por fíler calcário de 60% e V_p/V_s de 0,80. Em laboratório foram ajustadas as dosagens de água e de superplastificante, tendo-se obtido um valor de V_w/V_p de 0,70 e um valor de $Sp/p\%$ entre 0,61 e 0,62, correspondentes às argamassas A-S1.6 e A-S1.7 identificadas na Tabela 4.1 e na Figura 4.1. Na produção dos betões optou-se por utilizar o valor de $Sp/p\%$ de 0,62, correspondente à argamassa A-S1.7, já que usualmente os betões necessitam de um ligeiro acréscimo de superplastificante.

Tabela 4.1. Acerto das propriedades reológicas da argamassa de referência

Mistura	ARGAMASSA: A-S1 (40C1+60FC)							
	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	V_p/V_s	V_w/V_p	$Sp/p\%$	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A-S1.1	0,80	0,70	0,40	155	156	21,22	1,42	0,47
A-S1.2	0,80	0,70	0,45	175	173	17,96	2,03	0,56
A-S1.3	0,80	0,70	0,50	197	200	11,66	2,94	0,86
A-S1.4	0,80	0,70	0,53	199	210	12,88	3,18	0,78
A-S1.5	0,80	0,70	0,58	228	230	8,87	4,24	1,13
A-S1.6	0,80	0,70	0,61	247	254	8,13	5,28	1,23
A-S1.7	0,80	0,70	0,62	273	277	8,20	6,56	1,22

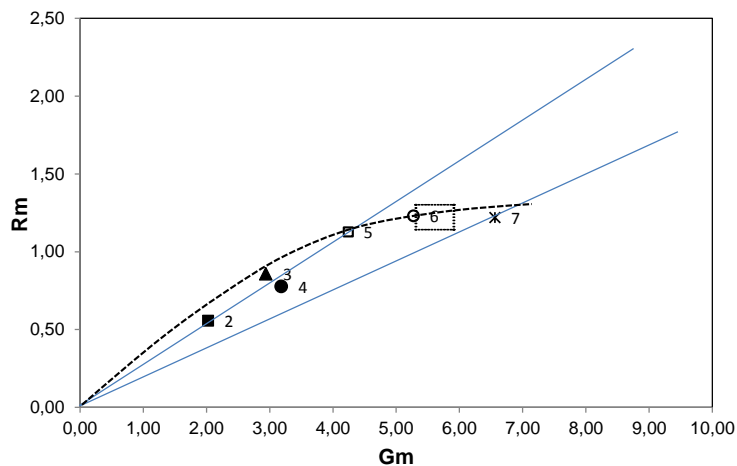


Figura 4.1. Acerto das propriedades reológicas da argamassa de referência

Com a argamassa de referência produziu-se um betão autocompactável de massa volúmica normal usando a razão V_m/V_g de 2,28. Esse betão foi designado de BAC-S1.1. Posteriormente produziu-se o betão BAL-S1.1, de composição idêntica ao betão BAC-S1.1, diferindo apenas no facto do mesmo volume absoluto de agregados grossos naturais ter sido substituído por agregados grossos leves. Testou-se ainda um segundo betão autocompactável de agregados leves BAL-S1.2

idêntico ao anterior, diferindo apenas no facto deste último ter sido produzido com a correção da dosagem efetiva de água em função da absorção dos agregados leves. Pretendeu-se assim avaliar o efeito da absorção de água nas propriedades reológicas dos betões de agregados leves.

Uma vez que a mistura BAL-S1.1 foi produzida sem correção, o agregado leve de argila expandida absorveu parte da água da mistura, implicando uma redução da quantidade de água efetiva e consequentemente a redução da razão W/C.

Na tabela 4.2 apresentam-se os parâmetros relevantes da composição dos betões produzidos. Na Tabela 4.3 apresentam-se as dosagens teóricas calculadas, na Tabela 4.4 os parâmetros de correção em função da absorção e do teor em água superficial dos agregados e na Tabela 4.5 são apresentadas as dosagens de amassadura corrigidas, com base nos dados da tabela anterior (Tabela 4.4). Na tabela 4.6 são apresentadas as correções adicionais da mistura para obtenção das propriedades reológicas pretendidas.

Uma vez que o agregado leve absorve parte da água da mistura, no caso particular do BAL-S1.1, as dosagens efetivas serão distintas das dosagens teóricas, sendo assim na Tabela 4.7 são apresentadas as dosagens efetivas das amassaduras e razão W/C retificada.

Tabela 4.2. Parâmetros relevantes das misturas

Betão	Família de Finos	Composição das misturas										
		Vp [m ³]	Vs [m ³ /m ³]	Vp/Vs	Vm [m ³ /m ³]	Vg [m ³ /m ³]	Vm/Vg	Vs/Vm	Vw [m ³ /m ³]	Vw/Vp	Vsp [m ³ /m ³]	Sp/p%
BAC-S1.1	40C1+60FC	0,227	0,284	0,80	0,674	0,296	2,275	0,42	0,159	0,700	0,0039	0,62
BAL-S1.1	40C1+60FC	0,227	0,284	0,80	0,674	0,296	2,275	0,42	0,159	0,700	0,0039	0,62
BAL-S1.2	40C1+60FC	0,227	0,284	0,80	0,674	0,296	2,275	0,42	0,159	0,700	0,0039	0,62

Tabela 4.3. Dosagens teóricas calculadas

Parâmetros de composição	BAC - S1.1	BAL - S1.1	BAL - S1.2
	Dosagens teóricas		
C [kg/m ³]	281,61	281,61	281,61
FC [kg/m ³]	370,64	370,64	370,64
W [l/m ³]	158,97	158,97	158,97
Sp [l/m ³]	3,85	3,85	3,85
Areia 0/2 [kg/m ³]	363,23	363,23	363,23
Areia 0/4 [kg/m ³]	367,06	367,06	367,06
Leca S [kg/m ³]	---	82,64	82,64
Leca 4/12 [kg/m ³]	---	247,34	247,34
Brita 3/6 [kg/m ³]	481,59	---	---
Brita 6/15 [kg/m ³]	319,88	---	---
W/C	0,565	0,565	0,565

Tabela 4.4. Parâmetros de correção em função da absorção e do teor em água superficial dos agregados

Parâmetros de composição	BAC - S1.1		BAL-S1.1		BAL - S1.2	
	A ⁽¹⁾ %	H ⁽²⁾ %	A ⁽¹⁾ %	H ⁽²⁾ %	A ⁽¹⁾ %	H ⁽²⁾ %
Areia 0/2 [kg/m ³]	---	5,14	---	5,14	---	4,39
Areia 0/4 [kg/m ³]	---	0,69	---	0,69	---	2,00
Leca S [kg/m ³]	---	---	---	---	0,48	---
Leca 4/12 [kg/m ³]	---	---	---	---	1,21	---
Brita 3/6 [kg/m ³]	---	---	---	---	---	---
Brita 6/15 [kg/m ³]	---	---	---	---	---	---

⁽¹⁾ Absorção de água do agregado leve de argila expandida
⁽²⁾ Teor de água superficial dos agregados

Tabela 4.5. Dosagens de amassadura (corrigidas)

Parâmetros de composição	BAC - S1.1	BAL - S1.1	BAL - S1.2
	Dosagens Corrigidas		
C [kg/m ³]	281,61	281,61	281,61
FC [kg/m ³]	370,64	370,64	370,64
W [l/m ³]	136,80	136,80	138,17
Sp [l/m ³]	3,85	3,85	3,85
Areia 0/2 [kg/m ³]	381,90	381,90	379,18
Areia 0/4 [kg/m ³]	369,59	369,59	374,41
Leca S [kg/m ³]	---	82,64	82,24
Leca 4/12 [kg/m ³]	---	247,34	244,35
Brita 3/6 [kg/m ³]	481,59	---	---
Brita 6/15 [kg/m ³]	319,88	---	---

Tabela 4.6. Correções adicionais da mistura para obtenção das propriedades reológicas

Betão	Correções da mistura (para 25 litros de betão)		Correções da mistura (por m ³ de betão)	
	ΔW [g]	ΔSp [g]	ΔW [l]	ΔSp [l]
	BAC-S1.1	0	33	0	1,26
BAL-S1.1	0	51	0	1,94
BAL-S1.2	0	33	0	1,26

Tabela 4.7. Dosagens efetivas

Parâmetros de composição	BAC - S1.1	BAL - S1.1	BAL-S1.2
	Dosagens efetivas		
C [kg/m ³]	281,61	281,61	281,61
FC [kg/m ³]	370,64	370,64	370,64
W [l/m ³]	158,97	155,61	158,97
Sp [l/m ³]	5,11	5,79	5,11
Areia 0/2 [kg/m ³]	363,23	363,23	363,23
Areia 0/4 [kg/m ³]	367,06	367,06	367,06
Leca S [kg/m ³]	---	83,04	82,64
Leca 4/12 [kg/m ³]	---	250,33	247,34
Brita 3/6 [kg/m ³]	481,59	---	---
Brita 6/15 [kg/m ³]	319,88	---	---
W/C	0,565	0,553	0,565

As propriedades no estado fresco dos três betões produzidos foram avaliadas pelos parâmetros Gc (espalhamento), Rc (fluidez no funil V), T40 (caixa L) e H2/H1 (caixa L). No estado endurecido foram avaliadas as resistências à compressão aos 28 dias de idade. Os resultados desses ensaios são apresentados na Tabela 4.8. A comparação dos valores de Gc e Rc obtidos nos três betões produzidos é ilustrada graficamente na Figura 4.2. Note-se que as misturas BAL-S1.1 e BAL-S1.2 são idênticas, diferindo apenas as correções de absorção de água dos agregados leves efetuadas (BAL-S1.1), apresentam resistências à compressão distintas. Isto deve-se ao facto da redução da razão W/C que consequentemente implica a obtenção de resistências à compressão superiores.

Tabela 4.8. Ensaios no estado fresco e endurecido

Betão	Propriedades reológicas					Autocompactabilidade		Resistência à compressão		
	Espalhamento		Fluidez			Caixa L		$f_{cm,28}$	Sd	Cv
	T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	[MPa]	[MPa]	[%]
BAC-S1.1	---	705	11,43	14,30	0,70	3,49	0,84	53,1	0,3	0,7
BAL-S1.1	---	648	9,50	26,28	0,38	7,45	0,72	36,2	3,0	8,3
BAL-S1.2	---	650	9,56	14,38	0,70	3,61	0,79	35,3	2,9	8,3

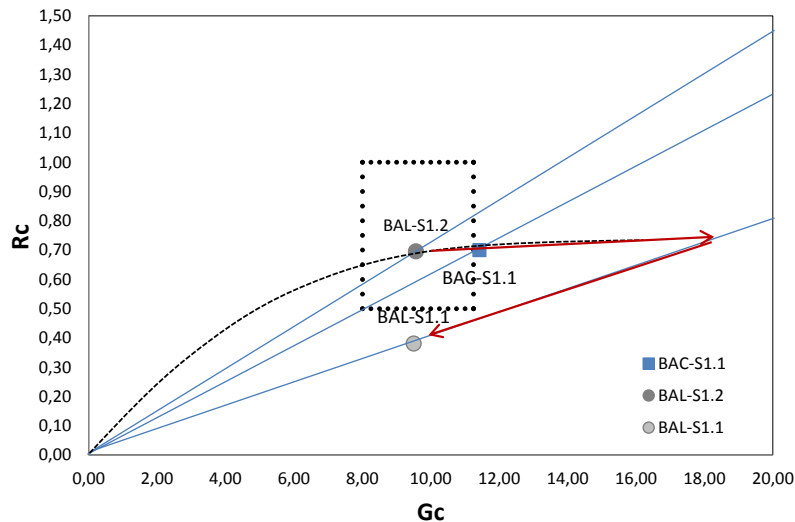


Figura 4.2. Propriedades reológicas dos betões

Ainda que se tenha então reconhecido que os resultados desta fase preliminar eram em número insuficiente para concluir acertadamente do ponto de vista estatístico, entendeu-se que, face aos prazos estabelecidos, não era viável prolongar-se esta etapa por mais tempo, assumindo-se então os riscos inerentes de uma conclusão precipitada. Contudo, salienta-se que os resultados dos restantes betões autocompactáveis de agregados leves produzidos ao longo do presente trabalho vieram a corroborar estes resultados.

A comparação entre os resultados obtidos no estado fresco para as misturas BAC-S1.1 e BAL-S1.2, ilustrados na Figura 4.2, evidenciava que a substituição do agregado grosso natural pelo mesmo volume de agregado grosso leve não produzia alterações muito significativas nas propriedades no estado fresco do betão autocompactável, contabilizando a absorção do agregado leve adequada. Observou-se, no entanto, que os valores do diâmetro de espalhamento e de H2/H1 na caixa L reduziram ligeiramente com a introdução de agregados leves, o que se poderia justificar pela menor massa volúmica do betão de agregados leves. Em termos de velocidade de escoamento no funil V não ocorreram alterações significativas. De acordo com a trajetória desenhada a vermelho na Figura 4.2, tudo indicava que as misturas com agregados leves poderiam vir a necessitar de um ligeiro acréscimo de superplastificante face às misturas com agregados naturais para se obter igual capacidade de deformação.

Como se referiu anteriormente, a mistura BAL-S1.2 foi produzida replicando a mistura BAL-S1.1, mas com a correção da absorção de água dos agregados leves. A ausência de correção da absorção no BAL-S1.1, levou a uma dosagem efetiva de água inferior à do BAL-S1.2. Em consequência disso seria de esperar simultaneamente uma maior viscosidade e uma menor capacidade de deformação. A maior viscosidade reflete-se numa redução da velocidade de escoamento no funil V, com obtenção de tempos de escoamento maiores. Por outro lado, uma menor capacidade de deformação reflete-se na redução do diâmetro no ensaio de espalhamento.

A experiência indicava que um ligeiro aumento da dosagem de superplastificante poderia ajudar a repor a capacidade de deformação, mas que o seu efeito sobre a velocidade de deformação seria pouco significativo. De facto, os resultados vieram a demonstrar isso mesmo como se observa a comparação entre os resultados obtidos na Figura 4.2.

Com base nesta análise preliminar, foi possível concluir que as propriedades reológicas das argamassas propostas por Nepomuceno para os NWSCC são adequadas à produção dos LWSCC apenas quando se introduz a devida correção da dosagem efetiva de água em função da absorção dos agregados leves.

4.3. Estudos em argamassas

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos no estudo da fase argamassa. O estudo da fase argamassa incluiu a produção de nove famílias de argamassas, combinando valores de V_p/V_s de 0,80 e 0,70 com diferentes “famílias de finos”, ou seja, diferentes percentagens de substituição do ligante por adição, conducentes a diferentes razões W/C compreendidas entre os 0,29 e os 0,60. Todas as argamassas produzidas têm em comum as mesmas propriedades de escoamento adequadas à produção de betões autocompactáveis. Nos subcapítulos 4.3.1 a 4.3.4 apresentam-se, por esta ordem, os resultados obtidos no estado fresco e endurecido, as correlações entre os parâmetros das misturas, as correlações com a resistência à compressão e a percentagem de substituição do cimento pela adição.

4.3.1. Ensaio das argamassas no estado fresco e endurecido

Na Tabela 4.9 apresentam-se os parâmetros relevantes da composição de cada uma das famílias de argamassas produzidas. A primeira coluna da Tabela 4.9 refere-se à identificação da argamassa, enquanto a segunda apresenta a constituição da “família de finos”, ou seja, as proporções em volume absoluto entre o cimento e o fíler calcário. Para o valor de V_p/V_s de 0,80 foram produzidas seis famílias de argamassas, enquanto para V_p/V_s de 0,70 foram produzidas apenas três famílias de argamassas. Para cada combinação entre V_p/V_s e a “família de finos” foi necessário produzir em laboratório uma média de três argamassas fazendo variar V_w/V_p e $S_p/p\%$ até se conseguir acertar as propriedades reológicas. Na tabela 4.10 são apresentadas as dosagens teóricas (efetivas) de cada amassadura. As argamassas apresentadas nas seguintes tabelas são apenas aquelas que cumpriram os parâmetros reológicos, ou seja, têm em comum o facto de apresentarem valores de G_m entre 5,3 e 5,9 e de R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1} , a que correspondem, respetivamente, valores de D_m entre 251 e 263 mm e de t entre 7,69 e 8,77 s.

Tabela 4.9. Parâmetros relevantes das misturas

Betão	Família de Finos	fad.	W/C	Composição das misturas		
				Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%
A - S1.7	40C1+60FC	0,60	0,565	0,80	0,70	0,62
A - S2.3	50C1+50FC	0,50	0,458	0,80	0,71	0,64
A - S3.3	60C1+40FC	0,40	0,409	0,80	0,76	0,66
A - S4.3	70C1+30FC	0,30	0,355	0,80	0,77	0,80
A - S5.2	80C1+20FC	0,20	0,323	0,80	0,80	0,89
A - S6.4	100C1	0,00	0,281	0,80	0,87	1,00
A - S7.1	40C1+60FC	0,60	0,597	0,70	0,74	0,62
A - S8.4	60C1+40FC	0,40	0,425	0,70	0,79	0,74
A - S9.2	100C1	0,00	0,290	0,70	0,90	1,13

Tabela 4.10. Dosagens teóricas (efetivas)

Argamassa	Família de finos	Composição das misturas					
		C [kg/m ³]	FC [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	Areia 0/2 [kg/m ³]	Areia 0/4 [kg/m ³]
A - S1.7	40C1+60FC	417,9	550,1	235,9	5,72	539,1	544,7
A - S2.3	50C1+50FC	520,5	456,7	238,4	5,96	537,1	542,8
A - S3.3	60C1+40FC	614,2	359,3	250,9	6,12	528,1	533,7
A - S4.3	70C1+30FC	713,2	268,2	253,1	7,48	525,6	531,2
A - S5.2	80C1+20FC	806,3	176,9	260,1	8,33	520,0	525,5
A - S6.4	100C1	984,3	0	276,2	9,37	507,8	513,2
A - S7.1	40C1+60FC	389,3	512,3	232,3	5,32	573,8	579,9
A - S8.4	60C1+40FC	574,2	335,9	243,9	6,41	564,3	570,2
A - S9.2	100C1	922,1	0	267,7	9,92	543,7	549,4

Na Tabela 4.11 são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco e endurecido. A resistência à compressão das argamassas variou de 43,1 a 79,6 MPa quando a razão W/C em massa variou 0,29 a 0,60.

Tabela 4.11. Resultados obtidos no estado fresco e endurecido

Identificação		Estado Fresco		Estado Endurecido		
		Reologia		f _{m,28}		
Argamassa	Família de finos	Gm	Rm	Média	Sd	Cv [%]
A - S1.7	40C1+60FC	6,56	1,22	48,0	1,0	2,1
A - S2.3	50C1+50FC	5,58	1,20	55,3	3,0	5,4
A - S3.3	60C1+40FC	5,60	1,26	64,2	2,2	3,3
A - S4.3	70C1+30FC	5,76	1,22	69,0	3,0	4,3
A - S5.2	80C1+20FC	5,30	1,24	74,1	6,0	8,1
A - S6.4	100C1	5,76	1,20	79,6	2,5	3,1
A - S7.1	40C1+60FC	5,66	1,29	43,1	2,2	5,0
A - S8.4	60C1+40FC	5,45	1,22	65,4	2,3	3,5
A - S9.2	100C1	5,92	1,36	74,2	2,7	3,6

4.3.2. Correlações entre os parâmetros das misturas

A campanha experimental estabelecida inicialmente previa a eventualidade de ser necessário adequar as propriedades reológicas da argamassa definidas na metodologia proposta por Nepomuceno [22]. Ao cumprirem-se os pressupostos analisados no Subcapítulo 4.2, essa adequação tornou-se desnecessária, pelo que os parâmetros propostos por Nepomuceno *et al.* [HH] poderão ser utilizados como estimativas para os ensaios iniciais das argamassas, tendo como vantagem a possibilidade de estender a aplicação da metodologia a propor no final deste trabalho a uma gama mais variada de cimentos e adições, para além daqueles avaliados. Contudo, a utilização do cimento CEM II/B-L 32,5N (C2) proposta por Nepomuceno *et al.* [24], poderia não se justificar em LWSCC, pois a necessidade de reforçar a fase argamassa poderia conduzir a razões W/C muito baixas e, conseqüentemente, a dosagens de cimento elevadas. Relativamente à adição a utilizar, propõe-se a utilização de fíler calcário ou cinzas volantes,

sendo das adições mais utilizadas em estudos de betões autocompactáveis. Sendo assim, nas Figuras 4.3 e 4.4 são ilustradas apenas as misturas binárias de cimento e adição, combinando o cimento CEM I 42,5R (C1) com as adições de fíler calcário (FC) e cinzas volantes (CV).

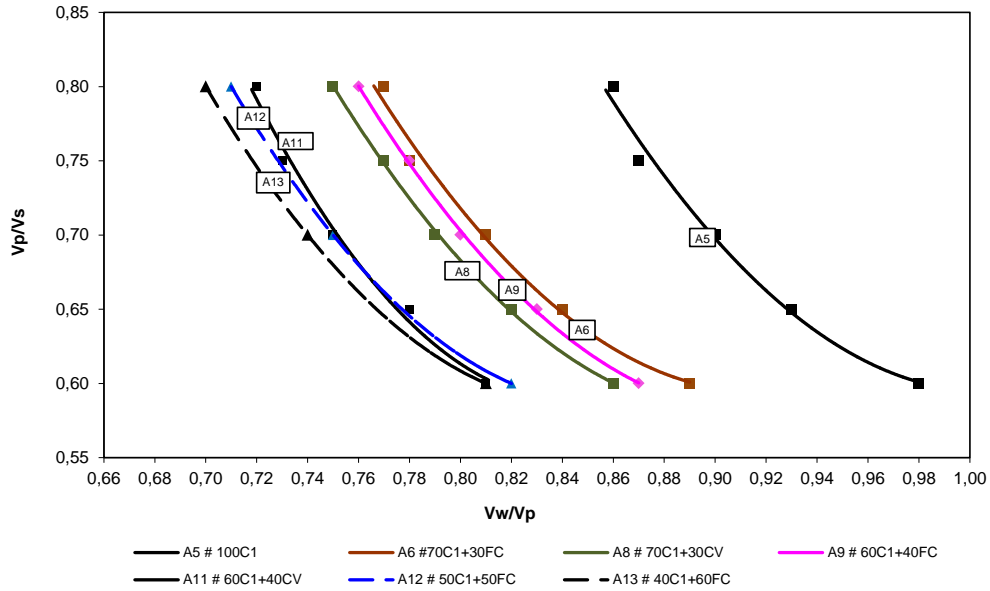


Figura 4.3. Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para misturas binárias

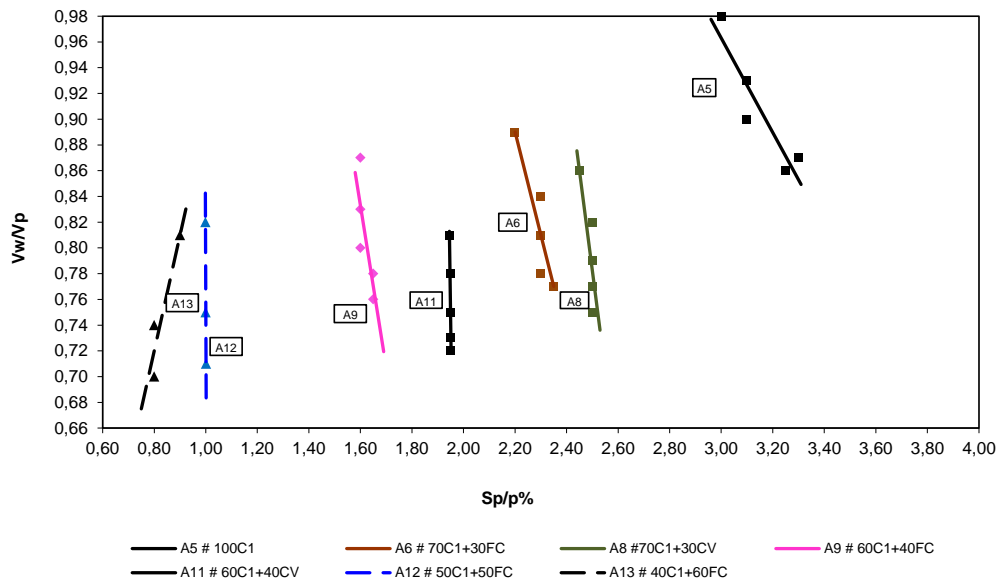


Figura 4.4. Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para misturas binárias

Os resultados obtidos no presente trabalho com a aplicação dos parâmetros propostos por Nepomuceno *et al.* [24] para as misturas binárias de cimento CEM I 42,5R e fíler calcário, já apresentados na Tabela 4.9, mostraram-se coincidentes com as previsões propostas. Salienta-se

apenas o facto de se ter constatado uma redução na razão $Sp/p\%$ da ordem de 30% a 50% comparativamente à prevista, o que se ficou a dever à utilização de um superplastificante mais eficaz que o utilizado por Nepomuceno *et al.* [24]. Contudo, esta diferença em nada interfere com a metodologia proposta, uma vez que as dosagens de água foram iguais às previstas.

Na Figura 4.5 é apresentada a variação de consumo de superplastificante em função do consumo de cimento. Pela sua análise conclui-se que o consumo de superplastificante aumenta com a dosagem de cimento, ou seja, aumenta com a diminuição da percentagem de substituição do cimento pela adição. No presente estudo foi utilizado apenas o cimento CEM I 42,5R, contudo a variação de consumo de superplastificante depende do tipo de cimento utilizado bem como do tipo e origem do adjuvante.

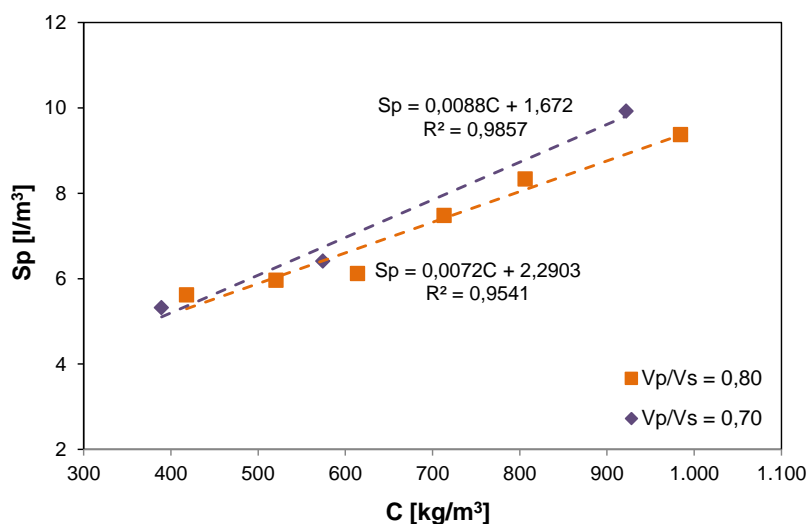


Figura 4.5. Dosagem de superplastificante em função do consumo de cimento

4.3.3. Correlações com a resistência à compressão

Com base nos resultados obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias de idade e a razão W/C , traçou-se o gráfico ilustrado na Figura 4.6, para o cimento tipo I 42,5R utilizado. Pela sua análise é possível visualizar uma gama de resistências satisfatória entre os 43 e 80 MPa, bem como o aumento da razão W/C quando a resistência à compressão diminui.

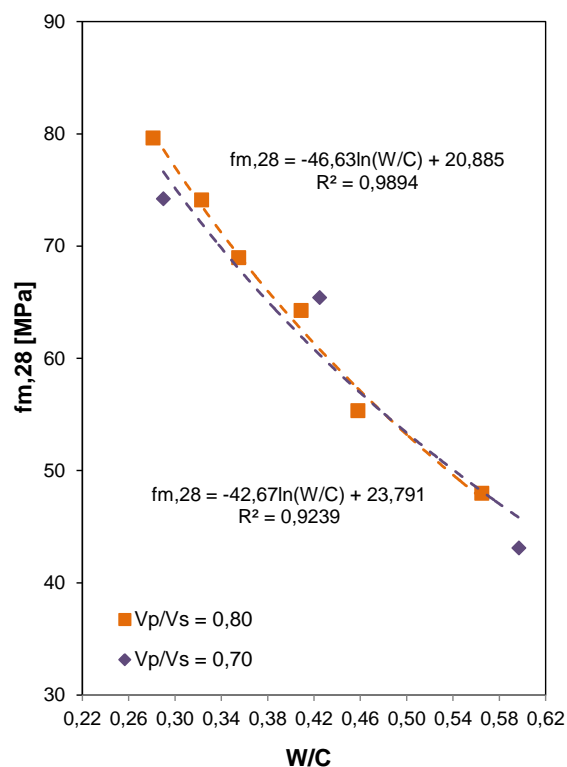


Figura 4.6. Relação $f_{m,28}$ versus W/C para todas as famílias de argamassas

4.3.4. Percentagem de substituição do cimento pela adição

No presente estudo foram definidas diferentes “famílias de finos”, sendo considerado um parâmetro “chave” para o estudo da composição das argamassas e avaliação da resistência à compressão. Tal parâmetro define as proporções de cimento e de adição a utilizar.

Com o aumento da percentagem de substituição (em volume absoluto) do cimento pela adição (fad.) verifica-se um aumento da razão W/C (em massa) e conseqüente redução da resistência. Contudo essa relação depende do parâmetro V_p/V_s , como demonstrou Nepomuceno [22]. Sendo os parâmetros apresentados relacionáveis, procedeu-se ao desenvolvimento do gráfico ilustrado na Figura 4.7 tendo por base os resultados apresentados na Tabela 4.9.

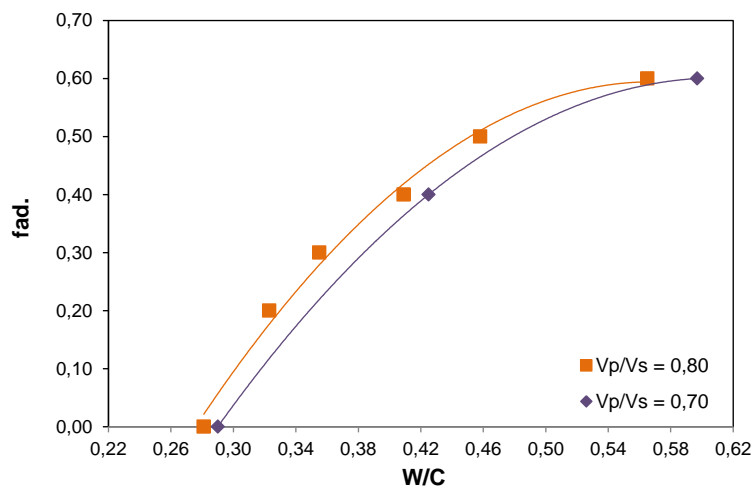


Figura 4.7. Relação de fad. versus W/C para todas as famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário

Definidos os materiais a utilizar e a resistência pretendida é possível estimar-se a razão W/C e a partir daí determinar-se a percentagem de substituição do cimento pela adição através da Figura 4.7, conhecido o valor de Vp/Vs. Contudo, a leitura efetuada através da representação gráfica acarreta erros, surgindo a necessidade, uma vez que são relacionadas três variáveis, de realizar um modelo matemático com base no programa *Tcurve-3D* e assim definir uma equação que fornecesse a percentagem de substituição em função da razão W/C e da razão Vp/Vs. Com base nos dados apresentados na Tabela 4.9 e no programa *Tcurve-3D* obteve-se o gráfico ilustrado na Figura 4.8.

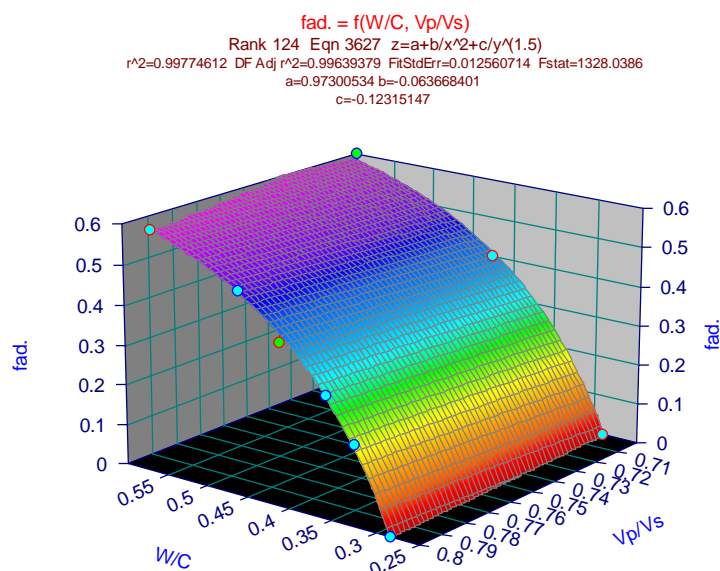


Figura 4.8. Relação de fad. em função da W/C e Vp/Vs

Após análise das equações fornecidas pelo programa, selecionou-se a equação com o melhor significado físico e que fornecesse a melhor correlação possível (Equação 4.1). Na Equação 4.1, as constantes a, b e c assumem os valores de a = 0,97300534, b = - 0,063668401, c = - 0,12315147.

$$\text{fad.} = a + \frac{b}{\left(\frac{Vp}{Vs}\right)^2} + \frac{c}{\left(\frac{W}{C}\right)^{1,5}} \quad (4.1)$$

Uma vez que a metodologia proposta por Nepomuceno [22] se revelou adequada no estudo da reologia na fase argamassa e foi utilizada uma gama pouca vasta de percentagens de substituição no presente estudo, decidiu-se elaborar um modelo no *Tcurve-3D* com os resultados obtidos ao longo da campanha experimental e os obtidos por Nepomuceno [22], para misturas binárias constituídas por CEM I 42,5R e filer calcário. Na Tabela 4.12 são apresentados os resultados obtidos por Nepomuceno [22]. Com recurso ao programa *Tcurve-3D* e aos dados apresentados na Tabela 4.9 e Tabela 4.12 obteve-se o modelo ilustrado Figura 4.9.

Tabela 4.12. Resultados obtidos por Nepomuceno [22]

Argamassa	Família de finos	Composição das misturas		
		fad.	Vp/Vs	W/C
A.5.0,60	100C1	0,00	0,60	0,312
A.5.0,65	100C1	0,00	0,65	0,296
A.5.0,70	100C1	0,00	0,70	0,287
A.5.0,75	100C1	0,00	0,75	0,277
A.5.0,80	100C1	0,00	0,80	0,274
A.6.0,60	70C1+30FC	0,30	0,60	0,405
A.6.0,65	70C1+30FC	0,30	0,65	0,382
A.6.0,70	70C1+30FC	0,30	0,70	0,369
A.6.0,75	70C1+30FC	0,30	0,75	0,355
A.6.0,80	70C1+30FC	0,30	0,80	0,350
A.9.0,60	60C1+40FC	0,40	0,60	0,441
A.9.0,65	60C1+40FC	0,40	0,65	0,419
A.9.0,70	60C1+40FC	0,40	0,70	0,405
A.9.0,75	60C1+40FC	0,40	0,75	0,396
A.9.0,80	60C1+40FC	0,40	0,80	0,387
A.12.0,60	50C1+50FC	0,50	0,60	0,391
A.12.0,70	50C1+50FC	0,50	0,65	0,373
A.12.0,80	50C1+50FC	0,50	0,70	0,359
A.13.0,60	40C1+60FC	0,60	0,75	0,350
A.13.0,70	40C1+60FC	0,60	0,80	0,341
A.13.0,80	40C1+60FC	0,60	0,60	0,462

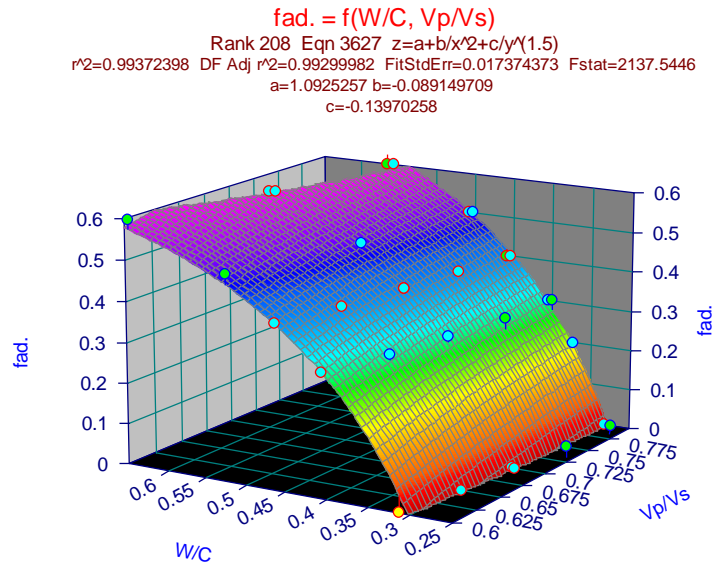


Figura 4.9. Relação de fad. em função da W/C e Vp/Vs

Ao longo do desenvolvimento do modelo escolhido o programa forneceu diferentes soluções matemáticas, optando-se pela equação que apresentava o melhor coeficiente de correlação e que em termos físicos melhor traduzia o comportamento pretendido (Equação 4.2). Na Equação 4.2, as constantes a, b e c assumem os valores de a = 1,0925257, b = -0,089149709 e c = -0,13970258.

$$\text{fad.} = a + \frac{b}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2} + \frac{c}{\left(\frac{W}{C}\right)^{1,5}} \quad (4.2)$$

Analisando comparativamente a Figura 4.8 e a Figura 4.9, é possível observar-se o mesmo comportamento de fad. em função da razão W/C e razão Vp/Vs, concluindo-se que as correlações propostas por Nepomuceno [22] para determinar as percentagens de substituição são adequadas à produção de argamassas conducentes a LWSCC. Sendo assim, a utilização dos dados obtidos por Nepomuceno [22], auxiliaram o aperfeiçoamento do modelo obtido apenas com os dados laboratoriais. Visto que anteriormente se concluíram adequadas as correlações para determinação da percentagem de substituição do cimento pela adição apresentadas por Nepomuceno [22], estas podem ser estendidas à aplicação de cinzas volantes. Apesar de Nepomuceno [22] apresentar correlações para outras adições, optou-se pelas mais frequentemente usadas em betões autocompactáveis. Sendo assim, na Figura 4.10 é ilustrado o modelo obtido com base no programa *Tcurve-3D* e os dados apresentados na Tabela 4.13, para misturas binárias constituídas por CEM I 42,5R e cinzas volantes.

Tabela 4.13. Resultados obtidos por Nepomuceno [22]

Argamassa	Familia de finos	Composição das misturas		
		fad.	Vp/Vs	W/C
A.5.0,60	100C1	0,00	0,60	0,312
A.5.0,65	100C1	0,00	0,65	0,296
A.5.0,70	100C1	0,00	0,70	0,287
A.5.0,75	100C1	0,00	0,75	0,277
A.5.0,80	100C1	0,00	0,80	0,274
A.8.0,60	70C1+30CV	0,30	0,60	0,391
A.8.0,65	70C1+30CV	0,30	0,65	0,373
A.8.0,70	70C1+30CV	0,30	0,70	0,359
A.8.0,75	70C1+30CV	0,30	0,75	0,350
A.8.0,80	70C1+30CV	0,30	0,80	0,341
A.11.0,60	60C1+40CV	0,40	0,60	0,430
A.11.0,65	60C1+40CV	0,40	0,65	0,414
A.11.0,70	60C1+40CV	0,40	0,70	0,398
A.11.0,75	60C1+40CV	0,40	0,75	0,388
A.11.0,80	60C1+40CV	0,40	0,80	0,382

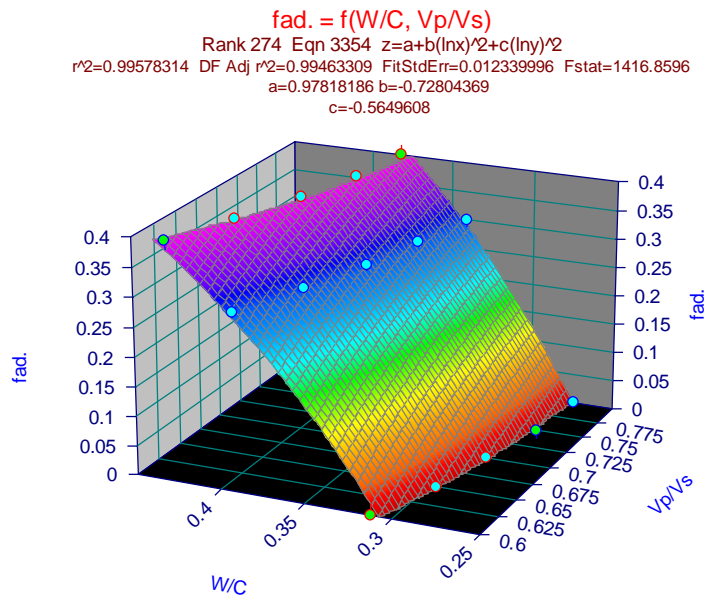


Figura 4.10. Relação de fad. em função da W/C e Vp/Vs

Após esta análise selecionou-se a equação com o melhor significado físico e que fornecesse a melhor correlação possível (Equação 4.3). Nesta equação, as constantes a, b e c assumem os valores de $a = 0,97818186$, $b = -0,72804369$ e $c = -0,5649608$.

$$fad. = a + b \times \left(\ln \left(\frac{Vp}{Vs} \right) \right)^2 + c \times \left(\ln \left(\frac{W}{C} \right) \right)^2 \quad (4.3)$$

É importante salientar que as equações apresentadas, apenas se aplicam a misturas de finos binárias contendo CEM I 42,5R e filer calcário ou cinzas volantes. Por exemplo, estabelecida uma razão Vp/Vs de 0,80 e uma razão W/C de 0,52, a percentagem de substituição de cimento por adição seria de 0,57 de acordo com a Equação (4.1). Sendo assim, a “família de finos” da argamassa seria constituída, em volume absoluto, por uma mistura binária de 43% de CEM I 42,5R e 57% de filer calcário.

4.4. Estudos em betões

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos no estudo dos betões autocompactáveis leves. O estudo da fase de betões inclui a produção de amassaduras com um V_m/V_g de 2,28 e 2,60 tendo por base os parâmetros das argamassas estudadas anteriormente. O principal objetivo no presente capítulo foi avaliar a autocompactabilidade das amassaduras de betões no estado fresco, no estado endurecido a resistência à compressão que oferecem ao fim de 28 dias de cura e avaliação qualitativa da segregação. No estado endurecido foi também avaliada a massa volúmica dos provetes saturados e secos em estufa a 100°C até massa constante. Visto que as amassaduras de betão apresentam uma maior escala comparativamente às argamassas surgiu a necessidade de realizar ajustes na composição das misturas, sendo assim no subcapítulo 4.4.1 são apresentadas tais ajustes. Nos subcapítulos 4.4.2 a 4.4.9 apresentam-se, por esta ordem, os resultados obtidos no estado fresco, os parâmetros reológicos, autocompactabilidade, as correlações entre os parâmetros das misturas, as correlações com a resistência à compressão, correlações da resistência dos betões e argamassas, correlações com a massa volúmica, avaliação qualitativa da segregação.

4.4.1. Correções e composição das misturas

Ao longo da produção dos betões autocompactáveis leves foi necessário realizar correções em termos da quantidade de superplastificante, devido às diferenças de proporções de amassadura entre as argamassas e os betões. Dado isto, na Tabela 4.14 são apresentadas as correções efetuadas e conseqüentemente as alterações induzidas nos parâmetros das misturas.

Tabela 4.14. Correções efetuadas nas amassaduras de betão

Identificação do betão	Situação inicial					Correção por m3 de betão					
	Valores calculados		Parâmetros iniciais			Em valor absoluto		Valores efetivos		Parâmetros	
	W [Litros]	Sp [Litros]	Vw/Vp	Sp/p (%)	W/C	Δw [Litros]	ΔSP [Litros]	Sp [Litros]	Vw/Vp	Sp/p%	W/C
BAL-S1.1	136,80	3,85	0,70	0,62	0,565	0	1,94	5,79	0,70	0,673	0,553
BAL-S1.2	158,97	3,85	0,70	0,62	0,565	0	1,26	5,11	0,70	0,702	0,565
BAL-S2.1	160,66	4,01	0,71	0,64	0,458	0	0,72	4,73	0,71	0,671	0,458
BAL-S3.1	169,09	4,12	0,76	0,66	0,409	0	1,41	5,53	0,76	0,719	0,409
BAL-S4.1	170,52	5,04	0,77	0,80	0,355	0	0,88	5,92	0,77	0,837	0,355
BAL-S5.1	175,27	5,62	0,80	0,89	0,323	0	1,52	7,14	0,80	0,955	0,323
BAL-S6.1	186,13	6,32	0,87	1,00	0,281	0	1,60	7,92	0,87	1,067	0,281
BAL-S7.1	162,74	3,73	0,74	0,62	0,597	0	0,91	4,64	0,74	0,660	0,597
BAL-S8.1	170,85	4,49	0,79	0,74	0,425	0	0,91	5,40	0,79	0,780	0,425
BAL-S9.1	187,54	6,95	0,90	1,13	0,290	0	0,00	6,95	0,90	1,130	0,290

Pela análise das correções efetuadas é possível visualizar que em média, por metro cúbico de betão, a quantidade de superplastificante adicionada foi na ordem dos 0,30 litros e a quantidade de água nula. Contudo, este aumento é insignificante comparativamente às proporções da amassadura, não alterando as propriedades do betão no estado endurecido.

Em seguida, são apresentados na Tabela 4.15 os parâmetros relevantes de composição das misturas dos betões autocompactáveis leves, com um “MN” constante de 1,82, dado por:

$$MN = \frac{V_p}{V_s} \times \frac{V_m}{V_g} \quad (4.4)$$

Onde:

MN é o “número da mistura”;

V_p/V_s é a relação entre o volume de materiais finos e o volume de agregados finos;

V_m/V_g é a relação em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos.

No subcapítulo 4.2 conclui-se fundamental contabilizar a absorção dos agregados leves nas amassaduras de betão, para a obtenção de parâmetros reológicos adequados. Pelo exposto, na Tabela 4.16 apresentam-se as absorções e o teor de água superficial dos agregados utilizados nas amassaduras de betão realizadas ao longo da campanha experimental, enquanto na Tabela 4.17 são apresentadas as dosagens efetivas de cada amassadura.

Tabela 4.15. Parâmetros relevantes das misturas

Betão	Família de Finos	Composição das misturas										
		V_p [m ³]	V_s [m ³ /m ³]	V_p/V_s	V_m [m ³ /m ³]	V_g [m ³ /m ³]	V_m/V_g	V_s/V_m	V_w [m ³ /m ³]	V_w/V_p	V_{sp} [m ³ /m ³]	$Sp/p\%$
BAL-S1.1	40C1+60FC	0,227	0,284	0,80	0,674	0,296	0,275	0,421	0,159	0,70	0,0039	0,62
BAL-S1.2	40C1+60FC	0,227	0,284	0,80	0,674	0,296	0,275	0,421	0,159	0,70	0,0039	0,62
BAL-S2.1	50C1+50FC	0,226	0,283	0,80	0,674	0,296	2,275	0,420	0,161	0,71	0,0040	0,64
BAL-S3.1	60C1+40FC	0,222	0,278	0,80	0,674	0,296	2,275	0,413	0,169	0,76	0,0041	0,66
BAL-S4.1	70C1+30FC	0,221	0,277	0,80	0,674	0,296	2,275	0,411	0,171	0,77	0,0050	0,80
BAL-S5.1	80C1+20FC	0,219	0,274	0,80	0,674	0,296	2,275	0,406	0,175	0,80	0,0056	0,89
BAL-S6.1	100C1	0,214	0,267	0,80	0,674	0,296	2,275	0,397	0,186	0,87	0,0063	1,00
BAL-S7.1	40C1+60FC	0,220	0,314	0,70	0,701	0,269	2,600	0,448	0,163	0,74	0,0037	0,62
BAL-S8.1	60C1+40FC	0,216	0,309	0,70	0,701	0,269	2,600	0,441	0,171	0,79	0,0045	0,74
BAL-S9.1	100C1	0,208	0,298	0,70	0,701	0,269	2,600	0,425	0,188	0,90	0,0070	1,13

Tabela 4.16. Parâmetros de correção em função da absorção e do teor em água superficial dos agregados

Identificação do betão	A ⁽¹⁾ %		H ⁽²⁾ %	
	Areia 0/2	Areia 0/4	Leca S	Leca 4/12
BAL-S1.1	5,14	0,69	---	---
BAL-S1.2	4,34	2,00	0,48	1,21
BAL-S2.1	0,77	1,51	0,48	1,75
BAL-S3.1	0,77	1,51	0,48	1,75
BAL-S4.1	0,77	1,51	0,48	1,75
BAL-S5.1	0,77	1,51	0,48	1,75
BAL-S6.1	1,10	0,41	0,48	1,75
BAL-S7.1	1,10	0,41	0,48	1,75
BAL-S8.1	1,10	0,41	0,48	1,75
BAL-S9.1	1,10	0,41	0,48	1,75

(1) Absorção de água dos agregados leves
(2) Teor de água superficial dos agregados

Tabela 4.17. Composição das misturas efetivas

Identificação do betão	Parâmetros de Composição							
	C [kg/m ³]	FC [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	Areia 0/2 [kg/m ³]	Areia 0/4 [kg/m ³]	Leca S [kg/m ³]	Leca 4/12 [kg/m ³]
BAL-S1.1	281,61	370,64	155,61	5,79	363,23	367,06	83,04	250,33
BAL-S1.2	281,61	370,64	158,97	5,11	363,23	367,06	82,64	247,34
BAL-S2.1	350,70	307,75	160,66	4,73	361,91	365,73	82,64	247,34
BAL-S3.1	413,83	242,07	169,09	5,53	355,84	359,60	82,64	247,34
BAL-S4.1	480,55	180,70	170,52	5,92	354,18	357,92	82,64	247,34
BAL-S5.1	543,22	119,18	175,57	7,14	350,39	354,09	82,64	247,34
BAL-S6.1	663,22	0	186,13	7,92	342,17	345,78	82,64	247,34
BAL-S7.1	272,70	358,91	162,74	4,64	401,98	406,22	75,18	225,01
BAL-S8.1	402,25	235,30	170,85	5,40	395,30	399,47	75,18	225,01
BAL-S9.1	645,97	0	187,54	6,95	380,89	384,91	75,18	225,01

4.4.2. Ensaios dos betões no estado fresco

Na Tabela 4.18, são apresentados em síntese os resultados obtidos na avaliação das propriedades dos betões autocompactáveis leves no estado fresco, pelo ensaio de espalhamento, fluidez e caixa L.

Tabela 4.18. Resultados obtidos no estado fresco dos betões autocompactáveis leves

Identificação		Estado Fresco					
		Espalhamento		Fluidez		caixa L	
Betão	Família de finos	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40	H2/H1
BAL-S1.2	40C1+60FC	648	9,50	26,28	0,38	7,45	0,72
BAL-S1.1	40C1+60FC	650	9,56	14,38	0,70	3,61	0,79
BAL-S2.1	50C1+50FC	664	10,01	12,88	0,78	3,87	0,80
BAL-S3.1	60C1+40FC	733	12,43	11,54	0,87	2,57	0,93
BAL-S4.1	70C1+30FC	639	9,19	11,87	0,84	3,44	0,79
BAL-S5.1	80C1+20FC	679	10,51	12,06	0,83	3,15	0,89
BAL-S6.1	100C1	683	10,65	10,24	0,98	2,93	0,88
BAL-S7.1	40C1+60FC	679	10,51	13,47	0,74	2,36	0,91
BAL-S8.1	60C1+40FC	706	11,46	10,52	0,95	2,00	0,94
BAL-S9.1	100C1	687	10,80	11,12	0,90	2,34	0,88

Ao longo do presente trabalho, o volume de vazios do betão ($V_v = 0,030 \text{ m}^3/\text{m}^3$), a baridade do conjunto dos agregados grossos leves secos compactados ($594 \text{ kg}/\text{m}^3$) e a massa volúmica dos agregados grossos leves ($1114 \text{ kg}/\text{m}^3$), permaneceram constantes em todas as amassaduras. Tais parâmetros dos agregados correspondem a um conjunto de 30% de Leca S e 70% de Leca 4/12.

4.4.3. Parâmetros reológicos

Tendo por base os resultados apresentados na Tabela 4.18, foi elaborado o gráfico ilustrado na Figura 4.11, que representa as propriedades reológicas dos betões, ou seja, a área de espalhamento relativa (Gc) versus a velocidade relativa de escoamento (Rc). A traço interrompido apresenta-se o “alvo” definido no subcapítulo 3.5.4.

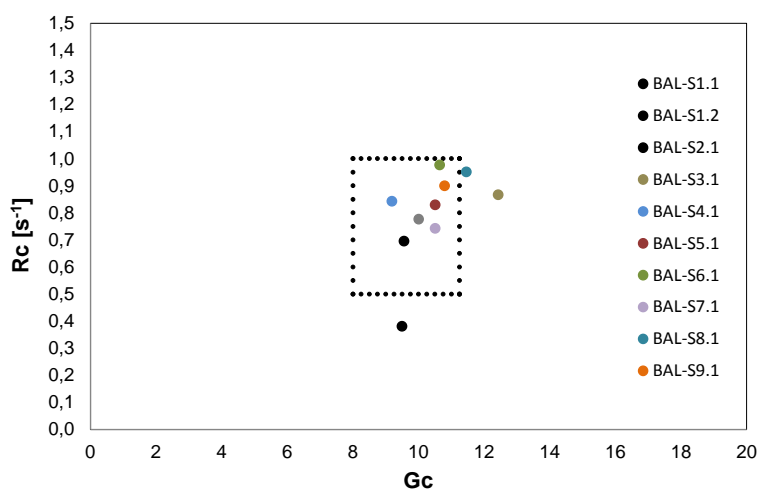


Figura 4.11. Propriedades reológicas de todas as amassaduras de betão autocompactável leve

Pela análise da Figura 4.11 é possível verificar que quase todos os betões cumprem os parâmetros reológicos definidos, podendo assim afirmar-se que as propriedades reológicas das argamassas produzidas refletem adequadamente as propriedades reológicas dos LWSCC. O afastamento que alguns betões apresentam, não foi considerado significativo comparativamente à sua ordem de grandeza. Na avaliação do estado fresco dos betões, não se detetou segregação, exsudação ou qualquer tipo de bloqueio em todas as amassaduras realizadas.

4.4.4. Autocompactabilidade

Os ensaios no estado fresco, como o ensaio de espalhamento (*Slump Flow*) e o ensaio do funil V, foram realizados para avaliação das propriedades reológicas dos betões. Contudo, apesar de todos os betões apresentarem propriedades reológicas adequadas não implica a obtenção de autocompactabilidade.

No presente estudo a autocompactabilidade foi avaliada utilizando o ensaio da caixa L e o seu parâmetro correspondente ($H2/H1$), admitindo-se satisfatório quando superior a 0,80. O parâmetro $H2/H1$ foi apresentado na Tabela 4.18, podendo verificar-se que praticamente todos os betões apresentam a autocompactabilidade desejada e visivelmente não apresentaram qualquer tendência para segregar. Sendo assim, pode afirmar-se que os betões produzidos com propriedades reológicas situadas dentro do “alvo” traduzem a autocompactabilidade desejada.

Na Figura 4.12 é ilustrada a relação entre o parâmetro $H2/H1$ e o diâmetro de espalhamento (D_m), para um “MN” constante de 1,82, com o objetivo de se avaliar a influência da capacidade de deformação na autocompactabilidade. Analisando o gráfico obtido, é visível o aumento de $H2/H1$ quando D_m aumenta.

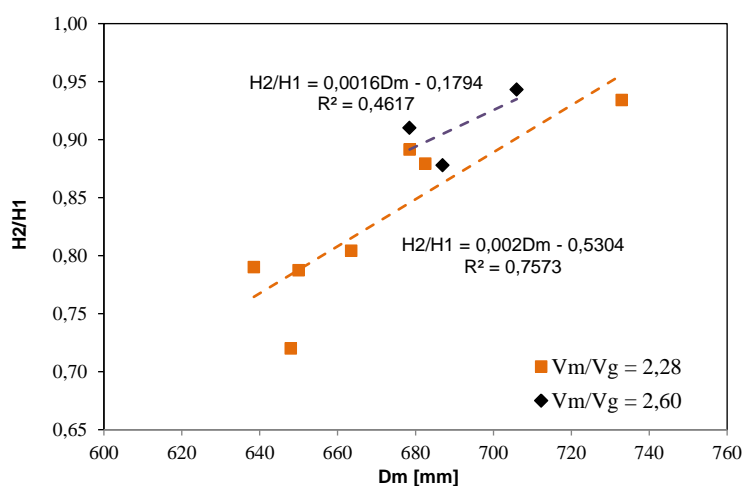


Figura 4.12. Relação entre os parâmetros $H2/H1$ e D_m

Ao longo do presente estudo o parâmetro “MN” foi considerado constante, contudo segundo Nepomuceno [22] o parâmetro de autocompactabilidade H2/H1 depende de “MN” e do diâmetro de espalhamento (Dm), propondo assim um modelo de cálculo para a autocompactabilidade na caixa L, com base no programa *Tcurve-3D*. Uma vez que, não foram constatadas diferenças face à metodologia proposta por Nepomuceno [22], propõe-se a utilização do seu modelo matemático que fornece como resposta o parâmetro H2/H1 em função de “MN” e Dm. Esse modelo é apresentado na Equação 4.5, onde as constantes a, b e c assumem os valores de a=2,188490958, b=-0,09966278 e c=-673,282885.

$$\left(\frac{H2}{H1}\right) = a + b \times \frac{(MN)}{\ln(MN)} + \frac{c}{Dm} \quad (4.5)$$

Na análise experimental realizada para avaliação dos parâmetros reológicos dos betões, foi também medido o tempo que o betão demora a percorrer 40 cm no ensaio da caixa L, denominado por T40. A sua relação com o tempo de escoamento no funil V (t) é apresentada na Figura 4.13.

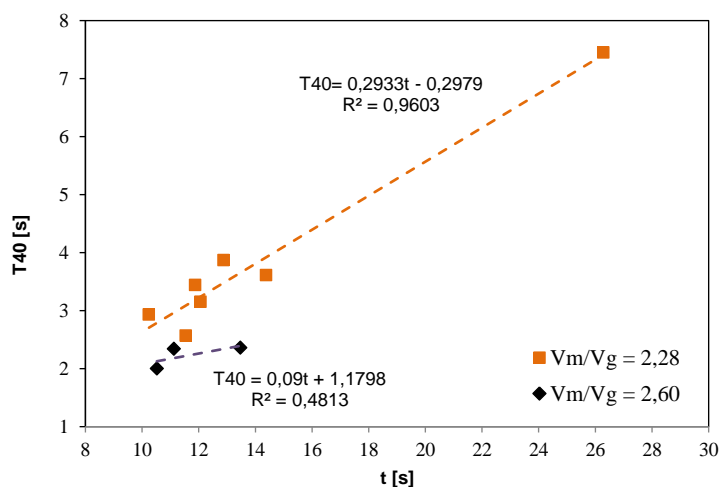


Figura 4.13. Relação entre os parâmetros t e T40

Pela sua análise é possível verificar uma grande influência do volume de agregados grossos no tempo de escoamento do betão autocompactável leve. Os betões produzidos com um V_m/V_g de 2,60 apresentam um fraco coeficiente de correlação, enquanto os betões produzidos com um V_m/V_g de 2,28 evidenciam uma melhoria significativa. Uma explicação para o fraco coeficiente, deve-se à produção de poucas amassaduras e consequentemente à existência de poucos dados. Sendo assim, conclui-se que o parâmetro T40 é útil para a avaliação do comportamento reológico do betão autocompactável leve, contudo não deve substituir o ensaio do funil V na fase de estudo da composição.

4.4.5. Correlações entre os parâmetros das misturas

O gráfico ilustrado na Figura 4.14 mostra a relação entre o consumo efetivo de superplastificante e o consumo de cimento para todas as amassaduras de betão autocompactável leve. Pela sua análise, em semelhança ao concluído no estudo das argamassas, verifica-se uma boa relação entre os consumos de cimento e superplastificante utilizados.

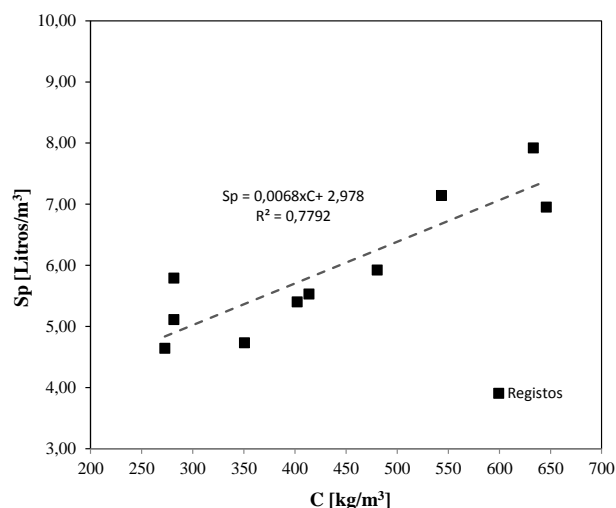


Figura 4.14. Dosagem de superplastificante em função do consumo de cimento

4.4.6. Correlações com a resistência à compressão

As propriedades no estado endurecido do betão autocompactável leve foram avaliadas com base no ensaio à compressão aos 7 e 28 dias de idade. Na Tabela 4.19 são apresentados os resultados obtidos e a relação entre as resistências à compressão dos betões (R7/R28).

Tabela 4.19. Resultados obtidos no estado endurecido

Identificação		W/C	Estado Endurecido						R7/R28
Betão	Família de finos		f _{cm,7} [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	f _{cm,28} [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
BAL-S1.1	40C1+60FC	0,553	33,0	0,7	2,2	36,2	3,0	8,3	0,91
BAL-S1.2	40C1+60FC	0,565	29,7	0,5	1,7	35,3	2,9	8,3	0,84
BAL-S2.1	50C1+50FC	0,458	36,9	0,8	2,3	41,8	1,5	3,7	0,88
BAL-S3.1	60C1+40FC	0,409	42,4	1,1	2,6	48,0	1,0	2,1	0,88
BAL-S4.1	70C1+30FC	0,355	40,4	2,0	5,0	48,2	1,9	4,0	0,84
BAL-S5.1	80C1+20FC	0,323	43,9	1,9	4,4	47,9	2,0	4,2	0,92
BAL-S6.1	100C1	0,281	49,2	4,0	6,6	51,1	1,9	3,6	1,06
BAL-S7.1	40C1+60FC	0,597	27,9	1,3	4,8	34,9	2,2	6,3	0,80
BAL-S8.1	60C1+40FC	0,425	39,4	2,0	5,2	43,7	2,8	6,4	0,93
BAL-S9.1	100C1	0,290	49,3	0,1	0,2	56,4	2,0	3,6	0,86

Com base nos resultados apresentados na Tabela 4.19 foi traçado o gráfico ilustrado na Figura 4.15, que relaciona a resistência à compressão aos 28 dias de idade em função da razão W/C, para o CEM I 42,5R utilizado. A Figura 4.16 relaciona a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade para o cimento CEM I 42,5R utilizado.

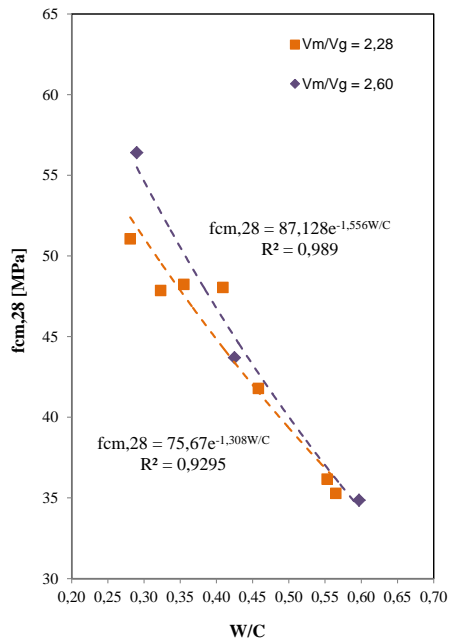


Figura 4.15. Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C

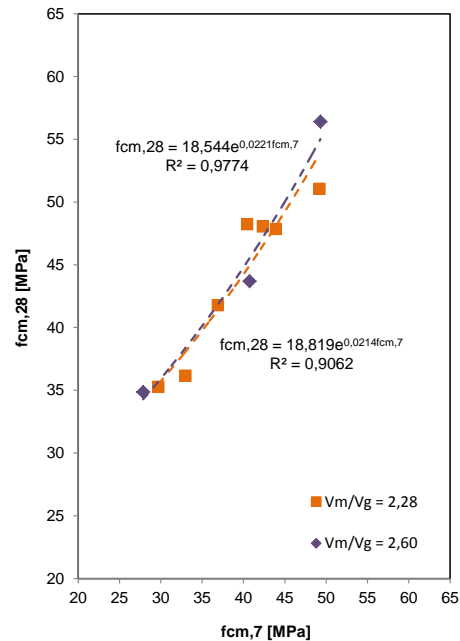


Figura 4.16. Relação de $f_{cm,28}$ versus $f_{cm,7}$

Ao longo do presente estudo, foram utilizadas diferentes “famílias de finos”, com o objetivo de obter uma gama mais vasta de resistências à compressão e avaliar se era viável a utilização de altas dosagens de cimento. Pela análise da Figura 4.15, é possível visualizar-se que para betões autocompactáveis leves com razões W/C inferiores a 0,41 os valores da resistência apresentam maior dispersão dos resultados, indiciando uma maior intervenção do agregado leve. A utilização de razões W/C superiores a 0,42 tem sido recomendada por outros autores para o LWSCC [16,17].

Comparando as resistências obtidas para os betões (Figura 4.15) realizados com razões de V_m/V_g diferentes e a mesma razão W/C, visualizou-se um aumento significativo de resistência à compressão aos 28 dias para betões com menor volume de agregados leves ($V_m/V_g = 2,60$), em especial para razões W/C baixas. Pelo exposto, concluiu-se que a resistência à compressão não depende apenas da razão W/C mas também do volume de agregados leves na mistura. É possível concluir que a resistência à compressão dos betões autocompactáveis leves dependerá sobretudo da resistência da matriz argamassa, uma vez que o agregado leve utilizado apresenta uma resistência relativamente baixa. Sendo assim, com o aumento do volume de agregados grossos leves a resistência à compressão diminui, tal como previsto.

A Figura 4.16 permite analisar com maior detalhe a relação da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade para o cimento CEM I 42,5R utilizado.

4.4.7. Correlações da resistência dos betões e argamassas

Anteriormente concluiu-se que a resistência à compressão dos betões autocompactáveis depende sobretudo da resistência da matriz argamassa. Para avaliar esta relação foi traçado o gráfico

ilustrado na Figura 4.17, com base nos resultados apresentados nas Tabelas 4.9 e 4.18. Neste gráfico é relacionada a resistência à compressão dos betões autocompactáveis leves e a resistência à compressão das argamassas, ambas avaliadas aos 28 dias de idade. A traço interrompido (Figura 4.17) é a apresentada a linha de tendência referente aos dados obtidos por Nepomuceno [22] para NWSCC.

Pela análise da Figura 4.17 é possível visualizar-se um coeficiente de correlação moderado, na ordem dos 0,89, entre a resistência à compressão aos 28 dias dos betões autocompactáveis leves e argamassas.

Na Figura 4.18 é ilustrada a relação da resistência à compressão aos 28 dias de idade dos LWSCC e argamassas em função da razão W/C, com base nos resultados apresentados na Tabela 4.11 e Tabela 4.19. Pela sua análise verifica-se a necessidade de reforçar a fase argamassa para a obtenção de uma gama de resistências de LWSCC satisfatória.

Analisando os resultados obtidos ao longo do presente estudo, comparativamente aos resultados obtidos por Nepomuceno [22] para NWSCC (Figura 4.18), verificou-se que para o mesmo nível de resistência à compressão da fase betão o LWSCC necessita de uma fase argamassa mais resistente comparativamente aos NWSCC. As argamassas produzidas com resistências à compressão aos 28 dias de idade compreendidas entre 43 e 80 MPa permitiram obter betões autocompactáveis leves com resistências entre 35 e os 57 MPa, enquanto que para os NWSCC essa resistência situou-se entre os 53 e 87 MPa.

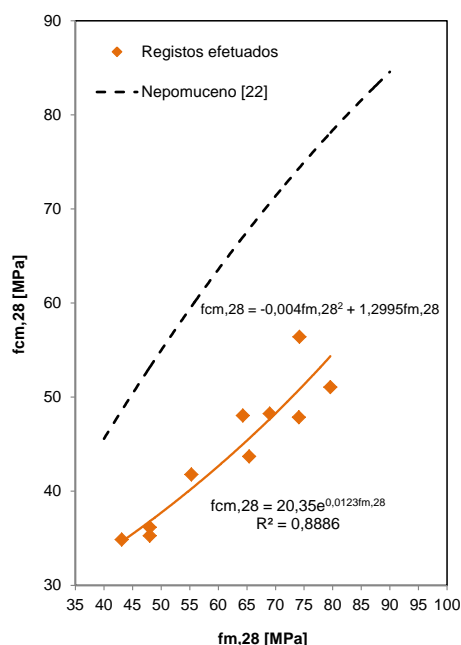


Figura 4.17. Relação entre a resistência à compressão dos betões e argamassas

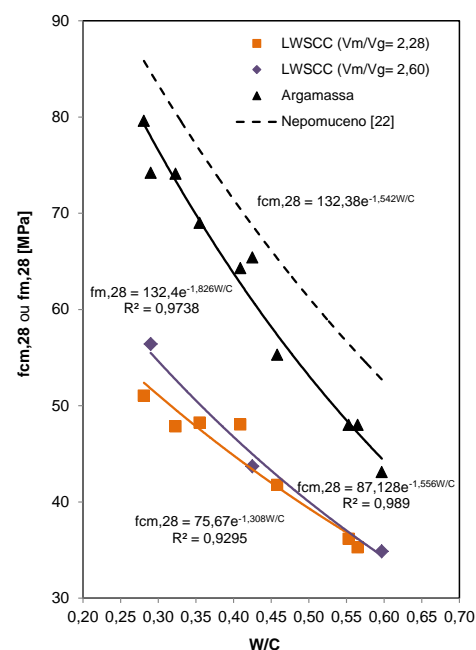


Figura 4.18. Relação da resistência à compressão dos LWSCC e argamassas em função da razão W/C

4.4.8. Correlações com a massa volúmica

Ao longo do presente estudo, a análise no estado endurecido foi complementada com a medição da massa volúmica do provete saturado e da massa volúmica do provete seco em estufa a 100 °C até massa constante. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.20.

Tabela 4.20. Massas volúmicas obtidas nos betões autocompactáveis leves

Identificação do Betão	Vm/Vg	Massa Volúmica			
		δ_{sat} [kg/m ³]	δ_{seca} [kg/m ³]	Perda de massa	
				$\Delta\delta$ [kg/m ³]	%
BAL-S1.1	2,275	1892	1745	147	7,50
BAL-S1.2	2,275	1837	1698	139	7,59
BAL-S2.1	2,275	1873	1743	130	6,60
BAL-S3.1	2,275	1880	1743	137	7,30
BAL-S4.1	2,275	1930	1797	133	6,56
BAL-S5.1	2,275	1890	1761	129	6,85
BAL-S6.1	2,275	1865	1715	150	7,05
BAL-S7.1	2,600	1900	1755	145	7,32
BAL-S8.1	2,600	1942	1779	163	7,76
BAL-S9.1	2,600	1971	1834	137	5,81

Observando os resultados verifica-se uma perda de massa média na ordem dos 141 kg/m³. As amassaduras com menor volume de agregados grossos (Vm/Vg de 2,60) apresentam maiores densidades. Pelo exposto pode verificar-se a influência da proporção de agregados leves na densidade dos betões autocompactáveis leves, sendo possível traçar-se o gráfico ilustrado na Figura 4.19. Neste gráfico apresentam-se apenas dois pontos para cada reta, sendo que cada ponto corresponde à média da massa volúmica dos betões com o mesmo Vm/Vg. Todos os betões apresentaram uma massa volúmica no intervalo de 1800 a 2000 kg/m³, sendo assim classificados como betões autocompactáveis leves estruturais de classe D2,0; segundo a EN 206-1 [29].

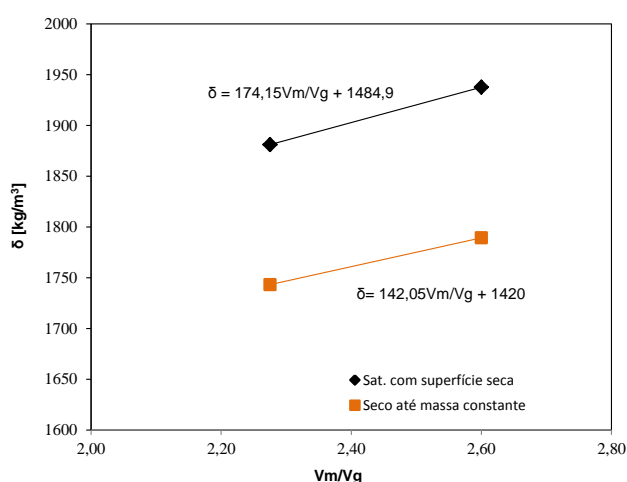
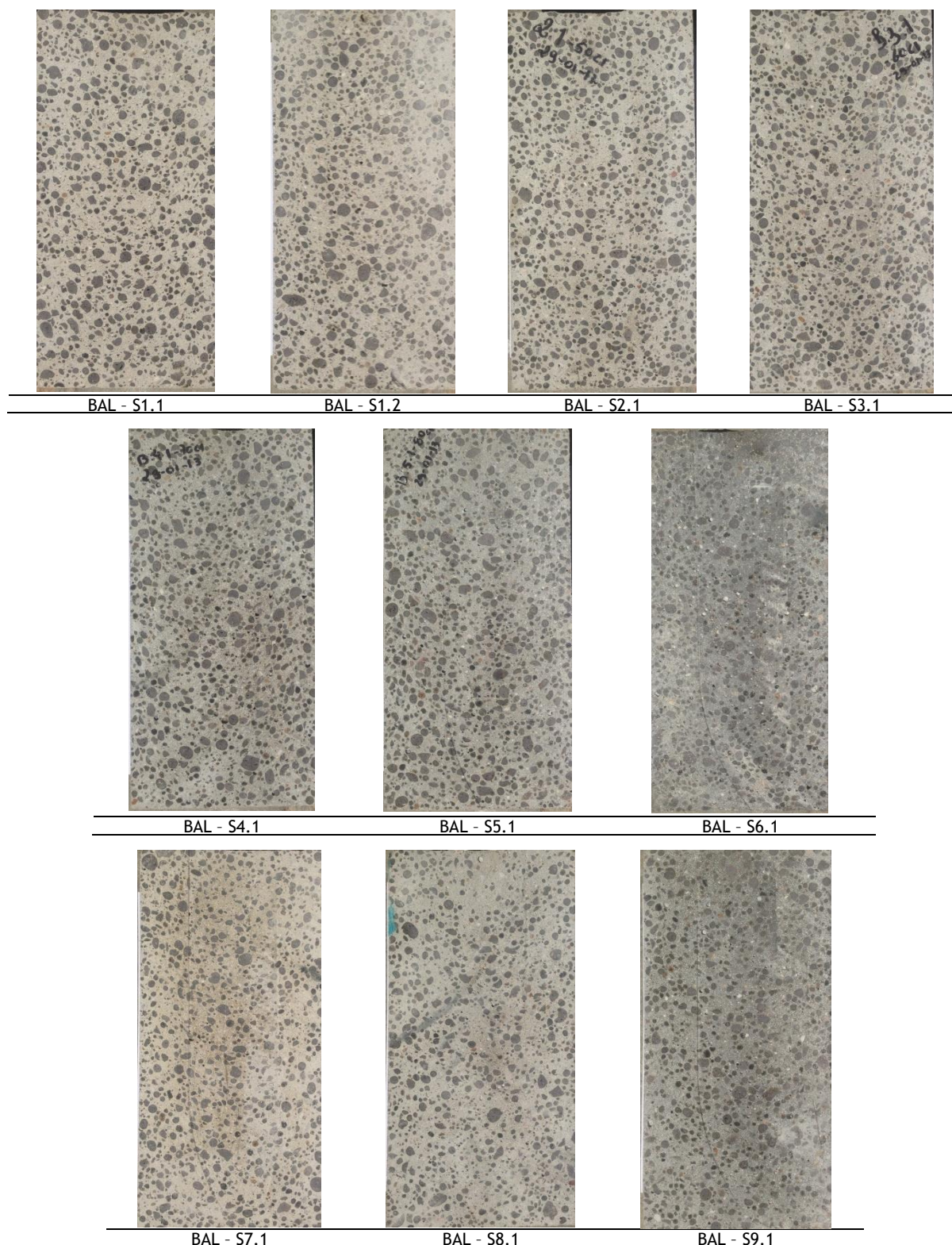


Figura 4.19. Massa volúmica do betão autocompactável leve em função de Vm/Vg

4.4.9. Avaliação qualitativa da segregação

Para avaliação qualitativa da segregação do LWSCC foram produzidos provetes cilíndricos e posteriormente seccionados. Na Tabela 4.21 são apresentadas as secções de todas as amassaduras podendo visualizar-se uma distribuição uniforme do agregado leve.

Tabela 4.21. Secções das amassaduras de LWSCC de provetes cilindros com Ø150 mm e 300 mm de altura



5. Metodologia para o estudo da composição

5.1. Introdução

A análise dos resultados obtidos e a pesquisa bibliográfica levaram ao desenvolvimento de uma proposta para o estudo da composição de betões autocompactáveis de agregados leves. Assumiu-se como premissa a metodologia proposta por Nepomuceno [22] para betões autocompactáveis de agregados naturais (NWSCC) e com base em estudos laboratoriais analisaram-se as adaptações necessárias para betões autocompactáveis de agregados leves (LWSCC).

No estudo da fase argamassa concluiu-se que as propriedades reológicas das argamassas propostas por Nepomuceno [22] para os NWSCC eram adequadas à produção dos LWSCC. Sendo assim, no estado fresco as argamassas devem apresentar um diâmetro de espalhamento médio entre 251 e 263 mm e um tempo de escoamento que varia entre 7,69 e 8,77 segundos. Quando os parâmetros reológicos são expressos em termos de G_m e R_m estes devem estar compreendidos entre 5,3 e 5,9 e entre 1,14 e 1,30, respetivamente.

Na produção dos betões autocompactáveis é contabilizado o parâmetro V_m/V_g . Este parâmetro é estimado em função de V_p/V_s e das propriedades do betão no estado fresco. Em termos de trabalhabilidade, os NWSCC devem apresentar um diâmetro de espalhamento entre 600 mm e 700 mm e um tempo de escoamento entre 10 e 20 segundos, a que corresponde um G_c compreendido entre 8,00 e 11,25 e um R_c entre 0,50 e 1,00. Em termos de autocompactabilidade devem apresentar um H_2/H_1 na caixa L igual ou superior a 0,80. A experiência laboratorial com os LWSCC revelou bons resultados para o diâmetro de espalhamento (D_m) entre os 650 e os 750 mm, tempo de escoamento no funil V entre os 10 e os 15 segundos e H_2/H_1 na caixa L igual ou superior a 0,80.

Face ao exposto, na presente proposta propõe-se a adoção de um diâmetro de espalhamento (D_m) entre os 650 e os 750 mm, tempo de escoamento no funil V entre os 10 e os 15 segundos e H_2/H_1 na caixa L igual ou superior a 0,80. Estes valores vão ao encontro de um levantamento realizado por Domone [6], relatando 68 casos de estudo da aplicação do betão autocompactável de 1993 a 2003. Nesse estudo, o ensaio de espalhamento, que avalia a capacidade de escoamento, foi usado em todos os casos, sendo que em 50% das aplicações os valores se situaram entre 650 e 700 mm, com 90% no intervalo de 600 e 750 mm. Os valores do tempo de escoamento no funil V variaram muito, desde os 3 aos 15 s, o que significa uma grande variação na propriedade avaliada por este ensaio. Apenas em 17 dos casos descritos foram apresentados resultados da caixa L e os valores foram sempre acima de 0,80.

A discussão dos resultados obtidos em laboratório permitiu concluir também que a resistência à compressão aos 28 dias de idade, contrariamente ao NWSCC, não depende apenas da razão W/C mas também do volume de agregados grossos (V_m/V_g), uma vez que a resistência e o módulo de elasticidade do agregado leve é menor que a matriz argamassa. Para além disso, pode afirmar-se

que a razão V_m/V_g depende da densidade do betão autocompactável leve, devido às características físicas dos agregados leves.

Para a elaboração da proposta contribuíram ainda resultados experimentais obtidos de outros estudos semelhantes, pesquisados na bibliografia e que serão apresentados no subcapítulo 5.2. Tendo por base os resultados experimentais do presente estudo e aqueles resultantes da referida pesquisa bibliográfica, procedeu-se ao desenvolvimento de modelos matemáticos no programa *Tcurve-3D*. No subcapítulo 5.3. é apresentado um modelo para a estimativa da resistência à compressão dos LWSCC em função de V_m/V_g e da razão W/C , enquanto no subcapítulo 5.4 é apresentado um modelo para estimar V_m/V_g em função da massa volúmica do betão. Finalmente, no subcapítulo 5.5 é descrito o desenvolvimento da proposta.

5.2. Outros estudos considerados

Bogas *et al.* [3], realizaram um estudo sobre betões autocompactáveis leves com agregados de argila expandida utilizando o método proposto por Nepomuceno [22]. Após uma análise criteriosa do seu desenvolvimento verificou-se a utilização do mesmo procedimento de cálculo das argamassas e betões, avaliação no estado fresco e endurecido que o utilizado no corrente estudo. Pelo exposto, e uma vez que eram fornecidos dados suficientes, procedeu-se à sua utilização para complementar os obtidos em laboratório. É necessário referir que alguns betões produzidos por Bogas *et al.* [3], não apresentavam os requisitos de autocompactabilidade exigidos ou apresentavam tendência à segregação (SLCVg0.35^b, SLCVg0.375^b, SLCVw1.0^b). Tais parâmetros foram utilizados apenas para validação do modelo. Os parâmetros resultantes da pesquisa bibliográfica são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Composição das misturas estudadas por Bogas *et al.* [3]

Identificação do Betão	Família de finos	Composição das misturas						$f_{cm,28}$ [MPa]	$\bar{\delta}_{sat}$ [kg/m ³]
		Vp/Vs	V_m/V_g	MN	Vw/Vp	Vs/Vm	W/C		
SLCVp0.65 ^a	60C1+40CV	0,65	2,20	1,43	0,91	0,440	0,490	42,3	1841
SLCVp0.55 ^a	60C1+40CV	0,55	2,20	1,21	0,91	0,490	0,490	38,1	1828
SLCVp0.75 ^a	60C1+40CV	0,75	2,20	1,65	0,87	0,410	0,470	42,8	---
SLCVg0.275 ^a	60C1+40CV	0,75	2,48	1,86	0,87	0,410	0,470	43,9	1907
SLCVg0.325 ^a	60C1+40CV	0,75	1,95	1,45	0,87	0,410	0,470	40,3	1816
SLCVg0.35 ^b	60C1+40CV	0,75	1,74	1,30	0,87	0,410	0,470	39,0	1773
SLCVg0.375 ^b	60C1+40CV	0,75	1,56	1,17	0,87	0,410	0,470	36,5	1724
SLCVw0.7 ^c	60C1+40CV	0,75	2,20	1,65	0,70	0,440	0,380	46,9	1888
SLCVw0.8 ^a	60C1+40CV	0,75	2,19	1,65	0,80	0,420	0,430	42,3	1839
SLCVw0.87 ^a	60C1+40CV	0,75	2,19	1,65	0,87	0,410	0,470	41,2	1842
SLCVw0.9 ^a	60C1+40CV	0,75	2,20	1,65	0,90	0,410	0,490	39,1	1801

a Betão autocompactável de agregados leves
b Betão sem condições de autocompactabilidade
c Betão autocompactável leve com baixo tempo de escoamento

No estudo realizado por Bogas *et al.* [3] foram utilizadas misturas binárias de materiais finos contendo o CEM I 42,5R e cinzas volantes. Nesta medida, a proposta a apresentar no presente trabalho incluirá misturas binárias de materiais finos que combinam o CEM I 42,5R com as adições de fíler calcário e cinzas volantes.

5.3. Modelo para estimativa da resistência à compressão

Estudos sobre modelos matemáticos para a estimativa da resistência à compressão aos 28 dias de idade para betões autocompactáveis leves são escassos ou mesmo inexistentes, pelo que se efetuou uma pesquisa relativamente ao desenvolvimento desses modelos para betões leves vibrados, tendo em conta as propriedades dos agregados leves.

O *CEB/FIP Manual of Design and Technology* [43], apresentou em 1983 dois modelos para o cálculo da resistência à compressão aos 28 dias para betões leves vibrados, sendo um em função da razão efetiva W/C , da densidade dos agregados leves e do volume de agregados leves e outro em função da resistência à compressão do cimento, da razão W/C e da resistência ao esmagamento do agregado leve.

Também Wang [42], em 2005 propôs uma equação para determinar a resistência à compressão aos 28 dias de betões leves vibrados em função da razão W/C , do volume de agregado leve, da resistência à compressão da argamassa e do agregado leve.

Recentemente, Cui *et al.* [5], desenvolveram três modelos para determinação da resistência à compressão de betões leves vibrados e pela sua análise concluíram que o modelo com maior significância incluía o volume de agregados leves na mistura, o índice de forma e a resistência ao esmagamento do agregado leve.

Da pesquisa bibliográfica é possível verificar que os parâmetros normalmente considerados como suscetíveis de se correlacionarem com a resistência à compressão em betões vibrados contendo agregados leves são os seguintes:

- Densidade das partículas,
- Resistência ao esmagamento do agregado leve,
- Índice de forma do agregado leve,
- Volume de agregados leves contido na mistura,
- Resistência à compressão da matriz argamassa,
- Razão W/C .

No presente estudo, propriedades como a densidade das partículas, resistência ao esmagamento e índice de forma do agregado foram consideradas constantes, uma vez que apenas se selecionou um tipo de agregado, pelo que relativamente à influência dessas variáveis nada se pode concluir. Por outro lado, uma vez que a resistência à compressão da matriz argamassa apresenta uma boa correlação com a razão W/C , no presente estudo apenas se considerou a razão W/C . Pelo exposto, o modelo a desenvolver fornece como resposta a resistência à compressão aos 28 dias de idade em função da razão W/C e volume de agregados leves da mistura expresso em termos da razão V_m/V_g . Para o desenvolvimento do modelo recorreu-se ao programa *Tcurve-3D*.

Na Tabela 5.2 são apresentados em síntese os dados referentes aos LWSCC que serviram de base para o desenvolvimento do modelo matemático. Estes dados incluem os elementos apresentados

na Tabela 5.1 provenientes da pesquisa bibliográfica e ainda aqueles obtidos no presente estudo, discutidos no subcapítulo 4.4.1.

É importante salientar que os estudos apresentados por Bogas *et al.* [3] apenas incluíam a massa volúmica saturada dos betões (Tabela 5.1), pelo que os valores da massa volúmica seca apresentados na Tabela 5.2 foram obtidos por estimativa a partir dos valores equivalentes de perda de massa após secagem, obtidos na presente campanha experimental.

Tabela 5.2. Elementos considerados no desenvolvimento do modelo matemático

Dados	Betão	Família de finos	W/C	Vm/Vg	$f_{cm,28}$ [MPa]	δ_{sat} [kg/m ³]	δ_{seca} [kg/m ³]
Programa experimental do presente trabalho	BAL-S1.1	40C1+60FC	0,553	2,275	36,2	1892	1745
	BAL-S1.2	40C1+60FC	0,565	2,275	35,3	1837	1698
	BAL-S2.1	50C1+50FC	0,458	2,275	41,8	1873	1743
	BAL-S3.1	60C1+40FC	0,409	2,275	48,0	1880	1743
	BAL-S4.1	70C1+30FC	0,355	2,275	48,2	1930	1797
	BAL-S5.1	80C1+20FC	0,323	2,275	47,9	1890	1761
	BAL-S6.1	100C1	0,281	2,275	51,1	1865	1715
	BAL-S7.1	40C1+60FC	0,597	2,600	34,9	1900	1755
	BAL-S8.1	60C1+40FC	0,425	2,600	43,7	1942	1779
BAL-S9.1	100C1	0,290	2,600	56,4	1971	1834	
Pesquisa bibliográfica. Bogas <i>et al.</i> [TT]	SLCVp0.65 ^a	60C1+40CV	0,490	2,200	42,3	1841	1712
	SLCVp0.55 ^a	60C1+40CV	0,490	2,200	38,1	1828	1699
	SLCVp0.75 ^a	60C1+40CV	0,470	2,200	42,8	---	---
	SLCVg0.275 ^a	60C1+40CV	0,470	2,480	43,9	1907	1773
	SLCVg0.325 ^a	60C1+40CV	0,470	1,950	40,3	1816	1688
	SLCVg0.35 ^b	60C1+40CV	0,470	1,740	39,0	1773	1648
	SLCVg0.375 ^b	60C1+40CV	0,470	1,560	36,5	1724	1603
	SLCVw0.7 ^c	60C1+40CV	0,380	2,200	46,9	1888	1755
	SLCVw0.8 ^a	60C1+40CV	0,430	2,190	42,3	1839	1710
	SLCVw0.87 ^a	60C1+40CV	0,470	2,190	41,2	1842	1712
SLCVw0.9 ^a	60C1+40CV	0,490	2,200	39,1	1801	1674	

Com recurso ao programa *Tcurve-3D* e aos dados apresentados na Tabela 5.2 obteve-se o modelo apresentado na Figura 5.1. Ao longo do desenvolvimento do modelo escolhido o programa forneceu diferentes soluções matemáticas, oscilando entre as mais simples, com menor coeficiente de correlação e fisicamente aceitáveis, até às mais complexas, com melhor coeficiente de correlação, mas sem significado físico. Sendo assim, optou-se pela equação que apresentava o melhor coeficiente de correlação e que em termos físicos melhor traduzia o comportamento do betão (Equação 5.1). Na Equação 5.1, as constantes a, b e c assumem os valores de a = 11,962344, b = -24,145189 e c = 4,8464948.

$$f_{cm,28} = a + b \times \ln \left(\frac{W}{C} \right) + c \times \left(\frac{Vm}{Vg} \right) \quad (5.1)$$

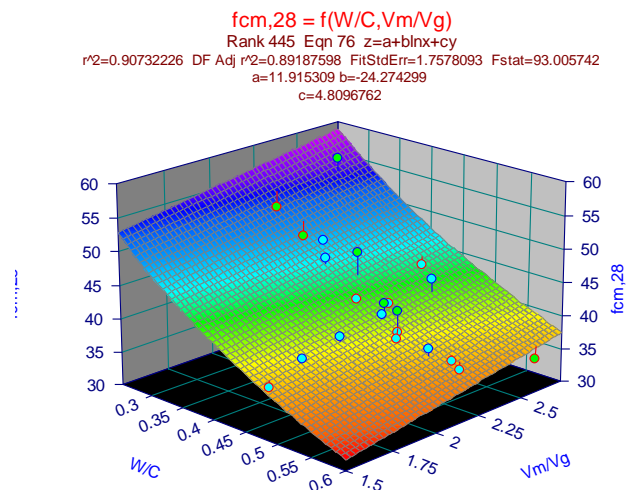


Figura 5.1. Relação de $f_{cm,28}$ em função da razão W/C e V_m/V_g , obtida no programa *Tcurve-3D*

Na Figura 5.2 é apresentada a resistência à compressão aos 28 dias de idade ($f_{cm,28}$) em função da razão W/C . Analisando-se a Figura 5.2, verifica-se um comportamento semelhante ao ilustrado na Figura 4.15, apresentada no subcapítulo 4.4.6, o que significa uma escolha adequada do modelo em estudo.

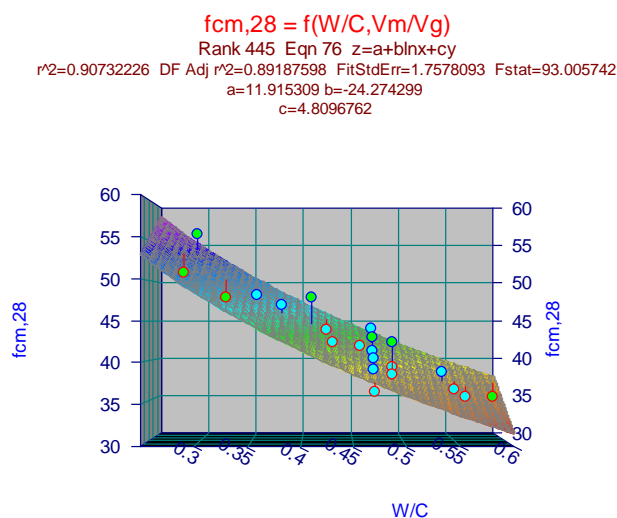


Figura 5.2. Relação de $f_{cm,28}$ em função da razão W/C , obtida no programa *Tcurve-3D*

5.4. Modelo para a estimativa da massa volúmica

Com base nos resultados obtidos em laboratório e apresentados no subcapítulo 4.4.8, concluiu-se que a massa volúmica dos betões autocompactáveis leves depende do volume de agregados leves na mistura. Uma vez que apenas foram utilizados dois valores de V_m/V_g distintos ao longo do presente estudo, foram tidos em conta os dados obtidos na pesquisa bibliográfica apresentados na Tabela 5.2. Os resultados obtidos são ilustrados no gráfico da Figura 5.3.

Na Figura 5.3, são apresentadas as massas volúmicas obtidas em laboratório, representadas por marcadores a cheio e as obtidas na pesquisa bibliográfica, representadas por marcadores vazios. Os marcadores a laranja e a sua linha de tendência correspondente dizem respeito aos provetes saturados com superfície seca e os marcadores a preto e respectiva linha de tendência os provetes secos em estufa a 100°C até massa constante.

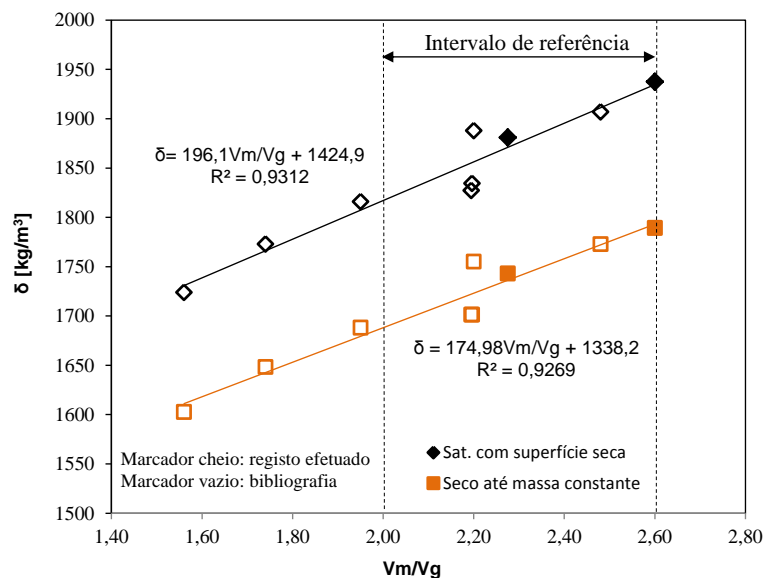


Figura 5.3. Massa volúmica do betão autocompactável leve versus V_m/V_g

Os resultados apresentados têm um comportamento linear e coeficientes de correlação da ordem de 0,93, indo ao encontro da conclusão tomada com base nos resultados obtidos em laboratório, ou seja, a densidade dos betões autocompactáveis de agregados leves depende do volume de agregados grossos leves na mistura. Com o aumento da razão V_m/V_g a densidade aumenta, uma vez que o volume de agregados grossos leves diminui. É importante referir que os resultados apresentados com um V_m/V_g inferior a 2,00 não se encontram no intervalo de referência assumido no presente estudo, servindo apenas para validação do modelo. Sendo assim, a densidade do betão é dada por:

$$\delta_{\text{Sat}} = 196,1 \times \left(\frac{V_m}{V_g}\right) + 1424,9 \quad (5.2)$$

$$\delta_{\text{Seca}} = 174,98 \times \left(\frac{V_m}{V_g}\right) + 1338,2 \quad (5.3)$$

Onde:

δ_{Sat} é a massa volúmica do provete saturado com superfície seca, em kg/m^3 ;

δ_{Seca} é a massa volúmica do provete seco a 100^o até massa constante, em kg/m^3 ;

V_m/V_g é a razão entre o volume absoluto de argamassa e de agregados grossos leves.

5.5. Desenvolvimento da proposta

5.5.1. Considerações gerais

Neste subcapítulo apresenta-se uma proposta para a metodologia de estudo da composição de betões autocompactáveis de agregados leves, suportada pelos estudos laboratoriais descritos na campanha experimental do presente trabalho e pela pesquisa bibliográfica efetuada.

Como qualquer proposta baseada em modelos de estimativa tendo por base ensaios laboratoriais, é importante definir claramente a sua validade, em termos da amplitude permitida de alguns parâmetros, assunto que será tratado no subcapítulo 5.5.2.

A definição dos requisitos funcionais ou dados essenciais de base constituirá o primeiro passo da metodologia que se propõe e será discutido no subcapítulo 5.5.3. Esses requisitos funcionais passam pela definição das propriedades requeridas no estado fresco e endurecido. Sendo o objetivo o estudo da composição de betões autocompactáveis de agregados leves, torna-se evidente que o primeiro e principal requisito é que o betão seja autocompactável, podendo eventualmente possuir diferentes níveis de autocompactabilidade consoante as aplicações. Outros requisitos passam por definir o nível de resistência e a massa volúmica pretendidas.

Definidos os requisitos funcionais, será necessário selecionar os materiais adequados e no caso específico dos agregados será necessário estimar as frações granulométricas, tendo por base as curvas de referência definidas. Esse assunto será discutido no subcapítulo 5.5.4.

A etapa seguinte será descrita no subcapítulo 5.5.5. e consiste na definição dos parâmetros iniciais da mistura, que inclui todos os parâmetros necessários ao estudo da fase argamassa e do betão. Aqui existe alguma diferença face à metodologia proposta por Nepomuceno [22], já que os parâmetros dos betões V_m/V_g devem ser definidos inicialmente, atendendo à correlação entre a resistência à compressão, a razão V_m/V_g e a razão W/C .

Definidos os parâmetros iniciais da mistura, procede-se ao estudo laboratorial em argamassas, assunto que será tratado no subcapítulo 5.5.6. Este estudo inclui no cálculo, a produção de misturas, os ensaios no estado fresco e o acerto das dosagens de água e de superplastificante para obtenção das propriedades reológicas adequadas à produção de betões autocompactáveis.

Por último, no subcapítulo 5.5.7 serão descritos os estudos laboratoriais a realizar em betões, que incluem o cálculo, a produção de misturas, os ensaios no estado fresco e os ensaios no estado endurecido.

5.5.2. Validade da proposta

Ao longo do presente estudo, com base na análise dos resultados obtidos foi possível definir intervalos de segurança para os parâmetros “chave” da composição das argamassas e betões autocompactáveis leves. Sendo assim, o modelo será considerado válido quando:

i) Relativamente aos parâmetros:

- $f_{cm,28}$ [33,55] em MPa
- W/C [0,29;0,61] em massa
- δ_{seca} [1691,1793] em kg/m^3
- δ_{sat} [1820,1934] em kg/m^3
- V_m/V_g [2,0;2,6] em volume absoluto
- V_p/V_s [0,60;0,80] em volume absoluto

ii) Relativamente aos materiais:

- Cimento CEM I 42,5R
- Adição de fíler calcário ou de cinzas volantes
- Adjuvante à base de policarboxilatos modificados
- Agregados finos de areias naturais de origem fluvial
- Agregados grossos leves de argila expandida (Leca)

5.5.3. Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais ou dados essenciais de base incluem todos os elementos necessários à formulação dos betões autocompactáveis. Nesta fase será necessário especificar os seguintes dados:

i) Resistência média:

A resistência média pretendida ($f_{cm,28}$) em provetes cúbicos de 150 mm de aresta expressa em MPa, tendo em consideração a validade da proposta e assumindo-se uma variação de (\pm) 3 MPa.

ii) Massa volúmica seca média:

A massa volúmica seca pretendida (δ_{seca}), expressa em kg/m^3 , tendo em consideração a validade da proposta e assumindo-se uma variação de (\pm) 20 kg/m^3 .

iii) Escoamento:

Valor a obter no ensaio de espalhamento (Dm), expresso em mm, tendo em consideração a validade da proposta e assumindo-se uma variação de (\pm) 20 mm.

Valor a obter no ensaio de fluidez (t), expresso em segundos, tendo em consideração a validade da proposta e assumindo-se uma variação de (\pm) 3 s.

iv) Autocompactabilidade:

Valor a obter no ensaio da caixa L (H2/H1), adimensional, tendo em consideração a validade da proposta e assumindo-se uma variação de (\pm) 0,03.

5.5.4. Seleção dos materiais

A seleção do tipo de cimento é limitada ao CEM I 42,5R usado no presente trabalho e nos estudos realizados por Bogas *et al.* [3]. De qualquer modo, a utilização do CEM II/B-L 32,5N prevista na metodologia de Nepomuceno *et al.* [24] poderia não se justificar no caso dos betões autocompactáveis de agregados leves, pois a necessidade de reforçar a fase argamassa poderia conduzir a razões W/C muito baixas e, conseqüentemente, a dosagens de cimento elevadas.

Relativamente ao tipo de adição, como se referiu anteriormente, é possível selecionar o fíler calcário ou as cinzas volantes. A primeira foi usada no presente trabalho, enquanto a segunda foi utilizada nos estudos realizados por Bogas *et al.* [3]. As duas adições contempladas nesta proposta constituem as mais frequentemente usadas em betões autocompactáveis, com especial destaque para o fíler calcário, como relata Domone [6].

No desenvolvimento deste estudo, o superplastificante utilizado foi à base de policarboxilatos modificados. Sendo assim, nesta proposta recomenda-se a utilização do mesmo ou outro mas com a mesma base química.

Como agregados finos naturais poderá optar-se por qualquer combinação de areias naturais roladas de boa qualidade, desde que seja possível a obtenção de uma curva granulométrica próxima à de referência proposta no presente estudo.

Os agregados grosso leves deverão ser constituídos por partículas de argila expandida semelhantes aos usados no presente trabalho (Leca). Poderá optar-se por qualquer combinação de agregados leves, desde que seja possível a obtenção de uma curva granulométrica próxima à de referência proposta no presente estudo. Relativamente aos agregados leves deverá ter-se em atenção a absorção de água que deverá ser contabilizada no desenvolvimento do betão autocompactável. Ao longo da campanha experimental foi avaliada a absorção do agregado leve de argila expandida ao fim de 15, 30 e 60 min. Na metodologia proposta, considerou-se a absorção do agregado leve de argila expandida (A%) obtida ao fim de 30 minutos, visto ser o tempo, aproximadamente, que levaria a realização dos ensaios no estado fresco do LWSCC. Sendo assim, é importante referir que no caso de aplicação do LWSCC em obra, se o tempo de colocação for superior a 30 min após amassadura, o tempo de absorção do agregado leve deve ser ajustado.

5.5.5. Parâmetros iniciais da mistura

Os parâmetros iniciais da mistura incluem todos os parâmetros necessários à formulação teórica do betão autocompactável de agregados leves e constitui o ponto de partida para a realização das amassaduras experimentais, as quais ditarão os ajustamentos necessários.

Os parâmetros iniciais serão estimados tendo em conta os requisitos funcionais e os materiais selecionados (incluindo as frações granulométricas dos agregados finos e grossos) e incluem a

definição dos parâmetros dos betões (V_m/V_g e V_v) e dos parâmetros da fase argamassa (V_p/V_s , “família de finos”, V_w/V_p e $Sp/p\%$).

A variação da massa volúmica obtida no presente trabalho foi pouco significativa, já que os betões autocompactáveis em geral não permitem variações muito amplas da dosagem dos agregados grossos. Em termos de massa volúmica seca, a variação ficou limitada entre os 1691 e os 1793 kg/m³. Atendendo à própria variabilidade do ensaio de determinação da massa volúmica e ao erro associado às correlações, mais ainda trabalhando com valores médios, afigura-se como pouco razoável estimar-se o parâmetro V_m/V_g unicamente com base na massa volúmica pretendida, uma vez que este parâmetro é relevante do ponto de vista da garantia da adequada resistência ao bloqueio, resistência à segregação e capacidade de enchimento.

Face ao exposto, o valor estimado para o parâmetro V_m/V_g em função da massa volúmica seca deverá ser ajustado ao intervalo definido na validade da proposta, ou seja, V_m/V_g entre 2,0 e 2,6. Note-se que no presente estudo os valores situaram-se entre 2,28 e 2,60 e nenhum dos betões apresentou segregação ou bloqueio. A referida estimativa obtém-se da Equação 5.4, que resultou da Equação 5.3 expressa em ordem a V_m/V_g . Na Equação 5.4, a sigla δ_{seca} representa a massa volúmica do provete seco, expressa em kg/m³ e a sigla V_m/V_g a razão entre o volume absoluto de argamassa e de agregados grossos leves.

$$\left(\frac{V_m}{V_g}\right) = \frac{\delta_{seca} - 1338,2}{174,98} \quad (5.4)$$

No cálculo dos betões sem introdutores de ar assumiu-se um volume de vazios (V_v) de 0,03 m³/m³.

A partir da proposta de Nepomuceno *et al.* [23], traduzida pela Equação 5.5, é possível estimar o parâmetro V_p/V_s a adotar, tendo por base o valor de V_m/V_g e as propriedades pretendidas para o betão no estado fresco, traduzidas pelo diâmetro de espalhamento (D_m) e pela razão (H_2/H_1) na caixa L quando se utiliza a restrição R1 (34 mm). Na Equação 5.5, as constantes a, b, c, d, e, f e g assumem os valores de a=1,2214; b=-1,3605; c=1,3099; d=-0,001758; e=-1,0184; f=1,0855 e g=-0,001524.

$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{R1} = \frac{1}{\left(\frac{V_m}{V_g}\right)} \times \frac{a + b \times \left(\frac{H_2}{H_1}\right)_{R1} + c \times \left(\frac{H_2}{H_1}\right)_{R1}^2 + d \times (D_m)}{1 + e \times \left(\frac{H_2}{H_1}\right)_{R1} + f \times \left(\frac{H_2}{H_1}\right)_{R1}^2 + g \times (D_m)} \quad (5.5)$$

Definido o valor de V_m/V_g , a resistência média pretendida ($f_{cm,28}$) e o tipo de ligante (CEM I 42,5R), estima-se a razão W/C a partir da Equação 5.6, que resultou da Equação (5.1) expressa em ordem à razão W/C. Na Equação (5.6) as constantes a, b e c assumem os valores de a=11,962344; b=-24,145189 e c=4,8464948.

$$\left(\frac{W}{C}\right) = e^{\frac{f_{cm,28} - a \cdot c \times \left(\frac{V_m}{V_g}\right)}{b}} \quad (5.6)$$

A partir da razão W/C e da razão Vp/Vs já definidos, estima-se a percentagem de substituição do cimento (CEM I 42,5R) pela adição de filer calcário ou de cinzas volantes.

No caso de se optar pela adição de filer calcário recorre-se à Equação 5.7, já apresentada e discutida no Capítulo 4. Na Equação (5.7), as constantes a, b e c assumem os valores de a = 1,0925257, b = -0,089149709 e c = -0,13970258.

$$fad. = a + \frac{b}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2} + \frac{c}{\left(\frac{W}{C}\right)^{1,5}} \quad (5.7)$$

No caso de se optar pela adição de cinzas volantes recorre-se à Equação 5.8, já apresentada e discutida no Capítulo 4. Na Equação (5.8), as constantes a, b e c assumem os seguintes valores: a = 0,97818186, b = -0,72804369 e c = -0,5649608.

$$fad. = a + b \times \left(\ln\left(\frac{V_p}{V_s}\right)\right)^2 + c \times \left(\ln\left(\frac{W}{C}\right)\right)^2 \quad (5.8)$$

Os parâmetros Vw/Vp e Sp/p% para os estudos iniciais em argamassas poderão ser estimados pelos gráficos que se apresentam nas Figuras 5.5 e 5.6, adaptados da proposta de Nepomuceno *et al.* [24], por forma a contemplar apenas os materiais propostos no presente trabalho.

Na análise da Figura 5.6 deve observar-se que a estimativa inicial da razão Sp/p% se refere ao superplastificante SikaViscocrete 3000 usado por Nepomuceno *et al.* [24]. O superplastificante utilizado ao longo do presente estudo (SikaViscocrete 3005) revelou-se mais eficaz, observando-se uma redução significativa na razão Sp/p% da ordem de 30% a 50% em relação aos valores da Figura 5.6, o que se afigura como muito favorável, pois permitirá uma conseqüente redução de custos do betão. Em todo o caso, a metodologia proposta por Nepomuceno [22] já previa a variação da razão Sp/p% consoante o superplastificante selecionado, sem alteração da metodologia proposta, pois não altera as razões Vw/Vp previstas. Por esse facto, as argamassas necessitam sempre de ser acertadas experimentalmente relativamente à razão Sp/p% como propõe Nepomuceno [22], face à grande variedade de superplastificantes existentes, ou mesmo devido às variações de fornecimento entre várias remessas do mesmo superplastificante. Assim, para primeira estimativa pode-se considerar reduções de 30% a 50% da razão Sp/p% e, em complementaridade, pode ser utilizado o gráfico ilustrado na Figura 5.7 para aferir as dosagens em volume de Sp, obtido no presente trabalho para o ViscoCrete 3005.

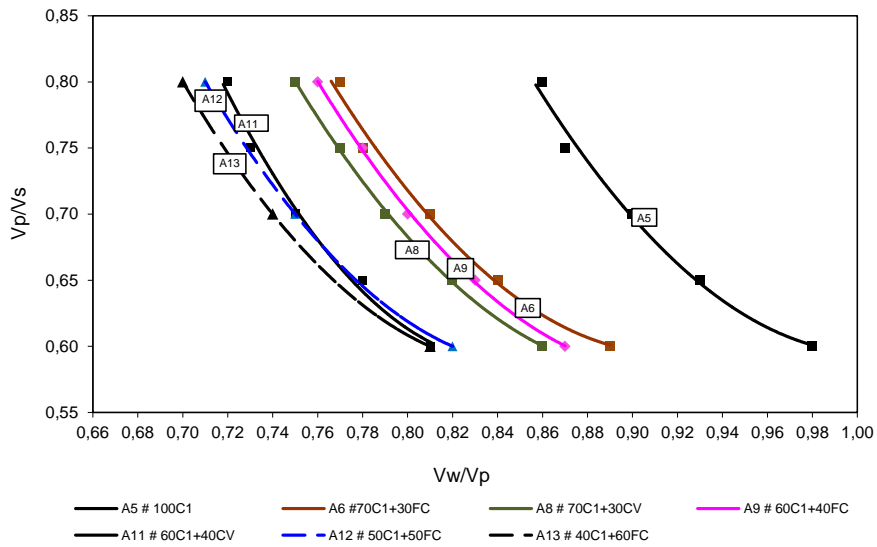


Figura 5.5. Relação entre V_p/V_s e a razão V_w/V_p (adaptado de Nepomuceno *et al.* [24])

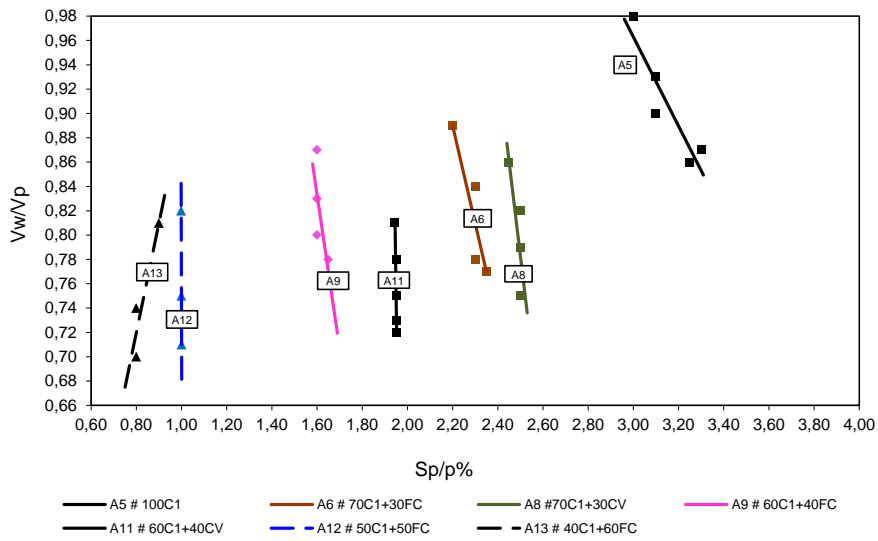


Figura 5.6. Relação entre V_w/V_p e $Sp/p\%$ (adaptado de Nepomuceno *et al.* [24])

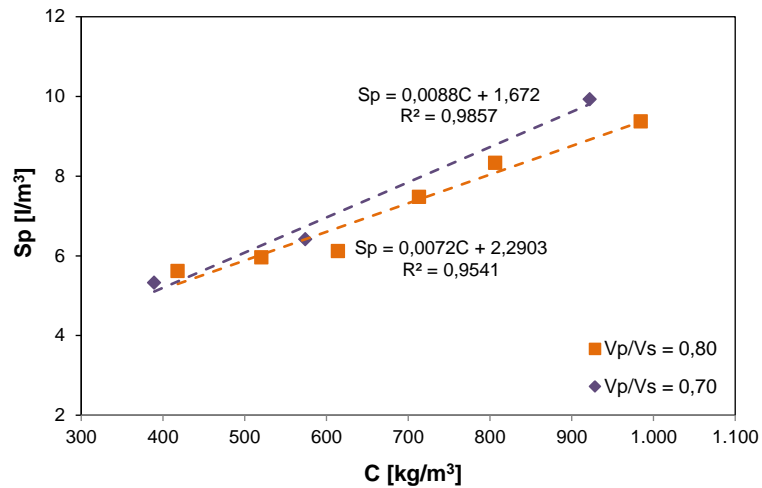


Figura 5.7. Dosagem de superplastificante em função do consumo de cimento em argamassas

5.5.6. Estudos em argamassas

O cálculo das argamassas e os estudos laboratoriais a realizar são em tudo idênticos aos já descritos no procedimento experimental deste trabalho, no subcapítulo 3.5. com o mesmo título “Estudos em argamassas”.

5.5.7. Estudos em betões

O cálculo dos betões e os estudos laboratoriais a realizar são em tudo idênticos aos já descritos no procedimento experimental deste trabalho, no subcapítulo 3.6. com o mesmo título “Estudos em betões”.

6. Conclusões e propostas para trabalhos futuros

A análise dos resultados obtidos durante a campanha experimental e a revisão bibliográfica proporcionaram a obtenção de algumas conclusões. No presente capítulo é apresentada uma síntese das conclusões consideradas mais relevantes sobre betões autocompactáveis de agregados leves de argila expandida e que resultaram do estudo realizado. Contudo este estudo não encerra a investigação sobre o tema proposto, pelo que no final do capítulo são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

Pela revisão bibliográfica foi possível constatar que existem poucos estudos referentes a betões autocompactáveis leves. No presente trabalho descreveu-se um estudo experimental que teve como objetivo definir os parâmetros para a composição de betões estruturais autocompactáveis leves (LWSCC) de argila expandida, visando uma adequação da metodologia usada para os betões autocompactáveis de densidade normal (NWSCC).

No programa experimental a fase argamassa incluiu sempre agregado fino natural, enquanto a fase betão incluiu agregados grossos naturais na mistura de referência e agregados grossos leves de argila expandida nas restantes. Foi utilizado o cimento CEM I 42,5R e como adição o fíler calcário. Utilizou-se ainda um superplastificante à base de policarboxilatos modificados.

Na primeira fase avaliaram-se as propriedades dos materiais constituintes, com especial ênfase na absorção dos agregados leves. Avaliou-se ainda a curva de referência para os agregados grossos leves pelo método da baridade, para detetar possíveis diferenças face à curva proposta na metodologia dos NWSCC para os agregados naturais.

Com base num estudo inicial das propriedades reológicas de uma argamassa conducente a betões autocompactáveis, produziu-se um betão autocompactável de massa volúmica normal (NWSCC) e um betão autocompactável de agregados leves de argila expandida (LWSCC), com o mesmo volume de agregados grossos naturais e leves, respetivamente. Com este estudo avaliou-se as propriedades de escoamento das argamassas adequadas à produção dos LWSCC.

Para avaliar as correlações com a resistência à compressão, com a densidade do betão e com os parâmetros de trabalhabilidade foram produzidas nove argamassas com diferentes “famílias de finos” e dois (V_p/V_s) distintos tendo em comum as propriedades de escoamento adequadas à produção de LWSCC. Posteriormente, com essas argamassas foram produzidas amassaduras de LWSCC para dois valores de V_m/V_g distintos e avaliadas as suas propriedades no estado fresco e endurecido. No estado fresco foram utilizados o ensaio de espalhamento, funil V e caixa L. No estado endurecido foi avaliada a resistência à compressão aos 7 e 28 dias, a densidade do provete saturado e seco em estufa até massa constante e avaliada qualitativamente a resistência à segregação estática dos LWSCC.

Com base no estudo realizado, foi possível concluir o seguinte:

- A absorção de água dos agregados leves constitui um aspeto muito relevante neste tipo de betões. A morosidade e as incertezas associadas ao processo de contabilização rigorosa das correções da mistura constituem um obstáculo em termos de aplicação prática;
- A curva de referência dos agregados grossos proposta por Nepomuceno para os NWSCC é adequada à obtenção de LWSCC. Apesar das diferenças na forma dos agregados, os resultados obtidos pelo método da baridade são similares;
- As propriedades reológicas das argamassas propostas por Nepomuceno para os NWSCC, medidas indiretamente pelos ensaios de espalhamento e de fluidez, são adequadas à produção de LWSCC. Isto significa que no ensaio de espalhamento devem apresentar um diâmetro compreendido entre 251 e 263 mm e no ensaio no funil V um tempo de escoamento entre 7,69 e 8,77 s. Quando traduzidos nas propriedades reológicas G_m e R_m , estes devem estar compreendidos entre 5,30 e 5,90 e entre 1,14 e 1,30 s^{-1} , respetivamente;
- Uma vez que as propriedades das argamassas são idênticas às aquelas propostas por Nepomuceno, significa que poderão ser usadas as mesmas correlações para a estimativa dos parâmetros iniciais das misturas, que posteriormente serão aferidas experimentalmente. No presente estudo não se verificaram diferenças nas correlações entre as percentagens de substituição do cimento pela adição e as razões W/C e V_p/V_s . Do mesmo modo, não se verificaram diferenças na estimativa de V_w/V_p . Quanto à estimativa do parâmetro $Sp/p\%$, evidencia-se o facto de se terem registado dosagens de superplastificante significativamente inferiores às previstas, em consequência das diferenças entre os superplastificantes usados num e noutro caso. Este facto não altera em nada a metodologia, uma vez que não se registaram alterações nas razões V_w/V_p e as dosagens de superplastificante são aferidas experimentalmente, servindo estes valores apenas para estimativa inicial;
- A resistência à compressão dos LWSCC aos 28 dias de idade ($f_{cm,28}$), contrariamente aos NWSCC não depende apenas da razão W/C , mas também do volume de agregados grossos leves na mistura (V_m/V_g). Em geral a resistência aumenta com a redução da razão W/C e com o aumento de V_m/V_g ;
- Para a mesma razão W/C os betões autocompactáveis de agregados leves registaram resistências substancialmente inferiores às aquelas obtidas em betões autocompactáveis de densidade normal. Para razões W/C entre 0,29 e 0,61, em massa, obtiveram-se betões autocompactáveis leves com resistências entre 35 e os 57 MPa, enquanto que para os NWSCC essa resistência situou-se entre os 53 e 87 MPa.
- Para a metodologia proposta no presente trabalho, verificou-se essencial definir o volume de agregados grossos leves (V_m/V_g) antes da fase de estudo da composição das argamassas, visto ser um parâmetro que influencia indiretamente a razão W/C e conseqüentemente o valor de $f_{cm,28}$;

- Nos LWSCC obtiveram-se bons resultados em termos de trabalhabilidade para os seguintes intervalos: o ensaio de espalhamento com um diâmetro entre 630 e 750 mm, o ensaio do funil V com um tempo de escoamento entre 10 e 15 s e o ensaio da caixa L com uma razão de H2/H1 superior a 0,80;

- A massa volúmica do LWSCC é influenciada pelo volume de agregados grossos leves na mistura. Nos betões produzidos a massa volúmica saturada variou entre 1820 e 1934 kg/m³, enquanto a massa volúmica seca variou entre 1691 e 1793 kg/m³, classificando-se assim como betões autocompactáveis leves estruturais, de acordo com EN 206-1:2010;

- As amassaduras de LWSCC no estado fresco não apresentaram tendência à segregação, exsudação ou qualquer tipo de bloqueio. A análise da segregação “estática”, efetuada através de imagens de secções longitudinais de provetes cilíndricos com diâmetro de 150 mm e 300 mm de altura, revelou uma distribuição homogénea do agregado leve.

A análise das conclusões apresentadas anteriormente conduziram ao desenvolvimento de um modelo de cálculo para o estudo da composição de betões estruturais leves autocompactáveis, com agregados de argila expandida. Com base nos resultados obtidos foi possível definir intervalos de segurança para aplicação do modelo desenvolvido. Sendo assim:

i) Relativamente aos parâmetros:

- $f_{cm,28}$ [33,55] em MPa
- W/C [0,29;0,61] em massa
- $\bar{\rho}_{seca}$ [1691,1793] em kg/m³
- $\bar{\rho}_{sat}$ [1820,1934] em kg/m³
- V_m/V_g [2,0;2,6] em volume absoluto
- V_p/V_s [0,60;0,80] em volume absoluto

ii) Relativamente aos materiais:

- Cimento CEM I 42,5R
- Adição de fíler calcário ou de cinzas volantes
- Adjuvante à base de policarboxilatos modificados
- Agregados finos de areias naturais de origem fluvial
- Agregados grossos leves de argila expandida (Leca)

6.2. Propostas para trabalhos futuros

Reconhece-se a necessidade de se prosseguir a investigação nesta área para que se possa completar os estudos efetuados. Refere-se como exemplo:

- A utilização de agregados finos naturais e agregados grossos leves com diferentes distribuições granulométricas avaliando-se a sua influência na autocompactabilidade, uma vez que no presente estudo as curvas granulométricas se mantiveram constantes impossibilitando essa análise;
- Avaliar os parâmetros reológicos, tensão de corte e viscosidade plástica, com base em reómetros e correlaciona-los com os obtidos no presente trabalho;
- O estudo de LWSCC com diferentes volumes de agregados grossos para que seja possível estatisticamente aumentar o grau de confiança do modelo de cálculo proposto para a estimativa da resistência à compressão aos 28 dias de idade;
- Estudos para condições menos exigentes de espaçamento entre armaduras o que permitirá utilizar maiores volumes de agregados leves e reduzir o custo do betão;
- Avaliar outras propriedades do LWSCC no estado endurecido, nomeadamente a resistência à tração, módulo de elasticidade, retração, fluência e durabilidade;
- Avaliar a aplicabilidade de ensaios não destrutivos em betões autocompactáveis de agregados leves;
- Avaliação dos LWSCC em aplicações práticas, bem como as condições de trabalhabilidade a manter durante transporte e colocação em obra.

Referências bibliográficas

- [1] **ACI 318** - ACI 318-95. Building code requirements for structural concrete commentary, ACI; 1995.
- [2] **Appleton J.** - CONSTRUÇÕES EM BETÃO - Nota histórica sobre a evolução, professor catedrático de Betão Armado e Pré-Esforçado do IST.
- [3] **Bogas J. A., Gomes A., Pereira M.F.C.** - Self-compacting lightweight concrete produced with expanded clay aggregate, *Construction and Building Materials*, Vol. 35, Elsevier, Portugal, Jun. 2012, pp. 1013-1022.
- [4] **Choi Y. W., Kim Y. J., Skin H. C., Moon H. Y.** - An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete, Vol. 36, *Science Direct*, Coreia do sul, Nov. 2004, pp. 1595-1602.
- [5] **Cui H.Z., Lo T. Y., Memon S. A., Xing F., Shi X.** - Analytical model for compressive strength, elastic modulus and peak strain of structural lightweight aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 36, Elsevier, China, 2012, pp. 1036-1043.
- [6] **Domone P.L.** - Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 28, 2006, pp. 197-208.
- [7] **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.
- [8] **EFNARC** - «Guidelines for viscosity modifying admixtures for concrete», September 2006.
- [9] **Especificação LNEC E245-1971** - Inertes para Argamassas e Betões: Análise granulométrica.
- [10] **Especificação LNEC E247-1971** - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação da Baridade.
- [11] **Especificação LNEC E255-1971** - Betões: Preparação de provetes para Ensaios de Compressão e Flexão.
- [12] **Especificação LNEC E372** - Água de amassadura para Betões: Características e Verificação da Conformidade.
- [13] **Especificação LNEC E64-1960** - «Cimento Portland: Determinação da massa específica».
- [14] **Grabois, T. M., Toledo F. R. D., Cordeiro G. C.** - Caracterização reológica e mecânica de concretos leves autoadensáveis, 3º Congresso Ibéroamericano sobre betão auto-compactável, Avanços e oportunidades, Madrid, Espanha, 3 e 4 Dez. 2012.
- [15] **Hela R., Hubertova M.** - Development of lightweight sel-compacting concrete using liapor lightweight aggregate, Rep. Checa, 2005.
- [16] **Hwang C. L., Hung M. F.** - Durability design and performance of self-consolidating lightweight concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 19, Elsevier, Taiwan, 2005, pp. 619-626.
- [17] **Kestemont X.** - LightWeight Self-Compacting Concrete (LWSCC): project & experiences, 4th Conc. Innovation Forum, Feb. 2011.
- [18] **Kim Y. J., Choi Y. W., Lachemi M.** - Characteristics of self-consolidating concrete using two types of lightweight coarse aggregates, *Construction and Building Materials*, Vol. 24, Elsevier, Coreia do Sul, Set. 2010, pp.11-16.
- [19] **Kim Y. J., Choi Y. W., Lachemi M.** - Characteristics of self-consolidating concrete using two types of lightweight coarse aggregates, *Construction and Building Materials*, Vol. 24, Elsevier, Coreia do Sul, Set. 2009, pp. 11-16.
- [20] **Madandoust R., Ranjbar M. M., Mousavi S. Y.** - An investigation on the fresh properties

- of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene, *Construction and Building Materials*, Vol. 25, Elsevier, Iran, Maio 2011, pp. 3721-3731.
- [21] **Mazaheripour H., Ghanbarpour S., Mirmoradi S.H., Hosseinpour I.** - The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 25, Elsevier, Iran, Jul. 2010, pp. 351-358.
- [22] **Nepomuceno M.** - Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis, *Dissertação de Douramento em Engenharia Civil*, UBI, Portugal, 2005, p.3-550.
- [23] **Nepomuceno M. C. S., Oliveira L. A. P., Franco R. M. C.** - Otimização de betões autocompactáveis para diferentes restrições ao escoamento, 3o Congresso Ibéroamericano sobre betão auto-compactável Avanços e oportunidades, Madrid, Espanha, 3 e 4 Dez. 2012.
- [24] **Nepomuceno M., Oliveira L., Lopes S. M. R.** - Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders, *Construction and Building Materials*, Vol. 26, Elsevier, Portugal, Jul. 2011, pp. 317-326.
- [25] **Norma Portuguesa EN 12350-9, 2010** - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 9: Betão autocompactável, Ensaio de escoamento no funil V, Lisboa, Portugal, IPQ, p.11
- [26] **Norma Portuguesa EN 12350-10, 2010** - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 10: Betão autocompactável, Ensaio de escoamento na caixa L, IPQ, Lisboa, Portugal, p.12
- [27] **Norma Portuguesa EN 12350-8, 2010** - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 8: Betão autocompactável, Ensaio de espalhamento, IPQ, Lisboa, Portugal, p.12
- [28] **Norma Portuguesa NP 197 - 1** - Cimento, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes.
- [29] **Norma Portuguesa NP 206-2:2010** - Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- [30] **Norma Portuguesa NP EN 1097-6:2003** - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.
- [31] **Norma Portuguesa NP EN 934-2:2009** - Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem.
- [32] **Norma Portuguesa NP EN933 - 1:2000** - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte1: Análise Granulométrica. Método de Peneiração.
- [33] **Norma Portuguesa NP EN933-2:1999** - Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados. Parte 2:Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas.
- [34] **Nunes S.** - Betão auto-compactável: tecnologia e propriedades, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, FEUP, Portugal, 2001.
- [35] **Okamura H., Ozawa K., Ouchi M.** - Self-Compacting Concrete, in «*Structural Concrete: Journal of the fib*», Vol. 1, Thomas Telford Ltd, March 2000, pp. 3-17.
- [36] **Okamura H.; Ouchi M.** - Self- compacting concrete, *Journal of Advanced Concrete technology*, vol. 1, N. ° 1, 2003, p. 5-15.
- [37] **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 & Construction*», Taipei, Taiwan, 1998, p. 1307-1312.
- [38] **Santos, A. C. P., Cavalaro S. H. P., Aguado A.** - Comparación entre ensayos para evaluar la segregación en hormigones autocompactantes, 3º Congresso Iberoamericano sobre betão auto-compactável, Madrid, Espanha, Dez. 2012, pp. 141-150.
- [39] **Silva B. M. M.** - Betão Leve Estrutural Com Agregados de Argila Expandida, *Dissertação de*

Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Portugal, 2007.

- [40] **Silva B., Coutinho J., Neves S.** - Betão leve estrutural usando agregados de argila expandida, Encontro Nacional Betão Estrutural, Portugal, 2004.
- [41] **Topçu I. B., Uygunoglu T.** - Effect of aggregate type on properties of hardened self-consolidating lightweight concrete (SCLC), Construction and Building Materials, Vol. 24, Elsevier, Turquia, Jun. 2010, pp. 1286-1295.
- [42] **Wang ZY.** - Long term deformation characteristics and mechanical properties of high strength LWAC, Master thesis, 2005, Tsinghua University.
- [43] **Weigle H, Karl S.** - Mix ratio of lightweight aggregate concrete, Lightweight aggregate concrete, CEB/FIP Manual Des Technol 1983:23-47.
- [44] **Wu Z., Zhang Y., Zheng J., Ding Y.** - An experimental study on the workability of self-compacting lightweight concrete, Construction and Building Materials, Vol. 23, Elsevier, China, Out. 2008, pp. 2087-2092.
- [45] **Yao X. S., Gerwick B. C., Gerwick B. C.** - Development of Self-Compacting Lightweight Concrete For RFP Reinforced Floating Concrete Structures, California, U.S.A..

Anexos

Anexo A.1
ESTUDOS EM ARGAMASSAS

Anexo A.1.1
COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS

Tabela A.1. Composição da argamassa A-S1.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data																																																																
A-S1.1			40C1+60FC			08-01-2013																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,50	0,50																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																			
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																			
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																			
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																			
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																			
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																			
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																			
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,938	2,961	2,450																																																																			
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																				
0,80	0,70	0,40																																																																				
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/m ³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																						
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																	
2559	2586		---	---	---																																																																	
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=	418,8 kg					C1=	670,1 g																																																															
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg				C2=	0,0 g	Massa total, em g																																																														
CV=	0,0 kg	2296,3				CV=	0,0 g	3674,0																																																														
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																														
FC=	551,2 kg	0,565				FC=	881,9 g	0,565																																																														
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento				FG=	0,0 g	Razão água/cimento																																																														
W=	236,4 litros	0,565				W=	378,3 ml	0,565																																																														
Sp=	3,70 litros	Razão água/finos				Sp=	5,91 ml	Razão água/finos																																																														
S1=	540,2 kg	0,244				S1=	864,3 g	0,244																																																														
S2=	545,9 kg					S2=	873,4 g																																																															

$\delta p = 2872,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,010941 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,3377305 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,2364113 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,0036951 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,4221631 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Tabela A.2. Composição da argamassa A-S1.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data																																																																
A-S1.2			40C1+60FC			08-01-2013																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,50	0,50																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																			
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																			
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																			
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																			
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																			
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																			
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																			
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,938	2,961	2,450																																																																			
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																				
0,80	0,70	0,45																																																																				
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/m ³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																						
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																	
2559	2586		---	---	---																																																																	
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=	418,6 kg					C1=	669,7 g																																																															
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg				C2=	0,0 g	Massa total, em g																																																														
CV=	0,0 kg	2295,7				CV=	0,0 g	3673,1																																																														
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																														
FC=	550,9 kg	0,565				FC=	881,5 g	0,565																																																														
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento				FG=	0,0 g	Razão água/cimento																																																														
W=	236,3 litros	0,565				W=	378,1 ml	0,565																																																														
Sp=	4,16 litros	Razão água/finos				Sp=	6,65 ml	Razão água/finos																																																														
S1=	539,9 kg	0,244				S1=	863,9 g	0,244																																																														
S2=	545,6 kg					S2=	873,0 g																																																															

$\delta p = 2872,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,0123086 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,3375746 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,2363022 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,0041551 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,4219682 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Tabela A.3. Composição da argamassa A-S1.3.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																							
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data																	
A-S1.3			40C1+60FC			08-01-2013																	
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha			Mistura (Curva Real)														
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2													
0,80	0,70	0,50	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,50	0,50													
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2872,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0136762 m ³ /m ³ Vp= 0,3374188 m ³ /m ³ Vw= 0,2361931 m ³ /m ³ Vsp= 0,0046146 m ³ /m ³ Vs= 0,4217735 m ³ /m ³														
δc1	δc2	δcv	δs1	δs2	δs3	...	...	...												
3100	3040	2380	2559	2586	...	...	...	...											
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			Módulos de finura																	
C1= 418,4 kg	C2= 0,0 kg	CV= 0,0 kg	MS= 0,0 kg	FC= 550,7 kg	FG= 0,0 kg	W= 236,2 litros	Sp= 4,61 litros	S1= 539,7 kg	S2= 545,4 kg	C1= 669,4 g	C2= 0,0 g	CV= 0,0 g	MS= 0,0 g	FC= 881,1 g	FG= 0,0 g	W= 377,9 ml	Sp= 7,38 ml	S1= 863,5 g	S2= 872,6 g				
Massa total, em kg			Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/cimento			Razão água/finos			Massa total, em g			Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/cimento			Razão água/finos		
2295,1			0,565			0,565			0,244			3672,2			0,565			0,244					

Tabela A.4. Composição da argamassa A-S1.4.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																							
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data																	
A-S1.4			40C1+60FC			08-01-2013																	
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha			Mistura (Curva Real)														
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2													
0,80	0,70	0,53	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,50	0,50													
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2872,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,014497 m ³ /m ³ Vp= 0,337325 m ³ /m ³ Vw= 0,236128 m ³ /m ³ Vsp= 0,00489 m ³ /m ³ Vs= 0,421657 m ³ /m ³														
δc1	δc2	δcv	δs1	δs2	δs3	...	...	...												
3100	3040	2380	2559	2586	...	...	...	...											
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			Módulos de finura																	
C1= 418,3 kg	C2= 0,0 kg	CV= 0,0 kg	MS= 0,0 kg	FC= 550,5 kg	FG= 0,0 kg	W= 236,1 litros	Sp= 4,89 litros	S1= 539,5 kg	S2= 545,2 kg	C1= 669,3 g	C2= 0,0 g	CV= 0,0 g	MS= 0,0 g	FC= 880,8 g	FG= 0,0 g	W= 377,8 ml	Sp= 7,82 ml	S1= 863,2 g	S2= 872,3 g				
Massa total, em kg			Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/cimento			Razão água/finos			Massa total, em g			Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/cimento			Razão água/finos		
2294,8			0,565			0,565			0,244			3671,6			0,565			0,244					

Tabela A.5. Composição da argamassa A-S1.5.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																												
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data																						
A-S1.5			40C1+60FC			08-01-2013																						
Parâmetros da composição			Abertura da malha (mm)																									
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F		Mistura (Curva Real)																					
0,80	0,70	0,58	a1	a2																								
			0,50	0,50																								
			Porcentagem de passados																									
			9,520	100,00	99,99	100,00																						
			4,760	99,97	99,35	99,66																						
			2,380	99,49	92,46	95,97																						
			1,190	98,16	72,03	85,09																						
			0,590	72,53	32,32	52,43																						
			0,297	27,42	6,60	17,01																						
			0,149	8,62	1,13	4,88																						
			0,074	1,72	0,25	0,98																						
			Resíduo	0,00	0,00	0,00																						
			Módulos de finura																									
			1,938	2,961	2,450																							
Composição da mistura de finos			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																									
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																	
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	3100	3040	2380	2170	2720	2650																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																									
δs1	δs2	δs3	---	---	---	δsp	---	---	---	---	---																	
2559	2586		---	---	---	1050	---	---	---	---	---																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																									
C1=	418,1 kg	C2=		0,0 kg	CV=		0,0 kg	MS=		0,0 kg	FC=		550,3 kg	FG=		0,0 kg	W=		236,0 litros	Sp=		5,35 litros	S1=		539,3 kg	S2=		545,0 kg
			Massa total, em kg		2294,2		Razão água/(mat. cimentícios)		0,565		Razão água/cimento		0,565		Razão água/finos		0,244											
			Massa total, em g		3670,7		Razão água/(mat. cimentícios)		0,565		Razão água/cimento		0,565		Razão água/finos		0,244											
			Razão água/(mat. cimentícios)		0,565		Razão água/cimento		0,565		Razão água/finos		0,244															
			Razão água/cimento		0,565		Razão água/finos		0,244																			
			Razão água/finos		0,244																							

Tabela A.7. Composição da argamassa A-S1.7.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data					
A-S1.7			40C1+60FC			14-01-2013					
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha (mm)			Mistura (Curva Real)		
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2	
0,80	0,70	0,62	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,50	0,50	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2872,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0169585 m ³ /m ³ Vp= 0,3370455 m ³ /m ³ Vw= 0,2359318 m ³ /m ³ Vsp= 0,0057158 m ³ /m ³ Vs= 0,4213069 m ³ /m ³		
δs1	δs2	δs3	δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg				δsp	---	---
2559	2586	---	3100	3040	2380	2170	2720	2650	1050	---	---
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros								
C1=	417,9 kg		C1=	668,7 g							
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g						
CV=	0,0 kg	2293,7	CV=	0,0 g	3670,0						
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)						
FC=	550,1 kg	0,565	FC=	880,1 g	0,565						
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento						
W=	235,9 litros	0,565	W=	377,5 ml	0,565						
Sp=	5,72 litros	Razão água/finos	Sp=	9,15 ml	Razão água/finos						
S1=	539,1 kg	0,244	S1=	862,5 g	0,244						
S2=	544,7 kg		S2=	871,6 g							

Tabela A.8. Composição da argamassa A-S2.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data					
A-S2.1			50C1+50FC			22-01-2013					
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha (mm)			Mistura (Curva Real)		
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2	
0,80	0,71	0,79	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,50	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2910,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0218943 m ³ /m ³ Vp= 0,3353573 m ³ /m ³ Vw= 0,2381037 m ³ /m ³ Vsp= 0,0073424 m ³ /m ³ Vs= 0,4191966 m ³ /m ³		
δs1	δs2	δs3	δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg				δsp	---	---
2559	2586	---	3100	3040	2380	2170	2720	2650	1050	---	---
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros								
C1=	519,8 kg		C1=	831,7 g							
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g						
CV=	0,0 kg	2300,1	CV=	0,0 g	3680,1						
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)						
FC=	456,1 kg	0,458	FC=	729,7 g	0,458						
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento						
W=	238,1 litros	0,458	W=	381,0 ml	0,458						
Sp=	7,34 litros	Razão água/finos	Sp=	11,75 ml	Razão água/finos						
S1=	536,4 kg	0,244	S1=	858,2 g	0,244						
S2=	542,0 kg		S2=	867,2 g							

Tabela A.9. Composição da argamassa A-S2.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS												
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data						
A-S2.2			50C1+50FC			22-01-2013						
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha			Mistura (Curva Real)			
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2		
0,80	0,71	0,74	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,50		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2910,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0205086 m ³ /m ³ Vp= 0,3355132 m ³ /m ³ Vw= 0,2382144 m ³ /m ³ Vsp= 0,0068809 m ³ /m ³ Vs= 0,4193915 m ³ /m ³			
δc1	δc2	δcv	δs1	δs2	δs3	δsp	δs	δf				δfg
3100	3040	2380	2559	2586	---	1050	---	---				---
---	---	---	---	---	---	---	---	---				---
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros									
C1=	520,0 kg		C1=	832,1 g								
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g							
CV=	0,0 kg	2300,7	CV=	0,0 g	3681,1							
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)							
FC=	456,3 kg	0,458	FC=	730,1 g	0,458							
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento							
W=	238,2 litros	0,458	W=	381,1 ml	0,458							
Sp=	6,88 litros	Razão água/finos	Sp=	11,01 ml	Razão água/finos							
S1=	536,6 kg	0,244	S1=	858,6 g	0,244							
S2=	542,3 kg		S2=	867,6 g								

Tabela A.10. Composição da argamassa A-S2.3.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS												
Identificação da argamassa			Identificação da mistura de finos			Data						
A-S2.3			50C1+50FC			22-01-2013						
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha			Mistura (Curva Real)			
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2		
0,80	0,71	0,64	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,50		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2910,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0177371 m ³ /m ³ Vp= 0,3358255 m ³ /m ³ Vw= 0,2384361 m ³ /m ³ Vsp= 0,0059566 m ³ /m ³ Vs= 0,4197818 m ³ /m ³			
δc1	δc2	δcv	δs1	δs2	δs3	δsp	δs	δf				δfg
3100	3040	2380	2559	2586	---	1050	---	---				---
---	---	---	---	---	---	---	---	---				---
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros									
C1=	520,5 kg		C1=	832,8 g								
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g							
CV=	0,0 kg	2301,8	CV=	0,0 g	3682,9							
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)							
FC=	456,7 kg	0,458	FC=	730,8 g	0,458							
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento							
W=	238,4 litros	0,458	W=	381,5 ml	0,458							
Sp=	5,96 litros	Razão água/finos	Sp=	9,53 ml	Razão água/finos							
S1=	537,1 kg	0,244	S1=	859,4 g	0,244							
S2=	542,8 kg		S2=	868,4 g								

Tabela A.11. Composição da argamassa A-S3.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																			
Identificação da argamassa A-S3.1			Identificação da mistura de finos 60C1+40FC			Data 22-01-2013																																																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th colspan="2">Areia 0/2-F</th> <th colspan="2">Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a2</th> <th>a1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> <td>99,66</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> <td>95,97</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> <td>85,09</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> <td>52,43</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> <td>17,01</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> <td>4,88</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> <td>0,98</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F		Mistura (Curva Real)	a1	a2	a2	a1		0,50	0,50				Percentagem de passados						9,520	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	99,66	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	95,97	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	85,09	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	52,43	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	17,01	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	4,88	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	0,98	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							1,938	2,961	2,450		
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F		Mistura (Curva Real)																																																																																														
	a1	a2	a2	a1																																																																																															
	0,50	0,50																																																																																																	
Percentagem de passados																																																																																																			
9,520	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00																																																																																														
4,760	99,97	99,35	99,66	99,66	99,66																																																																																														
2,380	99,49	92,46	95,97	95,97	95,97																																																																																														
1,190	98,16	72,03	85,09	85,09	85,09																																																																																														
0,590	72,53	32,32	52,43	52,43	52,43																																																																																														
0,297	27,42	6,60	17,01	17,01	17,01																																																																																														
0,149	8,62	1,13	4,88	4,88	4,88																																																																																														
0,074	1,72	0,25	0,98	0,98	0,98																																																																																														
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																														
Módulos de finura																																																																																																			
	1,938	2,961	2,450																																																																																																
Composição da mistura de finos																																																																																																			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																														
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																																														
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																														
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																														
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																			
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																																														
2559	2586																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																			
δsp	---	---	---	---	---																																																																																														
1050																																																																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2948,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,0280762 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,3291557 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2501583 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0092414 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4114446 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2948,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,0280762 m ³ /m ³	Vp=	0,3291557 m ³ /m ³	Vw=	0,2501583 m ³ /m ³	Vsp=	0,0092414 m ³ /m ³	Vs=	0,4114446 m ³ /m ³																																																																																		
δp=	2948,00 kg/m ³																																																																																																		
Vsp/Vp=	0,0280762 m ³ /m ³																																																																																																		
Vp=	0,3291557 m ³ /m ³																																																																																																		
Vw=	0,2501583 m ³ /m ³																																																																																																		
Vsp=	0,0092414 m ³ /m ³																																																																																																		
Vs=	0,4114446 m ³ /m ³																																																																																																		
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																			
C1=	612,2 kg	Massa total, em kg																																																																																																	
C2=	0,0 kg	2288,7																																																																																																	
CV=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																	
MS=	0,0 kg	0,409																																																																																																	
FC=	358,1 kg	Razão água/cimento																																																																																																	
FG=	0,0 kg	0,409																																																																																																	
W=	250,2 litros	Razão água/finos																																																																																																	
Sp=	9,24 litros	0,258																																																																																																	
S1=	526,4 kg																																																																																																		
S2=	532,0 kg																																																																																																		
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																			
C1=	979,6 g	Massa total, em g																																																																																																	
C2=	0,0 g	3661,8																																																																																																	
CV=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																	
MS=	0,0 g	0,409																																																																																																	
FC=	573,0 g	Razão água/cimento																																																																																																	
FG=	0,0 g	0,409																																																																																																	
W=	400,3 ml	Razão água/finos																																																																																																	
Sp=	14,79 ml	0,258																																																																																																	
S1=	842,3 g																																																																																																		
S2=	851,2 g																																																																																																		

Tabela A.12. Composição da argamassa A-S3.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																			
Identificação da argamassa A-S3.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40FC			Data 22-01-2013																																																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th colspan="2">Areia 0/2-F</th> <th colspan="2">Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a2</th> <th>a1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> <td>99,66</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> <td>95,97</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> <td>85,09</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> <td>52,43</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> <td>17,01</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> <td>4,88</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> <td>0,98</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F		Mistura (Curva Real)	a1	a2	a2	a1		0,50	0,50				Percentagem de passados						9,520	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	99,66	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	95,97	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	85,09	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	52,43	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	17,01	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	4,88	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	0,98	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							1,938	2,961	2,450		
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F		Mistura (Curva Real)																																																																																														
	a1	a2	a2	a1																																																																																															
	0,50	0,50																																																																																																	
Percentagem de passados																																																																																																			
9,520	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00																																																																																														
4,760	99,97	99,35	99,66	99,66	99,66																																																																																														
2,380	99,49	92,46	95,97	95,97	95,97																																																																																														
1,190	98,16	72,03	85,09	85,09	85,09																																																																																														
0,590	72,53	32,32	52,43	52,43	52,43																																																																																														
0,297	27,42	6,60	17,01	17,01	17,01																																																																																														
0,149	8,62	1,13	4,88	4,88	4,88																																																																																														
0,074	1,72	0,25	0,98	0,98	0,98																																																																																														
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																														
Módulos de finura																																																																																																			
	1,938	2,961	2,450																																																																																																
Composição da mistura de finos																																																																																																			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																														
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																																														
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																														
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																														
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																			
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																																																																														
2559	2586																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																			
δsp	---	---	---	---	---																																																																																														
1050																																																																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2948,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,0204956 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,329979 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2507841 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0067631 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4124738 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2948,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,0204956 m ³ /m ³	Vp=	0,329979 m ³ /m ³	Vw=	0,2507841 m ³ /m ³	Vsp=	0,0067631 m ³ /m ³	Vs=	0,4124738 m ³ /m ³																																																																																		
δp=	2948,00 kg/m ³																																																																																																		
Vsp/Vp=	0,0204956 m ³ /m ³																																																																																																		
Vp=	0,329979 m ³ /m ³																																																																																																		
Vw=	0,2507841 m ³ /m ³																																																																																																		
Vsp=	0,0067631 m ³ /m ³																																																																																																		
Vs=	0,4124738 m ³ /m ³																																																																																																		
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																			
C1=	613,8 kg	Massa total, em kg																																																																																																	
C2=	0,0 kg	2291,8																																																																																																	
CV=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																	
MS=	0,0 kg	0,409																																																																																																	
FC=	359,0 kg	Razão água/cimento																																																																																																	
FG=	0,0 kg	0,409																																																																																																	
W=	250,8 litros	Razão água/finos																																																																																																	
Sp=	6,76 litros	0,258																																																																																																	
S1=	527,8 kg																																																																																																		
S2=	533,3 kg																																																																																																		
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																			
C1=	982,0 g	Massa total, em g																																																																																																	
C2=	0,0 g	3666,8																																																																																																	
CV=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																	
MS=	0,0 g	0,409																																																																																																	
FC=	574,4 g	Razão água/cimento																																																																																																	
FG=	0,0 g	0,409																																																																																																	
W=	401,3 ml	Razão água/finos																																																																																																	
Sp=	10,82 ml	0,258																																																																																																	
S1=	844,4 g																																																																																																		
S2=	853,3 g																																																																																																		

Tabela A.13. Composição da argamassa A-S3.3.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos		Data																																																																										
A-S3.3		60C1+40FC		23-01-2013																																																																										
Parâmetros da composição			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th colspan="2">Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Porcentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a2		0,50	0,50			Porcentagem de passados					9,520	100,00	99,99	100,00		4,760	99,97	99,35	99,66		2,380	99,49	92,46	95,97		1,190	98,16	72,03	85,09		0,590	72,53	32,32	52,43		0,297	27,42	6,60	17,01		0,149	8,62	1,13	4,88		0,074	1,72	0,25	0,98		Resíduo	0,00	0,00	0,00		Módulos de finura						1,938	2,961	2,450	
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F						Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																						
	a1	a2				a2																																																																								
	0,50	0,50																																																																												
Porcentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	99,99				100,00																																																																								
4,760	99,97	99,35				99,66																																																																								
2,380	99,49	92,46				95,97																																																																								
1,190	98,16	72,03				85,09																																																																								
0,590	72,53	32,32				52,43																																																																								
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																											
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																											
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,938	2,961	2,450																																																																											
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,80	0,76	0,66																																																																												
Composição da mistura de finos																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																														
dc1	dc2	dcv	oms	dfc	dfg																																																																									
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																														
ds1	ds2	ds3	---	---	---																																																																									
2559	2586		---	---	---																																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																														
dsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																											
C1=	614,2 kg		C1=	982,7 g																																																																										
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g																																																																									
CV=	0,0 kg	2292,6	CV=	0,0 g	3668,1																																																																									
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																									
FC=	359,3 kg	0,409	FC=	574,8 g	0,409																																																																									
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento																																																																									
W=	250,9 litros	0,409	W=	401,5 ml	0,409																																																																									
Sp=	6,12 litros	Razão água/finos	Sp=	9,79 ml	Razão água/finos																																																																									
S1=	528,1 kg	0,258	S1=	845,0 g	0,258																																																																									
S2=	533,7 kg		S2=	853,9 g																																																																										

$\delta p = 2948,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,0185303 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,3301932 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,2509468 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,0061186 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,4127415 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Tabela A.14. Composição da argamassa A-S4.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos		Data																																																																										
A-S4.1		70C1+30FC		23-01-2013																																																																										
Parâmetros da composição			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th colspan="2">Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Porcentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2	a2		0,50	0,50			Porcentagem de passados					9,520	100,00	99,99	100,00		4,760	99,97	99,35	99,66		2,380	99,49	92,46	95,97		1,190	98,16	72,03	85,09		0,590	72,53	32,32	52,43		0,297	27,42	6,60	17,01		0,149	8,62	1,13	4,88		0,074	1,72	0,25	0,98		Resíduo	0,00	0,00	0,00		Módulos de finura						1,938	2,961	2,450	
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F						Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																						
	a1	a2				a2																																																																								
	0,50	0,50																																																																												
Porcentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	99,99				100,00																																																																								
4,760	99,97	99,35				99,66																																																																								
2,380	99,49	92,46				95,97																																																																								
1,190	98,16	72,03				85,09																																																																								
0,590	72,53	32,32				52,43																																																																								
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																											
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																											
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,938	2,961	2,450																																																																											
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,80	0,77	0,68																																																																												
Composição da mistura de finos																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																														
dc1	dc2	dcv	oms	dfc	dfg																																																																									
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																														
ds1	ds2	ds3	---	---	---																																																																									
2559	2586		---	---	---																																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																														
dsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																											
C1=	714,0 kg		C1=	1142,4 g																																																																										
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g																																																																									
CV=	0,0 kg	2300,5	CV=	0,0 g	3680,8																																																																									
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																									
FC=	268,5 kg	0,355	FC=	429,6 g	0,355																																																																									
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento																																																																									
W=	253,3 litros	0,355	W=	405,4 ml	0,355																																																																									
Sp=	6,36 litros	Razão água/finos	Sp=	10,18 ml	Razão água/finos																																																																									
S1=	526,2 kg	0,258	S1=	842,0 g	0,258																																																																									
S2=	531,8 kg		S2=	850,8 g																																																																										

$\delta p = 2986,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,0193379 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,329019 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,2533447 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,0063625 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,4112738 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Tabela A.15. Composição da argamassa A-S4.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																													
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data																																																								
A-S4.2		70C1+30FC			23-01-2013																																																								
Parâmetros da composição																																																													
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																											
0,80	0,77	0,72																																																											
Composição da mistura de finos																																																													
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																								
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																								
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																													
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																								
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																													
δs1	δs2	δs3																																																								
2559	2586																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																													
δsp																																																								
1050																																																								
<table border="1"> <tr> <td>δp=</td> <td>2986,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,0204754 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,3288959 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2532499 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0067343 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4111199 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2986,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,0204754 m ³ /m ³	Vp=	0,3288959 m ³ /m ³	Vw=	0,2532499 m ³ /m ³	Vsp=	0,0067343 m ³ /m ³	Vs=	0,4111199 m ³ /m ³																																												
δp=	2986,00 kg/m ³																																																												
Vsp/Vp=	0,0204754 m ³ /m ³																																																												
Vp=	0,3288959 m ³ /m ³																																																												
Vw=	0,2532499 m ³ /m ³																																																												
Vsp=	0,0067343 m ³ /m ³																																																												
Vs=	0,4111199 m ³ /m ³																																																												
<table border="1"> <tr> <td>Abertura da malha (mm)</td> <td>Areia 0/2-F a1</td> <td>Areia 0/4-F a2</td> <td>Mistura (Curva Real)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F a1	Areia 0/4-F a2	Mistura (Curva Real)		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F a1	Areia 0/4-F a2	Mistura (Curva Real)																																																										
	0,50	0,50																																																											
Percentagem de passados																																																													
9,520	100,00	99,99	100,00																																																										
4,760	99,97	99,35	99,66																																																										
2,380	99,49	92,46	95,97																																																										
1,190	98,16	72,03	85,09																																																										
0,590	72,53	32,32	52,43																																																										
0,297	27,42	6,60	17,01																																																										
0,149	8,62	1,13	4,88																																																										
0,074	1,72	0,25	0,98																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																										
Módulos de finura																																																													
	1,938	2,961	2,450																																																										
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																										
C1=	713,7 kg		C1=	1141,9 g																																																									
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g																																																								
CV=	0,0 kg	2300,0	CV=	0,0 g	3680,0																																																								
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																								
FC=	268,4 kg	0,355	FC=	429,4 g	0,355																																																								
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento																																																								
W=	253,2 litros	0,355	W=	405,2 ml	0,355																																																								
Sp=	6,73 litros	Razão água/finos	Sp=	10,77 ml	Razão água/finos																																																								
S1=	526,0 kg	0,258	S1=	841,6 g	0,258																																																								
S2=	531,6 kg		S2=	850,5 g																																																									

Tabela A.16. Composição da argamassa A-S4.3.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																													
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data																																																								
A-S4.3		70C1+30FC			23-01-2013																																																								
Parâmetros da composição																																																													
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																											
0,80	0,77	0,80																																																											
Composição da mistura de finos																																																													
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																								
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																								
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																													
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																								
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																													
δs1	δs2	δs3																																																								
2559	2586																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																													
δsp																																																								
1050																																																								
<table border="1"> <tr> <td>δp=</td> <td>2986,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,0227505 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,32865 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2530605 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0074769 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4108125 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2986,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,0227505 m ³ /m ³	Vp=	0,32865 m ³ /m ³	Vw=	0,2530605 m ³ /m ³	Vsp=	0,0074769 m ³ /m ³	Vs=	0,4108125 m ³ /m ³																																												
δp=	2986,00 kg/m ³																																																												
Vsp/Vp=	0,0227505 m ³ /m ³																																																												
Vp=	0,32865 m ³ /m ³																																																												
Vw=	0,2530605 m ³ /m ³																																																												
Vsp=	0,0074769 m ³ /m ³																																																												
Vs=	0,4108125 m ³ /m ³																																																												
<table border="1"> <tr> <td>Abertura da malha (mm)</td> <td>Areia 0/2-F a1</td> <td>Areia 0/4-F a2</td> <td>Mistura (Curva Real)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F a1	Areia 0/4-F a2	Mistura (Curva Real)		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F a1	Areia 0/4-F a2	Mistura (Curva Real)																																																										
	0,50	0,50																																																											
Percentagem de passados																																																													
9,520	100,00	99,99	100,00																																																										
4,760	99,97	99,35	99,66																																																										
2,380	99,49	92,46	95,97																																																										
1,190	98,16	72,03	85,09																																																										
0,590	72,53	32,32	52,43																																																										
0,297	27,42	6,60	17,01																																																										
0,149	8,62	1,13	4,88																																																										
0,074	1,72	0,25	0,98																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																										
Módulos de finura																																																													
	1,938	2,961	2,450																																																										
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																										
C1=	713,2 kg		C1=	1141,1 g																																																									
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g																																																								
CV=	0,0 kg	2299,1	CV=	0,0 g	3678,5																																																								
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																								
FC=	268,2 kg	0,355	FC=	429,1 g	0,355																																																								
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento																																																								
W=	253,1 litros	0,355	W=	404,9 ml	0,355																																																								
Sp=	7,48 litros	Razão água/finos	Sp=	11,96 ml	Razão água/finos																																																								
S1=	525,6 kg	0,258	S1=	841,0 g	0,258																																																								
S2=	531,2 kg		S2=	849,9 g																																																									

Tabela A. 17. Composição da argamassa A-S5.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																	
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data												
A-S5.1		80C1+20FC			28-01-2013												
Parâmetros da composição																	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%															
0,80	0,80	0,83															
Composição da mistura de finos																	
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg												
0,80	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																	
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg												
3100	3040	2380	2170	2720	2650												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																	
δs1	δs2	δs3	---	---	---												
2559	2586		---	---	---												
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																	
δsp	---	---	---	---	---												
1050	---	---	---	---	---												
<table border="1"> <tr> <td>δp=</td> <td>3024,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,023904 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,3253192 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2602554 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0077764 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,406649 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	3024,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,023904 m ³ /m ³	Vp=	0,3253192 m ³ /m ³	Vw=	0,2602554 m ³ /m ³	Vsp=	0,0077764 m ³ /m ³	Vs=	0,406649 m ³ /m ³
δp=	3024,00 kg/m ³																
Vsp/Vp=	0,023904 m ³ /m ³																
Vp=	0,3253192 m ³ /m ³																
Vw=	0,2602554 m ³ /m ³																
Vsp=	0,0077764 m ³ /m ³																
Vs=	0,406649 m ³ /m ³																
Abertura da malha																	
	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)														
	a1	a2															
	0,50	0,50															
Percentagem de passados																	
9,520	100,00	99,99	100,00														
4,760	99,97	99,35	99,66														
2,380	99,49	92,46	95,97														
1,190	98,16	72,03	85,09														
0,590	72,53	32,32	52,43														
0,297	27,42	6,60	17,01														
0,149	8,62	1,13	4,88														
0,074	1,72	0,25	0,98														
Resíduo	0,00	0,00	0,00														
Módulos de finura																	
	1,938	2,961	2,450														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros														
C1=	806,8 kg		C1=	1290,9 g													
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g												
CV=	0,0 kg	2298,3	CV=	0,0 g	3677,3												
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)												
FC=	177,0 kg	0,323	FC=	283,2 g	0,323												
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento												
W=	260,3 litros	0,323	W=	416,4 ml	0,323												
Sp=	7,78 litros	Razão água/finos	Sp=	12,44 ml	Razão água/finos												
S1=	520,3 kg	0,265	S1=	832,5 g	0,265												
S2=	525,8 kg		S2=	841,3 g													

Tabela A. 18. Composição da argamassa A-S5.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																	
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data												
A-S5.2		80C1+20FC			28-01-2013												
Parâmetros da composição																	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%															
0,80	0,80	0,89															
Composição da mistura de finos																	
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg												
0,80	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																	
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg												
3100	3040	2380	2170	2720	2650												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																	
δs1	δs2	δs3	---	---	---												
2559	2586		---	---	---												
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																	
δsp	---	---	---	---	---												
1050	---	---	---	---	---												
<table border="1"> <tr> <td>δp=</td> <td>3024,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,025632 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,3251364 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2601091 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0083339 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4064205 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	3024,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,025632 m ³ /m ³	Vp=	0,3251364 m ³ /m ³	Vw=	0,2601091 m ³ /m ³	Vsp=	0,0083339 m ³ /m ³	Vs=	0,4064205 m ³ /m ³
δp=	3024,00 kg/m ³																
Vsp/Vp=	0,025632 m ³ /m ³																
Vp=	0,3251364 m ³ /m ³																
Vw=	0,2601091 m ³ /m ³																
Vsp=	0,0083339 m ³ /m ³																
Vs=	0,4064205 m ³ /m ³																
Abertura da malha																	
	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)														
	a1	a2															
	0,50	0,50															
Percentagem de passados																	
9,520	100,00	99,99	100,00														
4,760	99,97	99,35	99,66														
2,380	99,49	92,46	95,97														
1,190	98,16	72,03	85,09														
0,590	72,53	32,32	52,43														
0,297	27,42	6,60	17,01														
0,149	8,62	1,13	4,88														
0,074	1,72	0,25	0,98														
Resíduo	0,00	0,00	0,00														
Módulos de finura																	
	1,938	2,961	2,450														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros														
C1=	806,3 kg		C1=	1290,1 g													
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g												
CV=	0,0 kg	2297,6	CV=	0,0 g	3676,1												
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)												
FC=	176,9 kg	0,323	FC=	283,0 g	0,323												
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento												
W=	260,1 litros	0,323	W=	416,2 ml	0,323												
Sp=	8,33 litros	Razão água/finos	Sp=	13,33 ml	Razão água/finos												
S1=	520,0 kg	0,265	S1=	832,0 g	0,265												
S2=	525,5 kg		S2=	840,8 g													

Tabela A.19. Composição da argamassa A-S6.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
A-S6.1		100C1+0FC			23-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,80	0,86	1,00				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
dc1	dc2	dcv	oms	ofc	ofg	
3100	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
ds1	ds2	ds3	---	---	---	
2559	2586	---	---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
dsp	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			
C1=	987,4 kg		C1=	1579,9 g		
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g	
CV=	0,0 kg	2295,5	CV=	0,0 g	3672,7	
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)	
FC=	0,0 kg	0,277	FC=	0,0 g	0,277	
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento	
W=	273,9 litros	0,277	W=	438,3 ml	0,277	
Sp=	9,40 litros	Razão água/finos	Sp=	15,05 ml	Razão água/finos	
S1=	509,4 kg	0,277	S1=	815,1 g	0,277	
S2=	514,8 kg		S2=	823,7 g		
Abertura da malha (mm) | Areia 0/2-F a1 | Areia 0/4-F a2 | Mistura (Curva Real)						
Percentagem de passados						
9,520	100,00	99,99	100,00			
4,760	99,97	99,35	99,66			
2,380	99,49	92,46	95,97			
1,190	98,16	72,03	85,09			
0,590	72,53	32,32	52,43			
0,297	27,42	6,60	17,01			
0,149	8,62	1,13	4,88			
0,074	1,72	0,25	0,98			
Resíduo	0,00	0,00	0,00			
Módulos de finura						
		1,938	2,961	2,450		
dp= 3100,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0295238 m ³ /m ³ Vp= 0,3185196 m ³ /m ³ Vw= 0,2739269 m ³ /m ³ Vsp= 0,0094039 m ³ /m ³ Vs= 0,3981496 m ³ /m ³						

Tabela A.20. Composição da argamassa A-S6.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
A-S6.2		100C1+0FC			23-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,80	0,86	1,08				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
dc1	dc2	dcv	oms	ofc	ofg	
3100	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
ds1	ds2	ds3	---	---	---	
2559	2586	---	---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
dsp	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			
C1=	986,7 kg		C1=	1578,7 g		
C2=	0,0 kg	Massa total, em kg	C2=	0,0 g	Massa total, em g	
CV=	0,0 kg	2294,5	CV=	0,0 g	3671,2	
MS=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	MS=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)	
FC=	0,0 kg	0,277	FC=	0,0 g	0,277	
FG=	0,0 kg	Razão água/cimento	FG=	0,0 g	Razão água/cimento	
W=	273,7 litros	0,277	W=	438,0 ml	0,277	
Sp=	10,15 litros	Razão água/finos	Sp=	16,24 ml	Razão água/finos	
S1=	509,0 kg	0,277	S1=	814,5 g	0,277	
S2=	514,4 kg		S2=	823,1 g		
Abertura da malha (mm) | Areia 0/2-F a1 | Areia 0/4-F a2 | Mistura (Curva Real)						
Percentagem de passados						
9,520	100,00	99,99	100,00			
4,760	99,97	99,35	99,66			
2,380	99,49	92,46	95,97			
1,190	98,16	72,03	85,09			
0,590	72,53	32,32	52,43			
0,297	27,42	6,60	17,01			
0,149	8,62	1,13	4,88			
0,074	1,72	0,25	0,98			
Resíduo	0,00	0,00	0,00			
Módulos de finura						
		1,938	2,961	2,450		
dp= 3100,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0318857 m ³ /m ³ Vp= 0,3182802 m ³ /m ³ Vw= 0,273721 m ³ /m ³ Vsp= 0,0101486 m ³ /m ³ Vs= 0,3978502 m ³ /m ³						

Tabela A.21. Composição da argamassa A-S6.3.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
A-S6.3		100C1+0FC			23-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,80	0,86	1,05				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	---	---	---	
2559	2586		---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
Abertura da malha (mm) | Areia 0/2-F a1 | Areia 0/4-F a2 | Mistura (Curva Real)						
Percentagem de passados						
9,520	100,00	99,99	100,00			
4,760	99,97	99,35	99,66			
2,380	99,49	92,46	95,97			
1,190	98,16	72,03	85,09			
0,590	72,53	32,32	52,43			
0,297	27,42	6,60	17,01			
0,149	8,62	1,13	4,88			
0,074	1,72	0,25	0,98			
Resíduo	0,00	0,00	0,00			
Módulos de finura						
		1,938	2,961	2,450		
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						
C1=	986,9 kg	Massa total, em kg				
C2=	0,0 kg	2294,9				
CV=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				
MS=	0,0 kg	0,277				
FC=	0,0 kg	Razão água/cimento				
FG=	0,0 kg	0,277				
W=	273,8 litros	Razão água/finos				
Sp=	9,87 litros	0,277				
S1=	509,2 kg					
S2=	514,6 kg					
Quantidades para um volume de: 1,60 litros						
C1=	1579,1 g	Massa total, em g				
C2=	0,0 g	3671,8				
CV=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)				
MS=	0,0 g	0,277				
FC=	0,0 g	Razão água/cimento				
FG=	0,0 g	0,277				
W=	438,1 ml	Razão água/finos				
Sp=	15,79 ml	0,277				
S1=	814,7 g					
S2=	823,3 g					
δp= 3100,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,031 m ³ /m ³ Vp= 0,3183699 m ³ /m ³ Vw= 0,2737982 m ³ /m ³ Vsp= 0,0098695 m ³ /m ³ Vs= 0,3979624 m ³ /m ³						

Tabela A.22. Composição da argamassa A-S6.4.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
A-S6.4		100C1+0FC			23-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,80	0,87	1,00				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	---	---	---	
2559	2586		---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
Abertura da malha (mm) | Areia 0/2-F a1 | Areia 0/4-F a2 | Mistura (Curva Real)						
Percentagem de passados						
9,520	100,00	99,99	100,00			
4,760	99,97	99,35	99,66			
2,380	99,49	92,46	95,97			
1,190	98,16	72,03	85,09			
0,590	72,53	32,32	52,43			
0,297	27,42	6,60	17,01			
0,149	8,62	1,13	4,88			
0,074	1,72	0,25	0,98			
Resíduo	0,00	0,00	0,00			
Módulos de finura						
		1,938	2,961	2,450		
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						
C1=	984,3 kg	Massa total, em kg				
C2=	0,0 kg	2291,3				
CV=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				
MS=	0,0 kg	0,281				
FC=	0,0 kg	Razão água/cimento				
FG=	0,0 kg	0,281				
W=	276,2 litros	Razão água/finos				
Sp=	9,37 litros	0,281				
S1=	507,8 kg					
S2=	513,2 kg					
Quantidades para um volume de: 1,60 litros						
C1=	1574,8 g	Massa total, em g				
C2=	0,0 g	3666,1				
CV=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)				
MS=	0,0 g	0,281				
FC=	0,0 g	Razão água/cimento				
FG=	0,0 g	0,281				
W=	442,0 ml	Razão água/finos				
Sp=	15,00 ml	0,281				
S1=	812,5 g					
S2=	821,1 g					
δp= 3100,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,0295238 m ³ /m ³ Vp= 0,3175083 m ³ /m ³ Vw= 0,2762322 m ³ /m ³ Vsp= 0,0093741 m ³ /m ³ Vs= 0,3968854 m ³ /m ³						

Tabela A.23. Composição da argamassa A-S8.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
A-S8.1		60C1+40FC (2)			30-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,70	0,79	0,69				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	...	...	...
2559	2586		...	...	...
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp	...	...	...	...	...
1050	...	...	...	...	...
Abertura da malha (mm)			Areia 0/2-F		Areia 0/4-F	
			a1		a2	
			0,50		0,50	
			Mistura (Curva Real)			
			Percentagem de passados			
9,520			100,00		99,99	
4,760			99,97		99,35	
2,380			99,49		92,46	
1,190			98,16		72,03	
0,590			72,53		32,32	
0,297			27,42		6,60	
0,149			8,62		1,13	
0,074			1,72		0,25	
Resíduo			0,00		0,00	
			Módulos de finura			
			1,938		2,961	
					2,450	
			δp= 2948,00 kg/m ³			
			Vsp/Vp= 0,0193726 m ³ /m ³			
			Vp= 0,308838 m ³ /m ³			
			Vw= 0,243982 m ³ /m ³			
			Vsp= 0,005983 m ³ /m ³			
			Vs= 0,4411971 m ³ /m ³			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			
C1= 574,4 kg			C1= 919,1 g			
C2= 0,0 kg			C2= 0,0 g			
CV= 0,0 kg			CV= 0,0 g			
MS= 0,0 kg			MS= 0,0 g			
FC= 336,0 kg			FC= 537,6 g			
FG= 0,0 kg			FG= 0,0 g			
W= 244,0 litros			W= 390,4 ml			
Sp= 5,98 litros			Sp= 9,57 ml			
S1= 564,5 kg			S1= 903,2 g			
S2= 570,5 kg			S2= 912,7 g			
Massa total, em kg			Massa total, em g			
2295,7			3673,1			
Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/(mat. cimentícios)			
0,425			0,425			
Razão água/cimento			Razão água/cimento			
0,425			0,425			
Razão água/finos			Razão água/finos			
0,268			0,268			

Tabela A.24. Composição da argamassa A-S8.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data	
A-S8.2		60C1+40FC (2)			30-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%				
0,70	0,79	0,66				
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	...	...	...
2559	2586		...	...	...
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp	...	...	...	...	...
1050	...	...	...	...	...
Abertura da malha (mm)			Areia 0/2-F		Areia 0/4-F	
			a1		a2	
			0,50		0,50	
			Mistura (Curva Real)			
			Percentagem de passados			
9,520			100,00		99,99	
4,760			99,97		99,35	
2,380			99,49		92,46	
1,190			98,16		72,03	
0,590			72,53		32,32	
0,297			27,42		6,60	
0,149			8,62		1,13	
0,074			1,72		0,25	
Resíduo			0,00		0,00	
			Módulos de finura			
			1,938		2,961	
					2,450	
			δp= 2948,00 kg/m ³			
			Vsp/Vp= 0,0185303 m ³ /m ³			
			Vp= 0,3089183 m ³ /m ³			
			Vw= 0,2440455 m ³ /m ³			
			Vsp= 0,0057243 m ³ /m ³			
			Vs= 0,4413119 m ³ /m ³			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			
C1= 574,6 kg			C1= 919,3 g			
C2= 0,0 kg			C2= 0,0 g			
CV= 0,0 kg			CV= 0,0 g			
MS= 0,0 kg			MS= 0,0 g			
FC= 336,1 kg			FC= 537,8 g			
FG= 0,0 kg			FG= 0,0 g			
W= 244,0 litros			W= 390,5 ml			
Sp= 5,72 litros			Sp= 9,16 ml			
S1= 564,7 kg			S1= 903,5 g			
S2= 570,6 kg			S2= 913,0 g			
Massa total, em kg			Massa total, em g			
2296,0			3673,6			
Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/(mat. cimentícios)			
0,425			0,425			
Razão água/cimento			Razão água/cimento			
0,425			0,425			
Razão água/finos			Razão água/finos			
0,268			0,268			

Tabela A.25. Composição da argamassa A-S8.3.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																	
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data																																												
A-S8.3		60C1+40FC (2)			30-01-2013																																												
Parâmetros da composição																																																	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																															
0,70	0,80	0,66																																															
Composição da mistura de finos																																																	
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																												
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																	
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																												
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																	
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																												
2559	2586		---	---	---																																												
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																	
δsp	---	---	---	---	---																																												
1050	---	---	---	---	---																																												
<table border="0"> <tr> <td>δp=</td> <td>2948,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,0185303 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,3079669 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2463736 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0057067 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4399528 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2948,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,0185303 m ³ /m ³	Vp=	0,3079669 m ³ /m ³	Vw=	0,2463736 m ³ /m ³	Vsp=	0,0057067 m ³ /m ³	Vs=	0,4399528 m ³ /m ³																																
δp=	2948,00 kg/m ³																																																
Vsp/Vp=	0,0185303 m ³ /m ³																																																
Vp=	0,3079669 m ³ /m ³																																																
Vw=	0,2463736 m ³ /m ³																																																
Vsp=	0,0057067 m ³ /m ³																																																
Vs=	0,4399528 m ³ /m ³																																																
<table border="0"> <tr> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td>1000,00 litros</td> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td>1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>572,8 kg</td> <td>C1=</td> <td>916,5 g</td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>335,1 kg</td> <td>FC=</td> <td>536,1 g</td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>246,4 litros</td> <td>W=</td> <td>394,2 ml</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>5,71 litros</td> <td>Sp=</td> <td>9,13 ml</td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>562,9 kg</td> <td>S1=</td> <td>900,7 g</td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>568,9 kg</td> <td>S2=</td> <td>910,2 g</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de:	1000,00 litros	Quantidades para um volume de:	1,60 litros	C1=	572,8 kg	C1=	916,5 g	C2=	0,0 kg	C2=	0,0 g	CV=	0,0 kg	CV=	0,0 g	MS=	0,0 kg	MS=	0,0 g	FC=	335,1 kg	FC=	536,1 g	FG=	0,0 kg	FG=	0,0 g	W=	246,4 litros	W=	394,2 ml	Sp=	5,71 litros	Sp=	9,13 ml	S1=	562,9 kg	S1=	900,7 g	S2=	568,9 kg	S2=	910,2 g
Quantidades para um volume de:	1000,00 litros	Quantidades para um volume de:	1,60 litros																																														
C1=	572,8 kg	C1=	916,5 g																																														
C2=	0,0 kg	C2=	0,0 g																																														
CV=	0,0 kg	CV=	0,0 g																																														
MS=	0,0 kg	MS=	0,0 g																																														
FC=	335,1 kg	FC=	536,1 g																																														
FG=	0,0 kg	FG=	0,0 g																																														
W=	246,4 litros	W=	394,2 ml																																														
Sp=	5,71 litros	Sp=	9,13 ml																																														
S1=	562,9 kg	S1=	900,7 g																																														
S2=	568,9 kg	S2=	910,2 g																																														

Tabela A.26. Composição da argamassa A-S8.4.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																	
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data																																												
A-S8.4		60C1+40FC (2)			30-01-2013																																												
Parâmetros da composição																																																	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																															
0,70	0,79	0,74																																															
Composição da mistura de finos																																																	
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																												
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																	
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																												
3100	3040	2380	2170	2720	2650																																												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																	
δs1	δs2	δs3	---	---	---																																												
2559	2586		---	---	---																																												
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																	
δsp	---	---	---	---	---																																												
1050	---	---	---	---	---																																												
<table border="0"> <tr> <td>δp=</td> <td>2948,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,0207764 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,3087041 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,2438763 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,0064138 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,4410059 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2948,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,0207764 m ³ /m ³	Vp=	0,3087041 m ³ /m ³	Vw=	0,2438763 m ³ /m ³	Vsp=	0,0064138 m ³ /m ³	Vs=	0,4410059 m ³ /m ³																																
δp=	2948,00 kg/m ³																																																
Vsp/Vp=	0,0207764 m ³ /m ³																																																
Vp=	0,3087041 m ³ /m ³																																																
Vw=	0,2438763 m ³ /m ³																																																
Vsp=	0,0064138 m ³ /m ³																																																
Vs=	0,4410059 m ³ /m ³																																																
<table border="0"> <tr> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td>1000,00 litros</td> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td>1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>574,2 kg</td> <td>C1=</td> <td>918,7 g</td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>335,9 kg</td> <td>FC=</td> <td>537,4 g</td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>243,9 litros</td> <td>W=</td> <td>390,2 ml</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>6,41 litros</td> <td>Sp=</td> <td>10,26 ml</td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>564,3 kg</td> <td>S1=</td> <td>902,8 g</td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>570,2 kg</td> <td>S2=</td> <td>912,4 g</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de:	1000,00 litros	Quantidades para um volume de:	1,60 litros	C1=	574,2 kg	C1=	918,7 g	C2=	0,0 kg	C2=	0,0 g	CV=	0,0 kg	CV=	0,0 g	MS=	0,0 kg	MS=	0,0 g	FC=	335,9 kg	FC=	537,4 g	FG=	0,0 kg	FG=	0,0 g	W=	243,9 litros	W=	390,2 ml	Sp=	6,41 litros	Sp=	10,26 ml	S1=	564,3 kg	S1=	902,8 g	S2=	570,2 kg	S2=	912,4 g
Quantidades para um volume de:	1000,00 litros	Quantidades para um volume de:	1,60 litros																																														
C1=	574,2 kg	C1=	918,7 g																																														
C2=	0,0 kg	C2=	0,0 g																																														
CV=	0,0 kg	CV=	0,0 g																																														
MS=	0,0 kg	MS=	0,0 g																																														
FC=	335,9 kg	FC=	537,4 g																																														
FG=	0,0 kg	FG=	0,0 g																																														
W=	243,9 litros	W=	390,2 ml																																														
Sp=	6,41 litros	Sp=	10,26 ml																																														
S1=	564,3 kg	S1=	902,8 g																																														
S2=	570,2 kg	S2=	912,4 g																																														

Tabela A.27. Composição da argamassa A-S9.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS					
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data
A-S9.1		100C1+0FC (2)			30-01-2013
Parâmetros da composição					
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%			
0,70	0,90	1,16			
Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3100	3040	2380	2170	2720	2650
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					
δs1	δs2	δs3	...	...	...
2559	2586		...	...	...
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					
δsp	...	...	...	...	...
1050	...	...	...	...	...
Abertura da malha (mm)			Areia 0/2-F		Areia 0/4-F
			a1		a2
			0,50		0,50
Mistura (Curva Real)					
Percentagem de passados					
9,520	100,00	99,99	100,00		
4,760	99,97	99,35	99,66		
2,380	99,49	92,46	95,97		
1,190	98,16	72,03	85,09		
0,590	72,53	32,32	52,43		
0,297	27,42	6,60	17,01		
0,149	8,62	1,13	4,88		
0,074	1,72	0,25	0,98		
Resíduo	0,00	0,00	0,00		
Módulos de finura					
			1,938		2,961
					2,450
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros		
C1=	921,8 kg	C2=		0,0 kg	C1= 1475,0 g
C2=	0,0 kg	CV=		0,0 kg	C2= 0,0 g
CV=	0,0 kg	MS=		0,0 kg	CV= 0,0 g
MS=	0,0 kg	FC=		0,0 kg	MS= 0,0 g
FC=	0,0 kg	FG=		0,0 kg	FC= 0,0 g
FG=	0,0 kg	W=		267,6 litros	FG= 0,0 g
W=	267,6 litros	Sp=		10,18 litros	W= 428,2 ml
Sp=	10,18 litros	S1=		543,5 kg	Sp= 16,29 ml
S1=	543,5 kg	S2=		549,3 kg	S1= 869,7 g
S2=	549,3 kg				S2= 878,9 g

δp=	3100,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,0342476 m ³ /m ³
Vp=	0,2973696 m ³ /m ³
Vw=	0,2676326 m ³ /m ³
Vsp=	0,0101842 m ³ /m ³
Vs=	0,4248136 m ³ /m ³

Tabela A.28. Composição da argamassa A-S9.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS					
Identificação da argamassa		Identificação da mistura de finos			Data
A-S9.2		100C1+0FC (2)			30-01-2013
Parâmetros da composição					
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%			
0,70	0,90	1,13			
Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3100	3040	2380	2170	2720	2650
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					
δs1	δs2	δs3	...	...	...
2559	2586		...	...	...
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					
δsp	...	...	...	...	...
1050	...	...	...	...	...
Abertura da malha (mm)			Areia 0/2-F		Areia 0/4-F
			a1		a2
			0,50		0,50
Mistura (Curva Real)					
Percentagem de passados					
9,520	100,00	99,99	100,00		
4,760	99,97	99,35	99,66		
2,380	99,49	92,46	95,97		
1,190	98,16	72,03	85,09		
0,590	72,53	32,32	52,43		
0,297	27,42	6,60	17,01		
0,149	8,62	1,13	4,88		
0,074	1,72	0,25	0,98		
Resíduo	0,00	0,00	0,00		
Módulos de finura					
			1,938		2,961
					2,450
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros		
C1=	922,1 kg	C2=		0,0 kg	C1= 1475,3 g
C2=	0,0 kg	CV=		0,0 kg	C2= 0,0 g
CV=	0,0 kg	MS=		0,0 kg	CV= 0,0 g
MS=	0,0 kg	FC=		0,0 kg	MS= 0,0 g
FC=	0,0 kg	FG=		0,0 kg	FC= 0,0 g
FG=	0,0 kg	W=		267,7 litros	FG= 0,0 g
W=	267,7 litros	Sp=		9,92 litros	W= 428,3 ml
Sp=	9,92 litros	S1=		543,7 kg	Sp= 15,88 ml
S1=	543,7 kg	S2=		549,4 kg	S1= 869,9 g
S2=	549,4 kg				S2= 879,1 g

δp=	3100,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,0333619 m ³ /m ³
Vp=	0,2974479 m ³ /m ³
Vw=	0,2677031 m ³ /m ³
Vsp=	0,0099234 m ³ /m ³
Vs=	0,4249256 m ³ /m ³

Anexo A.1.2
ESTUDOS REOLÓGICOS DAS ARGAMASSAS

Tabela A.29. Estudos reológicos da argamassa A-S1.

ARGAMASSA: A-S1 (40C1+60FC)									
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia		
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm	
A-S1.1	0,80	0,70	0,40	155	156	21,22	1,42	0,47	
A-S1.2	0,80	0,70	0,45	175	173	17,96	2,03	0,56	
A-S1.3	0,80	0,70	0,50	197	200	11,66	2,94	0,86	
A-S1.4	0,80	0,70	0,53	199	210	12,88	3,18	0,78	
A-S1.5	0,80	0,70	0,58	228	230	8,87	4,24	1,13	
A-S1.6	0,80	0,70	0,61	247	254	8,13	5,28	1,23	
A-S1.7	0,80	0,70	0,62	273	277	8,20	6,56	1,22	

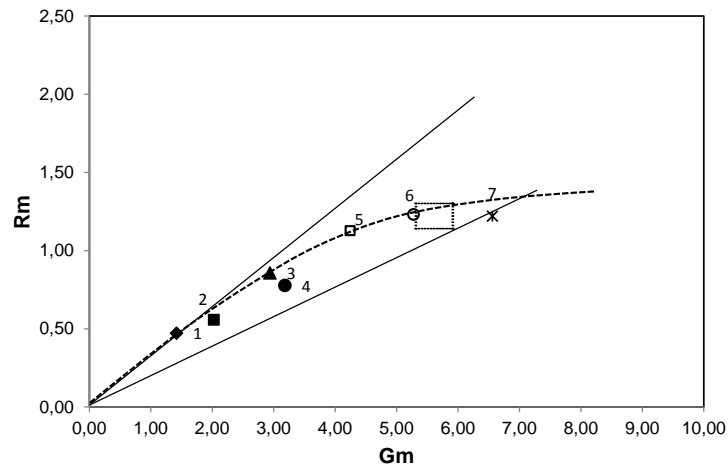


Figura A.1. Estudos reológicos da argamassa A-S1.

Tabela A.30. Estudos reológicos da argamassa A-S2.

ARGAMASSA: A-S2 (50C1+50FC)									
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia		
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm	
A-S2.1	0,80	0,71	0,79	324	322	6,17	9,43	1,62	
A-S2.2	0,80	0,71	0,74	293	292	6,99	7,56	1,43	
A-S2.3	0,80	0,71	0,67	290	288	7,47	7,35	1,34	
A-S2.4	0,80	0,71	0,64	258	255	8,31	5,58	1,20	

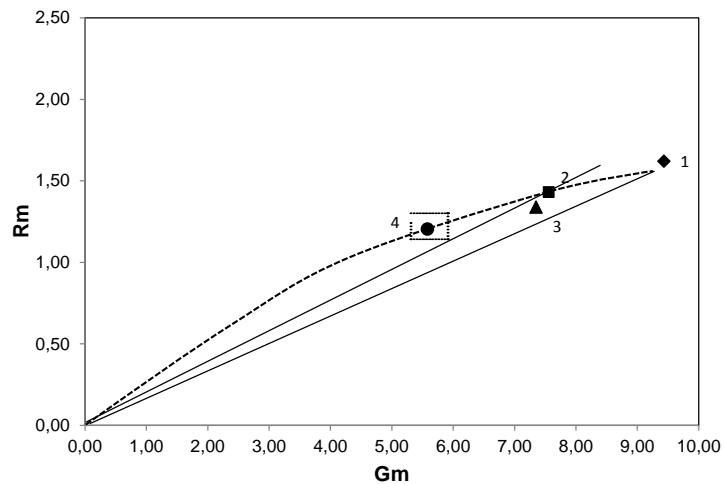


Figura A.2. Estudos reológicos da argamassa A-S2.

Tabela A.31. Estudos reológicos da argamassa A-S3.

ARGAMASSA: A-S3 (60C1+40FC)								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A-S3.1	0,80	0,76	1,00	342	341	5,30	10,66	1,89
A-S3.2	0,80	0,76	0,73	278	279	6,62	6,76	1,51
A-S3.3	0,80	0,76	0,66	256	258	7,91	5,60	1,26

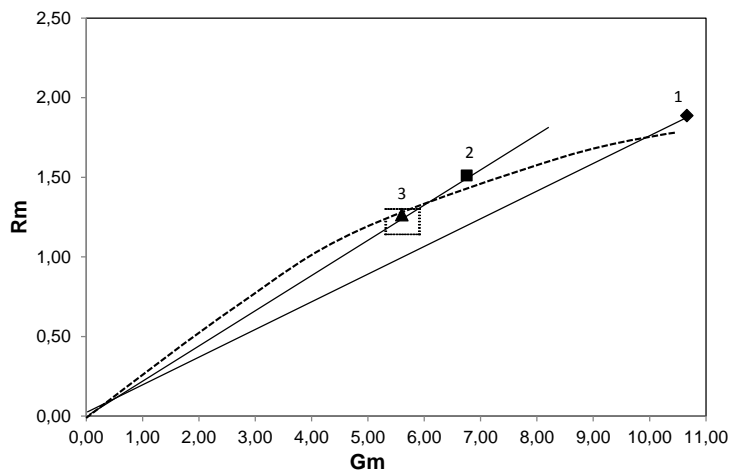


Figura A.3. Estudos reológicos da argamassa A-S3.

Tabela A.32. Estudos reológicos da argamassa A-S4.

ARGAMASSA: A-S4 (70C1+30FC)								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A-S4.1	0,80	0,77	0,68	201	200	11,83	3,02	0,85
A-S4.2	0,80	0,77	0,72	221	221	10,77	3,88	0,93
A-S4.3	0,80	0,77	0,80	259	261	8,21	5,76	1,22

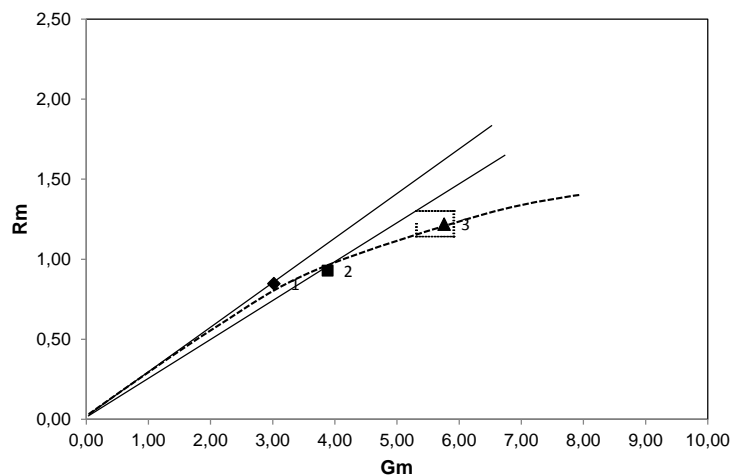


Figura A.4. Estudos reológicos da argamassa A-S4.

Tabela A.33. Estudos reológicos da argamassa A-S5.

ARGAMASSA: A-S5 (80C1+20FC)								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A-S5.1	0,80	0,80	0,83	230	229	10,16	4,27	0,98
A-S5.2	0,80	0,80	0,89	251	251	8,09	5,30	1,24

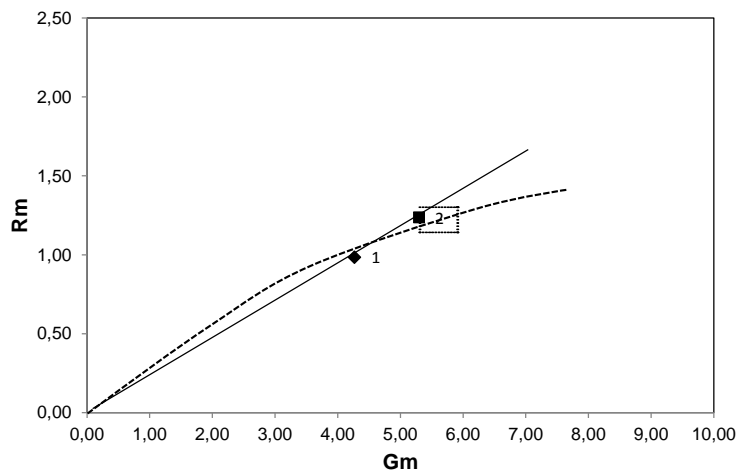


Figura A.5. Estudos reológicos da argamassa A-S5.

Tabela A.34. Estudos reológicos da argamassa A-S6.

ARGAMASSA: A-S6 (100C1)								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A-S6.1	0,80	0,86	1,00	240	240	10,19	4,76	0,98
A-S6.2	0,80	0,86	1,08	267	269	7,32	6,18	1,37
A-S6.3	0,80	0,86	1,05	247	245	9,03	5,05	1,11
A-S6.4	0,80	0,87	1,00	259	261	8,30	5,76	1,20

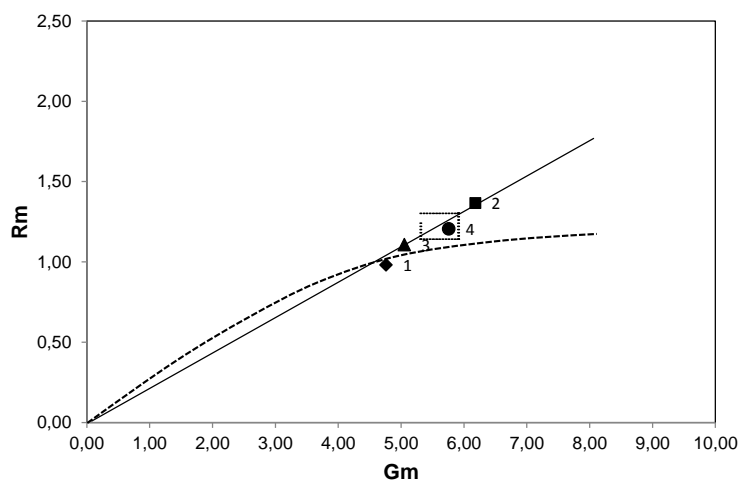


Figura A.6. Estudos reológicos da argamassa A-S6.

Tabela A.35. Estudos reológicos da argamassa A-S7.

ARGAMASSA: A-S7 (40C1+60FC)									
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia		
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm	
A-S7.1	0,70	0,74	0,62	258	258	7,77	5,66	1,29	

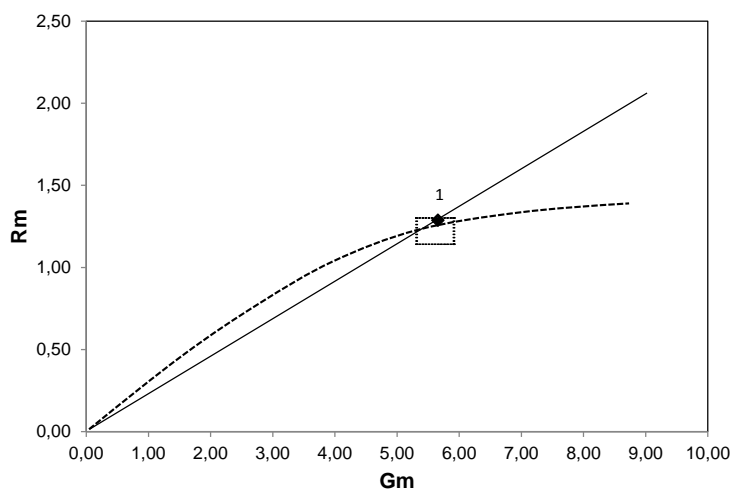


Figura A.7. Estudos reológicos da argamassa A-S7.

Tabela A.36. Estudos reológicos da argamassa A-S8.

ARGAMASSA: A-S8 (60C1+40FC)									
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia		
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm	
A-S8.1	0,70	0,79	0,69	240	235	7,65	4,64	1,31	
A-S8.2	0,70	0,79	0,66	235	230	8,25	4,41	1,21	
A-S8.3	0,70	0,80	0,66	240	241	7,42	4,78	1,35	
A-S8.4	0,70	0,79	0,74	253	255	8,23	5,45	1,22	

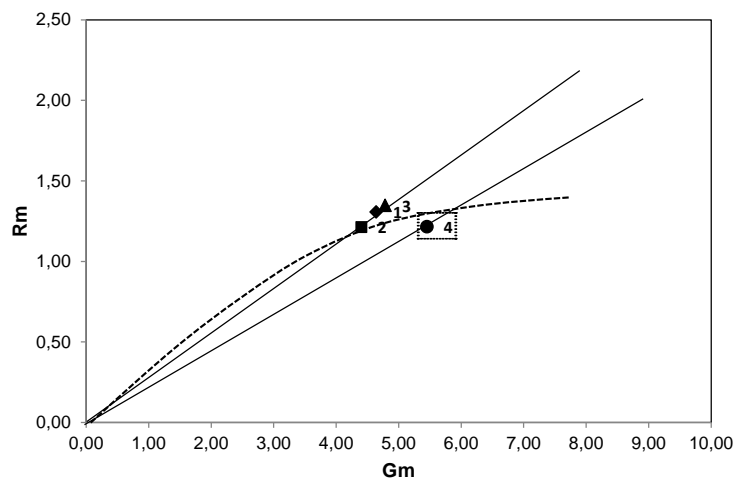


Figura A.8. Estudos reológicos da argamassa A-S8.

Tabela A.37. Estudos reológicos da argamassa A-S9.

ARGAMASSA: A-S9 (100C1)								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A-S9.1	0,70	0,90	1,13	220	225	8,40	3,95	1,19
A-S9.2	0,70	0,90	1,16	266	260	7,35	5,92	1,36

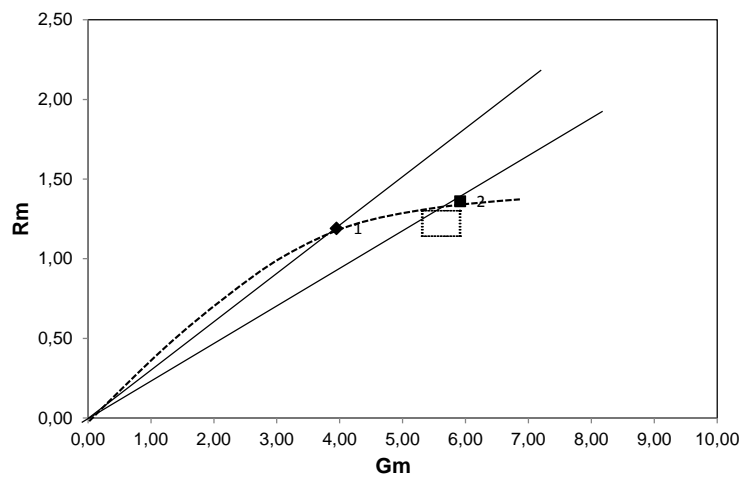


Figura A.9. Estudos reológicos da argamassa A-S9.

Anexo A.1.3

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MASSAS VOLÚMICAS DAS
ARGAMASSAS QUE CUMPRIRAM OS PARÂMETROS REOLÓGICOS**

Tabela A.38. Resistência à compressão da argamassa A-S1.6.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CUBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S1.6	1	08-01-2013	05-02-2013	28	77,2	48,3	47,96	0,99	2,1
	2				73,8	46,1			
	3				77,3	48,3			
	4				78,5	49,1			
	5				77,1	48,2			
	6				76,5	47,8			

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 ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.39. Massa volúmica da argamassa A-S1.6.

MASSA VOLUMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMATICOS DE 40 x 40 x 160 mm³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Desvio padrão [kg/m³]	Coef. variação [%]
A-S1.6	1 e 2	08-01-2013	05-02-2013	28	633,5	2474,6	2519,4	44,0	1,7
	3 e 4				645,4	2521,1			
	5 e 6				656,0	2562,5			

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

Tabela A.40. Resistência à compressão da argamassa A-S2.3.

RESISTENCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CUBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S2.3	1	22-01-2013	19-02-2013	28	88,9	55,6	55,33	2,97	5,4
	2				88,0	55,0			
	3				94,7	59,2			
	4				89,9	56,2			
	5				89,6	56,0			
	6				80,1	50,1			

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 ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.41. Massa volúmica da argamassa A-S2.3.

MASSA VOLUMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMATICOS DE 40 x 40 x 160 mm³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Desvio padrão [kg/m³]	Coef. variação [%]
A-S2.3	1 e 2	22-01-2013	19-02-2013	28	661,2	2582,8	2571,7	39,3	1,5
	3 e 4				666,7	2604,3			
	5 e 6				647,2	2528,1			

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 ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.42. Resistência à compressão da argamassa A-S3.4.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S3.4	1	23-01-2013	20-02-2013	28	101,3	64,20	2,15	3,3	63,3
	2				103,1				64,4
	3				99,0				61,9
	4				108,3				67,7
	5				102,3				63,9
	6				102,3				63,9

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.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.43. Massa volúmica da argamassa A-S3.4.

MASSA VOLUMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
A-S3.4	1 e 2	23-01-2013	20-02-2013	28	657,6	2553,8	13,2	0,5	2568,8
	3 e 4				652,5				2548,8
	5 e 6				651,2				2543,8

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.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.44. Resistência à compressão da argamassa A-S4.3.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S4.3	1	23-01-2013	20-02-2013	28	106,9	68,96	2,99	4,3	66,8
	2				104,0				65,0
	3				107,4				67,1
	4				115,0				71,9
	5				114,0				71,3
	6				114,7				71,7

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

Tabela A.45. Massa volúmica da argamassa A-S4.3.

MASSA VOLUMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
A-S4.3	1 e 2	23-01-2013	20-02-2013	28	679,6	2672,3	15,6	0,6	2654,7
	3 e 4				685,5				2677,7
	5 e 6				687,2				2684,4

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

Tabela A.46. Resistência à compressão da argamassa A-S5.2.

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)										
Identificação		Registos efectuados				Resultados				
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão				
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]	
A-S5.2	1	28-01-2013	25-02-2013	28	101,0	74,11	63,1	6,04	8,1	
	2				116,7					72,9
	3				124,1					77,6
	4				117,3					73,3
	5				124,5					77,8
	6				127,9					79,9

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.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.47. Massa volúmica da argamassa A-S5.2.

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
A-S5.2	1 e 2	28-01-2013	25-02-2013	28	661,0	2624,6	37,4	1,4	
	3 e 4				679,0				2652,3
	5 e 6				675,7				2639,5

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.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.48. Resistência à compressão da argamassa A-S6.5.

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)										
Identificação		Registos efectuados				Resultados				
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão				
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]	
A-S6.5	1	23-01-2013	20-02-2013	28	133,7	79,63	83,6	2,48	3,1	
	2				127,7					79,8
	3				125,5					78,4
	4				122,2					76,4
	5				125,6					78,5
	6				129,7					81,1

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.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.49. Massa volúmica da argamassa A-S6.5.

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
A-S6.5	1 e 2	23-01-2013	20-02-2013	28	673,7	2643,0	43,5	1,6	
	3 e 4				688,9				2691,0
	5 e 6				667,2				2606,3

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.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.50. Resistência à compressão da argamassa A-S7.1.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provette n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S7.1	1	23-01-2013	20-02-2013	28	70,7	43,10	2,17	5,0	44,2
	2				64,3				40,2
	3				71,4				44,6
	4				71,7				44,8
	5				71,0				44,4
	6				64,7				40,4

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

Tabela A.51. Massa volúmica da argamassa A-S7.1.

MASSA VOLUMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provette n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
A-S7.1	1 e 2	23-01-2013	20-02-2013	28	662,0	2561,3	26,5	1,0	2585,9
	3 e 4				656,6				2564,8
	5 e 6				648,5				2533,2

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.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.52. Resistência à compressão da argamassa A-S8.4.

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provette n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S8.4	1	30-01-2013	27-02-2013	28	101,8	65,41	2,31	3,5	63,6
	2				99,5				62,2
	3				103,0				64,4
	4				107,9				67,4
	5				107,7				67,3
	6				108,0				67,5

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.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.53. Massa volúmica da argamassa A-S8.4.

MASSA VOLUMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provette n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	Coef. variação [%]
A-S8.4	1 e 2	30-01-2013	27-02-2013	28	663,4	2553,8	41,2	1,6	2591,4
	3 e 4				642,5				2509,8
	5 e 6				655,4				2560,2

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.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Tabela A.54. Resistência à compressão da argamassa A-S9.2.

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS (PROVETES CÚBICOS DE 40 mm DE ARESTA)									
Identificação		Registos efectuados				Resultados			
Argamassa n.º	Provede n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Carga de rotura [kN]	Tensão de rotura à compressão			
						Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A-S9.2	1	30-01-2013	27-02-2013	28	120,0	75,0	74,21	2,67	3,6
	2				114,5	71,6			
	3				116,1	72,6			
	4				115,5	72,2			
	5				125,9	78,7			
	6				120,4	75,3			

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

Tabela A.55. Massa volúmica da argamassa A-S9.2.

MASSA VOLÚMICA DAS ARGAMASSAS (PROVETES PRISMÁTICOS DE 40 x 40 x 160 mm ³)									
Identificação		Registos efectuados				Massa volúmica			
Argamassa n.º	Provede n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [g]	Massa volúmica			Coef. variação [%]
						Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Desvio padrão [kg/m ³]	
A-S9.2	1 e 2	30-01-2013	27-02-2013	28	662,4	2587,5	2571,1	28,8	1,1
	3 e 4				649,7	2537,9			
	5 e 6				662,5	2587,9			

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

Anexo A.2
ESTUDOS EM BETÕES

Anexo A.2.1

COMPOSIÇÃO DOS BETÕES

Tabela A.56. Estudos reológicos do BAC - S1.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																					
Identificação do betão BAC-S1.1			Identificação da mistura de finos 40C1+60FC				Data 15-01-2013																																																																																																														
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </tbody> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450																																																		
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																																																																		
	a1	a2																																																																																																																			
	0,50	0,50																																																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																																																					
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																																																																		
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																																																																		
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																																																																		
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																																																																		
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																																																																		
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																																																																		
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																																																																		
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																		
Módulos de finura																																																																																																																					
	1,938	2,961	2,450																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vm/Vg</th> <th>Vv (m³)</th> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,275</td> <td>0,030</td> <td>0,800</td> <td>0,700</td> <td>0,620</td> </tr> </tbody> </table>						Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	2,275	0,030	0,800	0,700	0,620																																																																																																						
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																	
2,275	0,030	0,800	0,700	0,620																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <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> </thead> <tbody> <tr> <td>0,400</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,600</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,400				0,600																																																																																															
Composição da mistura de finos																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																
0,400				0,600																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <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> </thead> <tbody> <tr> <td>3100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2720</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3100				2720																																																																																															
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																
3100				2720																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="7">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>δs3</th> <th>δg1</th> <th>δg2</th> <th>δg3</th> <th>δg4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2559</td> <td>2586</td> <td></td> <td>2710</td> <td>2700</td> <td>930</td> <td>1193</td> </tr> </tbody> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³							δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4	2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																											
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																					
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4																																																																																																															
2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp1</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp1	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																														
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																					
δsp1	---	---	---	---	---																																																																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																
<p> δp= 2872,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,01695848 Vg= 0,29618321 m³/m³ Vm= 0,67381679 m³/m³ Vp= 0,22710692 m³/m³ Vw= 0,15897484 m³/m³ Vsp= 0,00385139 m³/m³ Vs= 0,28388365 m³/m³ Vs/Vm= 0,42130687 </p>																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6-B</th> <th>Brita 6/15-B</th> <th>Leca S</th> <th>Leca 4/12</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>g1</th> <th>g2</th> <th>g3</th> <th>g4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,60</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>99,82</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>99,93</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>60,43</td> <td>100,00</td> <td>96,00</td> <td>84,17</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>28,09</td> <td>99,98</td> <td>54,54</td> <td>71,24</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>61,61</td> <td>1,59</td> <td>82,66</td> <td>6,61</td> <td>37,60</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>5,20</td> <td>0,44</td> <td>7,15</td> <td>0,96</td> <td>3,30</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>1,13</td> <td>0,28</td> <td>0,55</td> <td>0,69</td> <td>0,79</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>0,49</td> <td>0,23</td> <td>0,43</td> <td>0,63</td> <td>0,39</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>0,30</td> <td>0,20</td> <td>0,40</td> <td>0,54</td> <td>0,26</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,34</td> <td>0,43</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,12</td> <td>0,10</td> <td>0,28</td> <td>0,30</td> <td>0,11</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,311</td> <td>6,692</td> <td>5,085</td> <td>6,356</td> <td>5,863</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)	g1	g2	g3	g4		0,60	0,40	0,00	0,00		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	99,93	12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	84,17	9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	71,24	4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	37,60	2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	3,30	1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,79	0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,39	0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,26	0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,19	0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,11	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							5,311	6,692	5,085	6,356	5,863
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)																																																																																																																
	g1	g2	g3	g4																																																																																																																	
	0,60	0,40	0,00	0,00																																																																																																																	
Percentagem de passados																																																																																																																					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	99,93																																																																																																																
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	84,17																																																																																																																
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	71,24																																																																																																																
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	37,60																																																																																																																
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	3,30																																																																																																																
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,79																																																																																																																
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,39																																																																																																																
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,26																																																																																																																
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,19																																																																																																																
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,11																																																																																																																
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																
Módulos de finura																																																																																																																					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,863																																																																																																																
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros					Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros																																																																																																																
C1= 281,61 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 370,64 kg FG= 0,00 kg W= 158,97 litros Sp= 3,85 litros S1= 363,23 kg S2= 367,06 kg S3= 0,00 kg G1= 481,59 kg G2= 319,88 kg G3= 0,00 kg					C1= 7,040 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 9,266 kg FG= 0,000 kg W= 3,974 litros Sp= 0,096 litros S1= 9,081 kg S2= 9,177 kg S3= 0,000 kg G1= 12,040 kg G2= 7,997 kg G3= 0,000 kg																																																																																																																
Massa total, em kg 2347,0					Massa total, em kg 58,68																																																																																																																
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 0,244					Razão água/finos 0,244																																																																																																																

Tabela A.57. Estudos reológicos do BAL - S1.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																											
Identificação do betão			Identificação da mistura de finos				Data																																																																																																																				
BAL-S1.1			40C1+60FC				15-01-2013																																																																																																																				
Parâmetros da composição					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450																																																								
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																																																																								
	a1	a2																																																																																																																									
	0,50	0,50																																																																																																																									
Percentagem de passados																																																																																																																											
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																																																																								
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																																																																								
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																																																																								
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																																																																								
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																																																																								
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																																																																								
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																																																																								
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																																																																								
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																								
Módulos de finura																																																																																																																											
	1,938	2,961	2,450																																																																																																																								
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																							
2,275	0,030	0,800	0,700	0,620																																																																																																																							
Composição da mistura de finos																																																																																																																											
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																						
0,400				0,600																																																																																																																							
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																											
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																						
3100				2720																																																																																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																											
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4																																																																																																																					
2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																																																					
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																											
δsp1	---	---	---	---	---																																																																																																																						
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>δp= 2872,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,01695848</p> <p>Vg= 0,29618321 m³/m³ Vm= 0,67381679 m³/m³ Vp= 0,22710692 m³/m³ Vw= 0,15897484 m³/m³ Vsp= 0,00385139 m³/m³ Vs= 0,28388365 m³/m³ Vs/Vm= 0,42130687</p> </div> <div style="width: 45%; border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6-B</th> <th>Brita 6/15-B</th> <th>Leca S</th> <th>Leca 4/12</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <td></td> <td>g1</td> <td>g2</td> <td>g3</td> <td>g4</td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>99,82</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>60,43</td> <td>100,00</td> <td>96,00</td> <td>97,20</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>28,09</td> <td>99,98</td> <td>54,54</td> <td>68,17</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>61,61</td> <td>1,59</td> <td>82,66</td> <td>6,61</td> <td>29,42</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>5,20</td> <td>0,44</td> <td>7,15</td> <td>0,96</td> <td>2,82</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>1,13</td> <td>0,28</td> <td>0,55</td> <td>0,69</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>0,49</td> <td>0,23</td> <td>0,43</td> <td>0,63</td> <td>0,57</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>0,30</td> <td>0,20</td> <td>0,40</td> <td>0,54</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,34</td> <td>0,43</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,12</td> <td>0,10</td> <td>0,28</td> <td>0,30</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,311</td> <td>6,692</td> <td>5,085</td> <td>6,356</td> <td>5,975</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>										Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)		g1	g2	g3	g4			0,00	0,00	0,30	0,70		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00	12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20	9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17	4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42	2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82	1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65	0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57	0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50	0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40	0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							5,311	6,692	5,085	6,356	5,975
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)																																																																																																																						
	g1	g2	g3	g4																																																																																																																							
	0,00	0,00	0,30	0,70																																																																																																																							
Percentagem de passados																																																																																																																											
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																						
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																						
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00																																																																																																																						
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20																																																																																																																						
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17																																																																																																																						
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42																																																																																																																						
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82																																																																																																																						
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65																																																																																																																						
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57																																																																																																																						
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50																																																																																																																						
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40																																																																																																																						
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29																																																																																																																						
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																						
Módulos de finura																																																																																																																											
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975																																																																																																																						
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros					Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros																																																																																																																						
C1=	281,61 kg				C1=	7,040 kg																																																																																																																					
C2=	0,00 kg				C2=	0,000 kg																																																																																																																					
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>			CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																				
MS=	0,00 kg	1628,2			MS=	0,000 kg	40,70																																																																																																																				
FC=	370,64 kg				FC=	9,266 kg																																																																																																																					
FG=	0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																				
W=	158,97 litros	0,565			W=	3,974 litros	0,565																																																																																																																				
Sp=	3,85 litros				Sp=	0,096 litros																																																																																																																					
S1=	363,23 kg	<u>Razão água/cimento</u>			S1=	9,081 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																				
S2=	367,06 kg	0,565			S2=	9,177 kg	0,565																																																																																																																				
S3=	0,00 kg				S3=	0,000 kg																																																																																																																					
G1=	0,00 kg				G1=	0,000 kg																																																																																																																					
G2=	0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>			G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																				
G3=	82,64 kg	0,244			G3=	2,066 kg	0,244																																																																																																																				
G4=	247,34 kg				G4=	6,184 kg																																																																																																																					

Tabela A.58. Estudos reológicos do BAL - S1.2.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS						
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data	
BAL-S1.2		40C1+60FC			14-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		
2,275	0,030	0,800	0,700	0,620		
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
0,400				0,600		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100				2720		
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	
2559	2586		2710	2700	930	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp1	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
δp= 2872,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,01695848 Vg= 0,29618321 m ³ /m ³ Vm= 0,67381679 m ³ /m ³ Vp= 0,22710692 m ³ /m ³ Vw= 0,15897484 m ³ /m ³ Vsp= 0,00385139 m ³ /m ³ Vs= 0,28388365 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,42130687						
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros						
C1=	281,61 kg					
C2=	0,00 kg					
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,00 kg	1628,2				
FC=	370,64 kg					
FG=	0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W=	158,97 litros	0,565				
Sp=	3,85 litros					
S1=	363,23 kg	<u>Razão água/cimento</u>				
S2=	367,06 kg	0,565				
S3=	0,00 kg					
G1=	0,00 kg					
G2=	0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G3=	82,64 kg	0,244				
G4=	247,34 kg					
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros						
C1=	7,040 kg					
C2=	0,000 kg					
CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,000 kg	40,70				
FC=	9,266 kg					
FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W=	3,974 litros	0,565				
Sp=	0,096 litros					
S1=	9,081 kg	<u>Razão água/cimento</u>				
S2=	9,177 kg	0,565				
S3=	0,000 kg					
G1=	0,000 kg					
G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G3=	2,066 kg	0,244				
G4=	6,184 kg					

Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F		Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)
	a1	a2		
	0,50	0,50		
Percentagem de passados				
9,520	100,00	99,99	100,00	
4,760	99,97	99,35	99,66	
2,380	99,49	92,46	95,97	
1,190	98,16	72,03	85,09	
0,590	72,53	32,32	52,43	
0,297	27,42	6,60	17,01	
0,149	8,62	1,13	4,88	
0,074	1,72	0,25	0,98	
Resíduo	0,00	0,00	0,00	
Módulos de finura				
	1,938	2,961	2,450	

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca 5	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
	0,00	0,00	0,30	0,70	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975

Tabela A.60. Estudos reológicos do BAL - S3.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																				
Identificação do betão BAL-S3.1			Identificação da mistura de finos 60C1+40FC				Data 29-01-2013																																																																																																													
Parâmetros da composição					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450																																																	
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																																																																	
	a1	a2																																																																																																																		
	0,50	0,50																																																																																																																		
Percentagem de passados																																																																																																																				
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																																																																	
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																																																																	
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																																																																	
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																																																																	
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																																																																	
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																																																																	
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																																																																	
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																																																																	
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																	
Módulos de finura																																																																																																																				
	1,938	2,961	2,450																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Vm/Vg</th> <th>Vv (m³)</th> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,275</td> <td>0,030</td> <td>0,800</td> <td>0,760</td> <td>0,660</td> </tr> </tbody> </table>					Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	2,275	0,030	0,800	0,760	0,660																																																																																																						
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																
2,275	0,030	0,800	0,760	0,660																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <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> </thead> <tbody> <tr> <td>0,600</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,400</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,600				0,400																																																																																															
Composição da mistura de finos																																																																																																																				
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																															
0,600				0,400																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>oc1</th> <th>oc2</th> <th>ocv</th> <th>oms</th> <th>ofc</th> <th>ofg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3100</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2720</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						oc1	oc2	ocv	oms	ofc	ofg	3100				2720																																																																																															
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																																																																				
oc1	oc2	ocv	oms	ofc	ofg																																																																																																															
3100				2720																																																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="7">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>os1</th> <th>os2</th> <th>os3</th> <th>og1</th> <th>og2</th> <th>og3</th> <th>og4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2559</td> <td>2586</td> <td></td> <td>2710</td> <td>2700</td> <td>930</td> <td>1193</td> </tr> </tbody> </table>					Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³							os1	os2	os3	og1	og2	og3	og4	2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																											
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																																																																				
os1	os2	os3	og1	og2	og3	og4																																																																																																														
2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>osp1</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>					Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³					osp1	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																																																																				
osp1	---	---	---	---																																																																																																																
1050	---	---	---	---																																																																																																																
<p> op= 2948,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,01853029 Vg= 0,29618321 m³/m³ Vm= 0,67381679 m³/m³ Vp= 0,2224897 m³/m³ Vw= 0,16909217 m³/m³ Vsp= 0,0041228 m³/m³ Vs= 0,27811212 m³/m³ Vs/Vm= 0,41274146 </p>																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6-B</th> <th>Brita 6/15-B</th> <th>Leca S</th> <th>Leca 4/12</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>g1</th> <th>g2</th> <th>g3</th> <th>g4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>99,82</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>60,43</td> <td>100,00</td> <td>96,00</td> <td>97,20</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>28,09</td> <td>99,98</td> <td>54,54</td> <td>68,17</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>61,61</td> <td>1,59</td> <td>82,66</td> <td>6,61</td> <td>29,42</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>5,20</td> <td>0,44</td> <td>7,15</td> <td>0,96</td> <td>2,82</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>1,13</td> <td>0,28</td> <td>0,55</td> <td>0,69</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>0,49</td> <td>0,23</td> <td>0,43</td> <td>0,63</td> <td>0,57</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>0,30</td> <td>0,20</td> <td>0,40</td> <td>0,54</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,34</td> <td>0,43</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,12</td> <td>0,10</td> <td>0,28</td> <td>0,30</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,311</td> <td>6,692</td> <td>5,085</td> <td>6,356</td> <td>5,975</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)	g1	g2	g3	g4		0,00	0,00	0,30	0,70		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00	12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20	9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17	4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42	2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82	1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65	0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57	0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50	0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40	0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							5,311	6,692	5,085	6,356	5,975
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12		Mistura (Curva Real)																																																																																																														
	g1	g2	g3	g4																																																																																																																
	0,00	0,00	0,30	0,70																																																																																																																
Percentagem de passados																																																																																																																				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																															
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																															
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00																																																																																																															
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20																																																																																																															
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17																																																																																																															
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42																																																																																																															
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82																																																																																																															
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65																																																																																																															
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57																																																																																																															
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50																																																																																																															
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40																																																																																																															
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29																																																																																																															
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																															
Módulos de finura																																																																																																																				
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975																																																																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1= 413,83 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,00 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,00 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,00 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 242,07 kg</td> <td style="text-align: right;">1627,4</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,00 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 169,09 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>Sp= 4,12 litros</td> <td style="text-align: right;">0,409</td> </tr> <tr> <td>S1= 355,84 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 359,60 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>S3= 0,00 kg</td> <td style="text-align: right;">0,409</td> </tr> <tr> <td>G1= 0,00 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G2= 0,00 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G3= 82,64 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>G4= 247,34 kg</td> <td style="text-align: right;">0,258</td> </tr> </tbody> </table>					Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros		C1= 413,83 kg		C2= 0,00 kg		CV= 0,00 kg		MS= 0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>	FC= 242,07 kg	1627,4	FG= 0,00 kg		W= 169,09 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	Sp= 4,12 litros	0,409	S1= 355,84 kg		S2= 359,60 kg	<u>Razão água/cimento</u>	S3= 0,00 kg	0,409	G1= 0,00 kg		G2= 0,00 kg		G3= 82,64 kg	<u>Razão água/finos</u>	G4= 247,34 kg	0,258	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1= 10,346 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,000 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,000 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> </tr> <tr> <td>FC= 6,052 kg</td> <td style="text-align: right;">40,68</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,000 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 4,227 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>Sp= 0,103 litros</td> <td style="text-align: right;">0,409</td> </tr> <tr> <td>S1= 8,896 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 8,990 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> </tr> <tr> <td>S3= 0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">0,409</td> </tr> <tr> <td>G1= 0,000 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G2= 0,000 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G3= 2,066 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>G4= 6,184 kg</td> <td style="text-align: right;">0,258</td> </tr> </tbody> </table>					Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros		C1= 10,346 kg		C2= 0,000 kg		CV= 0,000 kg		MS= 0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>	FC= 6,052 kg	40,68	FG= 0,000 kg		W= 4,227 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	Sp= 0,103 litros	0,409	S1= 8,896 kg		S2= 8,990 kg	<u>Razão água/cimento</u>	S3= 0,000 kg	0,409	G1= 0,000 kg		G2= 0,000 kg		G3= 2,066 kg	<u>Razão água/finos</u>	G4= 6,184 kg	0,258																																											
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros																																																																																																																				
C1= 413,83 kg																																																																																																																				
C2= 0,00 kg																																																																																																																				
CV= 0,00 kg																																																																																																																				
MS= 0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																			
FC= 242,07 kg	1627,4																																																																																																																			
FG= 0,00 kg																																																																																																																				
W= 169,09 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																			
Sp= 4,12 litros	0,409																																																																																																																			
S1= 355,84 kg																																																																																																																				
S2= 359,60 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																			
S3= 0,00 kg	0,409																																																																																																																			
G1= 0,00 kg																																																																																																																				
G2= 0,00 kg																																																																																																																				
G3= 82,64 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																			
G4= 247,34 kg	0,258																																																																																																																			
Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros																																																																																																																				
C1= 10,346 kg																																																																																																																				
C2= 0,000 kg																																																																																																																				
CV= 0,000 kg																																																																																																																				
MS= 0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																			
FC= 6,052 kg	40,68																																																																																																																			
FG= 0,000 kg																																																																																																																				
W= 4,227 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																			
Sp= 0,103 litros	0,409																																																																																																																			
S1= 8,896 kg																																																																																																																				
S2= 8,990 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																			
S3= 0,000 kg	0,409																																																																																																																			
G1= 0,000 kg																																																																																																																				
G2= 0,000 kg																																																																																																																				
G3= 2,066 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																			
G4= 6,184 kg	0,258																																																																																																																			

Tabela A.61. Estudos reológicos do BAL - S4.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS														
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data									
BAL-S4.1		70C1+30FC			29-01-2013									
Parâmetros da composição														
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%										
2,275	0,030	0,800	0,770	0,800										
Composição da mistura de finos														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg									
0,700				0,300										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg									
3100				2720										
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³														
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4								
2559	2586		2710	2700	930	1193								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³														
δsp1	---	---	---	---	---									
1050														
δp= 2986,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,02275048 Vg= 0,29618321 m³/m³ Vm= 0,67381679 m³/m³ Vp= 0,2214499 m³/m³ Vw= 0,17051642 m³/m³ Vsp= 0,00503809 m³/m³ Vs= 0,27681238 m³/m³ Vs/Vm= 0,41081252														
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros			Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros											
C1= 480,55 kg	C2= 0,00 kg	CV= 0,00 kg	MS= 0,00 kg	FC= 180,70 kg	FG= 0,00 kg	W= 170,52 litros	Sp= 5,04 litros	S1= 354,18 kg	S2= 357,92 kg	S3= 0,00 kg	G1= 0,00 kg	G2= 0,00 kg	G3= 82,64 kg	G4= 247,34 kg
<u>Massa total, em kg</u>			<u>Massa total, em kg</u>											
1631,8			40,79											
<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>											
0,355			0,355											
<u>Razão água/cimento</u>			<u>Razão água/cimento</u>											
0,355			0,355											
<u>Razão água/finos</u>			<u>Razão água/finos</u>											
0,258			0,258											

Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F		Mistura (Curva Real)
	a1	a2	a3	
0,50	0,50			
Percentagem de passados				
9,520	100,00	99,99		100,00
4,760	99,97	99,35		99,66
2,380	99,49	92,46		95,97
1,190	98,16	72,03		85,09
0,590	72,53	32,32		52,43
0,297	27,42	6,60		17,01
0,149	8,62	1,13		4,88
0,074	1,72	0,25		0,98
Resíduo	0,00	0,00		0,00
Módulos de finura				
	1,938	2,961	7,000	2,450

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca 5	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
0,00	0,00	0,00	0,30	0,70	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975

Tabela A.62. Estudos reológicos do BAL - S5.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS						
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data	
BAL-S5.1		80C1+20FC			29-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		
2,275	0,030	0,800	0,800	0,890		
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
0,800				0,200		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100				2720		
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4
2559	2586		2710	2700	930	1193
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp1	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
δp= 3024,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,025632 Vg= 0,29618321 m ³ /m ³ Vm= 0,67381679 m ³ /m ³ Vp= 0,21908238 m ³ /m ³ Vw= 0,17526591 m ³ /m ³ Vsp= 0,00561552 m ³ /m ³ Vs= 0,27385298 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,40642053						
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros						
C1=	543,32 kg					
C2=	0,00 kg					
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,00 kg	1630,8				
FC=	119,18 kg					
FG=	0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>				
W=	175,27 litros	0,323				
Sp=	5,62 litros					
S1=	350,39 kg	<u>Razão água/cimento</u>				
S2=	354,09 kg	0,323				
S3=	0,00 kg					
G1=	0,00 kg					
G2=	0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G3=	82,64 kg	0,265				
G4=	247,34 kg					
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros						
C1=	13,583 kg					
C2=	0,000 kg					
CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,000 kg	40,77				
FC=	2,980 kg					
FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>				
W=	4,382 litros	0,323				
Sp=	0,140 litros					
S1=	8,760 kg	<u>Razão água/cimento</u>				
S2=	8,852 kg	0,323				
S3=	0,000 kg					
G1=	0,000 kg					
G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G3=	2,066 kg	0,265				
G4=	6,184 kg					

Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,50	0,50	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	99,99	100,00
4,760	99,97	99,35	99,66
2,380	99,49	92,46	95,97
1,190	98,16	72,03	85,09
0,590	72,53	32,32	52,43
0,297	27,42	6,60	17,01
0,149	8,62	1,13	4,88
0,074	1,72	0,25	0,98
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,938	2,961	2,450

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
	0,00	0,00	0,30	0,70	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975

Tabela A.63. Estudos reológicos do BAL - S6.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																					
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data																																																																																																																
BAL-S6.1		100C1+0FC			06-01-2013																																																																																																																
Parâmetros da composição																																																																																																																					
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																	
2,275	0,030	0,800	0,870	1,000																																																																																																																	
Composição da mistura de finos																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																
1,000				0,000																																																																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																
3100				2720																																																																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																					
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3																																																																																																																
2559	2586		2710	2700	930																																																																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																					
δsp1	---	---	---	---	---																																																																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																
δp= 3100,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,02952381 Vg= 0,29618321 m ³ /m ³ Vm= 0,67381679 m ³ /m ³ Vp= 0,21394244 m ³ /m ³ Vw= 0,18612992 m ³ /m ³ Vsp= 0,0063164 m ³ /m ³ Vs= 0,26742804 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,39688539																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" 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;">99,99</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,97</td> <td style="text-align: center;">99,35</td> <td style="text-align: center;">99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,49</td> <td style="text-align: center;">92,46</td> <td style="text-align: center;">95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">98,16</td> <td style="text-align: center;">72,03</td> <td style="text-align: center;">85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">72,53</td> <td style="text-align: center;">32,32</td> <td style="text-align: center;">52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">27,42</td> <td style="text-align: center;">6,60</td> <td style="text-align: center;">17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">8,62</td> <td style="text-align: center;">1,13</td> <td style="text-align: center;">4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">1,72</td> <td style="text-align: center;">0,25</td> <td style="text-align: center;">0,98</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> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1,938</td> <td style="text-align: center;">2,961</td> <td style="text-align: center;">2,450</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																																																																		
	a1	a2																																																																																																																			
	0,50	0,50																																																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																																																					
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																																																																		
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																																																																		
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																																																																		
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																																																																		
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																																																																		
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																																																																		
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																																																																		
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																		
Módulos de finura																																																																																																																					
	1,938	2,961	2,450																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6-B</th> <th>Brita 6/15-B</th> <th>Leca S</th> <th>Leca 4/12</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>g1</th> <th>g2</th> <th>g3</th> <th>g4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">0,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</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> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</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> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">99,82</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>12,700</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">60,43</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">96,00</td> <td style="text-align: center;">97,20</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">28,09</td> <td style="text-align: center;">99,98</td> <td style="text-align: center;">54,54</td> <td style="text-align: center;">68,17</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">61,61</td> <td style="text-align: center;">1,59</td> <td style="text-align: center;">82,66</td> <td style="text-align: center;">6,61</td> <td style="text-align: center;">29,42</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">5,20</td> <td style="text-align: center;">0,44</td> <td style="text-align: center;">7,15</td> <td style="text-align: center;">0,96</td> <td style="text-align: center;">2,82</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">1,13</td> <td style="text-align: center;">0,28</td> <td style="text-align: center;">0,55</td> <td style="text-align: center;">0,69</td> <td style="text-align: center;">0,65</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">0,49</td> <td style="text-align: center;">0,23</td> <td style="text-align: center;">0,43</td> <td style="text-align: center;">0,63</td> <td style="text-align: center;">0,57</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,54</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td style="text-align: center;">0,16</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">0,43</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,12</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,28</td> <td style="text-align: center;">0,30</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> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">5,311</td> <td style="text-align: center;">6,692</td> <td style="text-align: center;">5,085</td> <td style="text-align: center;">6,356</td> <td style="text-align: center;">5,975</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)	g1	g2	g3	g4		0,00	0,00	0,30	0,70		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00	12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20	9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17	4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42	2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82	1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65	0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57	0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50	0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40	0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							5,311	6,692	5,085	6,356	5,975
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)																																																																																																																
	g1	g2	g3	g4																																																																																																																	
	0,00	0,00	0,30	0,70																																																																																																																	
Percentagem de passados																																																																																																																					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20																																																																																																																
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17																																																																																																																
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42																																																																																																																
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82																																																																																																																
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65																																																																																																																
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57																																																																																																																
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50																																																																																																																
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40																																																																																																																
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29																																																																																																																
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																
Módulos de finura																																																																																																																					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975																																																																																																																
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros			Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros																																																																																																																		
C1= 663,22 kg		C1= 16,581 kg																																																																																																																			
C2= 0,00 kg		C2= 0,000 kg																																																																																																																			
CV= 0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV= 0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																		
MS= 0,00 kg	1626,6	MS= 0,000 kg	40,66																																																																																																																		
FC= 0,00 kg		FC= 0,000 kg																																																																																																																			
FG= 0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FG= 0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																		
W= 186,13 litros	0,281	W= 4,653 litros	0,281																																																																																																																		
Sp= 6,32 litros		Sp= 0,158 litros																																																																																																																			
S1= 342,17 kg	<u>Razão água/cimento</u>	S1= 8,554 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																		
S2= 345,78 kg	0,281	S2= 8,645 kg	0,281																																																																																																																		
S3= 0,00 kg		S3= 0,000 kg																																																																																																																			
G1= 0,00 kg		G1= 0,000 kg																																																																																																																			
G2= 0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>	G2= 0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																		
G3= 82,64 kg	0,281	G3= 2,066 kg	0,281																																																																																																																		
G4= 247,34 kg		G4= 6,184 kg																																																																																																																			

Tabela A.64. Estudos reológicos do BAL - S7.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																					
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data																																																																																																																
BAL-S7.1		40C1+60FC(2)			06-01-2013																																																																																																																
Parâmetros da composição																																																																																																																					
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																	
2,600	0,030	0,700	0,740	0,620																																																																																																																	
Composição da mistura de finos																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																
0,400				0,600																																																																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																
3100				2720																																																																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																					
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4																																																																																																															
2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																					
δsp1	---	---	---	---	---																																																																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																
δp= 2872,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,01695848 Vg= 0,26944444 m ³ /m ³ Vm= 0,70055556 m ³ /m ³ Vp= 0,21991806 m ³ /m ³ Vw= 0,16273936 m ³ /m ³ Vsp= 0,00372948 m ³ /m ³ Vs= 0,31416866 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,44845645																																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" 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;">99,99</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">99,97</td> <td style="text-align: center;">99,35</td> <td style="text-align: center;">99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">99,49</td> <td style="text-align: center;">92,46</td> <td style="text-align: center;">95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">98,16</td> <td style="text-align: center;">72,03</td> <td style="text-align: center;">85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">72,53</td> <td style="text-align: center;">32,32</td> <td style="text-align: center;">52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">27,42</td> <td style="text-align: center;">6,60</td> <td style="text-align: center;">17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">8,62</td> <td style="text-align: center;">1,13</td> <td style="text-align: center;">4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">1,72</td> <td style="text-align: center;">0,25</td> <td style="text-align: center;">0,98</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> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1,938</td> <td style="text-align: center;">2,961</td> <td style="text-align: center;">2,450</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																																																																		
	a1	a2																																																																																																																			
	0,50	0,50																																																																																																																			
Percentagem de passados																																																																																																																					
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																																																																		
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																																																																		
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																																																																		
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																																																																		
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																																																																		
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																																																																		
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																																																																		
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																		
Módulos de finura																																																																																																																					
	1,938	2,961	2,450																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6-B</th> <th>Brita 6/15-B</th> <th>Leca S</th> <th>Leca 4/12</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>g1</th> <th>g2</th> <th>g3</th> <th>g4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">0,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</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> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</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> <td style="text-align: center;">100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">99,82</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>12,700</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">60,43</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">96,00</td> <td style="text-align: center;">97,20</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td style="text-align: center;">100,00</td> <td style="text-align: center;">28,09</td> <td style="text-align: center;">99,98</td> <td style="text-align: center;">54,54</td> <td style="text-align: center;">68,17</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td style="text-align: center;">61,61</td> <td style="text-align: center;">1,59</td> <td style="text-align: center;">82,66</td> <td style="text-align: center;">6,61</td> <td style="text-align: center;">29,42</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td style="text-align: center;">5,20</td> <td style="text-align: center;">0,44</td> <td style="text-align: center;">7,15</td> <td style="text-align: center;">0,96</td> <td style="text-align: center;">2,82</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td style="text-align: center;">1,13</td> <td style="text-align: center;">0,28</td> <td style="text-align: center;">0,55</td> <td style="text-align: center;">0,69</td> <td style="text-align: center;">0,65</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td style="text-align: center;">0,49</td> <td style="text-align: center;">0,23</td> <td style="text-align: center;">0,43</td> <td style="text-align: center;">0,63</td> <td style="text-align: center;">0,57</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td style="text-align: center;">0,30</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> <td style="text-align: center;">0,54</td> <td style="text-align: center;">0,50</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td style="text-align: center;">0,20</td> <td style="text-align: center;">0,16</td> <td style="text-align: center;">0,34</td> <td style="text-align: center;">0,43</td> <td style="text-align: center;">0,40</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td style="text-align: center;">0,12</td> <td style="text-align: center;">0,10</td> <td style="text-align: center;">0,28</td> <td style="text-align: center;">0,30</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> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">5,311</td> <td style="text-align: center;">6,692</td> <td style="text-align: center;">5,085</td> <td style="text-align: center;">6,356</td> <td style="text-align: center;">5,975</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)	g1	g2	g3	g4		0,00	0,00	0,30	0,70		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00	12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20	9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17	4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42	2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82	1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65	0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57	0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50	0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40	0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							5,311	6,692	5,085	6,356	5,975
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)																																																																																																																
	g1	g2	g3	g4																																																																																																																	
	0,00	0,00	0,30	0,70																																																																																																																	
Percentagem de passados																																																																																																																					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00																																																																																																																
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20																																																																																																																
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17																																																																																																																
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42																																																																																																																
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82																																																																																																																
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65																																																																																																																
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57																																																																																																																
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50																																																																																																																
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40																																																																																																																
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29																																																																																																																
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																
Módulos de finura																																																																																																																					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975																																																																																																																
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros			Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros																																																																																																																		
C1= 272,70 kg			C1= 6,817 kg																																																																																																																		
C2= 0,00 kg			C2= 0,000 kg																																																																																																																		
CV= 0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>		CV= 0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																	
MS= 0,00 kg	1681,6		MS= 0,000 kg	42,04																																																																																																																	
FC= 358,91 kg			FC= 8,973 kg																																																																																																																		
FG= 0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>		FG= 0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>																																																																																																																	
W= 162,74 litros	0,597		W= 4,068 litros	0,597																																																																																																																	
Sp= 3,73 litros			Sp= 0,093 litros																																																																																																																		
S1= 401,98 kg	<u>Razão água/cimento</u>		S1= 10,049 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																	
S2= 406,22 kg	0,597		S2= 10,156 kg	0,597																																																																																																																	
S3= 0,00 kg			S3= 0,000 kg																																																																																																																		
G1= 0,00 kg			G1= 0,000 kg																																																																																																																		
G2= 0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>		G2= 0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																	
G3= 75,18 kg	0,258		G3= 1,879 kg	0,258																																																																																																																	
G4= 225,01 kg			G4= 5,625 kg																																																																																																																		

Tabela A.65. Estudos reológicos do BAL - S8.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																																																																																																																									
Identificação do betão			Identificação da mistura de finos				Data																																																																																																																																																																																																																		
BAL-S8.1			60C1+40FC(2)				06-01-2013																																																																																																																																																																																																																		
Parâmetros da composição					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/2-F</th> <th>Areia 0/4-F</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>99,99</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>99,97</td> <td>99,35</td> <td>99,66</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,49</td> <td>92,46</td> <td>95,97</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>98,16</td> <td>72,03</td> <td>85,09</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>72,53</td> <td>32,32</td> <td>52,43</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>27,42</td> <td>6,60</td> <td>17,01</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>8,62</td> <td>1,13</td> <td>4,88</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>1,72</td> <td>0,25</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,938</td> <td>2,961</td> <td>2,450</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,50	0,50		Percentagem de passados				9,520	100,00	99,99	100,00	4,760	99,97	99,35	99,66	2,380	99,49	92,46	95,97	1,190	98,16	72,03	85,09	0,590	72,53	32,32	52,43	0,297	27,42	6,60	17,01	0,149	8,62	1,13	4,88	0,074	1,72	0,25	0,98	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,938	2,961	2,450																																																																																																																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																						
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																							
	0,50	0,50																																																																																																																																																																																																																							
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																									
9,520	100,00	99,99	100,00																																																																																																																																																																																																																						
4,760	99,97	99,35	99,66																																																																																																																																																																																																																						
2,380	99,49	92,46	95,97																																																																																																																																																																																																																						
1,190	98,16	72,03	85,09																																																																																																																																																																																																																						
0,590	72,53	32,32	52,43																																																																																																																																																																																																																						
0,297	27,42	6,60	17,01																																																																																																																																																																																																																						
0,149	8,62	1,13	4,88																																																																																																																																																																																																																						
0,074	1,72	0,25	0,98																																																																																																																																																																																																																						
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																						
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																									
	1,938	2,961	2,450																																																																																																																																																																																																																						
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
2,600	0,030	0,700	0,790	0,740																																																																																																																																																																																																																					
Composição da mistura de finos																																																																																																																																																																																																																									
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																				
0,600				0,400																																																																																																																																																																																																																					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																									
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																				
3100				2720																																																																																																																																																																																																																					
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																									
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4																																																																																																																																																																																																																			
2559	2586		2710	2700	930	1193																																																																																																																																																																																																																			
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																									
δsp1	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																				
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																				
<p>δp= 2948,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,02077638</p> <p>Vg= 0,26944444 m³/m³ Vm= 0,70055556 m³/m³ Vp= 0,21626438 m³/m³ Vw= 0,17084886 m³/m³ Vsp= 0,00449319 m³/m³ Vs= 0,30894912 m³/m³ Vs/Vm= 0,44100588</p>																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6-B</th> <th>Brita 6/15-B</th> <th>Leca S</th> <th>Leca 4/12</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>g1</th> <th>g2</th> <th>g3</th> <th>g4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>99,82</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>60,43</td> <td>100,00</td> <td>96,00</td> <td>97,20</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>28,09</td> <td>99,98</td> <td>54,54</td> <td>68,17</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>61,61</td> <td>1,59</td> <td>82,66</td> <td>6,61</td> <td>29,42</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>5,20</td> <td>0,44</td> <td>7,15</td> <td>0,96</td> <td>2,82</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>1,13</td> <td>0,28</td> <td>0,55</td> <td>0,69</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>0,49</td> <td>0,23</td> <td>0,43</td> <td>0,63</td> <td>0,57</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>0,30</td> <td>0,20</td> <td>0,40</td> <td>0,54</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,34</td> <td>0,43</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,12</td> <td>0,10</td> <td>0,28</td> <td>0,30</td> <td>0,29</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,311</td> <td>6,692</td> <td>5,085</td> <td>6,356</td> <td>5,975</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)	g1	g2	g3	g4		0,00	0,00	0,30	0,70		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00	12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20	9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17	4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42	2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82	1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65	0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57	0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50	0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40	0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura							5,311	6,692	5,085	6,356	5,975	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1=</td> <td>402,25 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,00 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,00 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,00 kg</td> <td style="text-align: right;">1683,1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>235,30 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,00 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>170,85 litros</td> <td style="text-align: right;">0,425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>4,49 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>395,30 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>399,47 kg</td> <td style="text-align: right;">0,425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3=</td> <td>0,00 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G1=</td> <td>0,00 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G2=</td> <td>0,00 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G3=</td> <td>75,18 kg</td> <td style="text-align: right;">0,268</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G4=</td> <td>225,01 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros						C1=	402,25 kg					C2=	0,00 kg					CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>				MS=	0,00 kg	1683,1				FC=	235,30 kg					FG=	0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				W=	170,85 litros	0,425				Sp=	4,49 litros					S1=	395,30 kg	<u>Razão água/cimento</u>				S2=	399,47 kg	0,425				S3=	0,00 kg					G1=	0,00 kg					G2=	0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>				G3=	75,18 kg	0,268				G4=	225,01 kg				
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12		Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																			
	g1	g2	g3	g4																																																																																																																																																																																																																					
	0,00	0,00	0,30	0,70																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																									
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20																																																																																																																																																																																																																				
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17																																																																																																																																																																																																																				
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42																																																																																																																																																																																																																				
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82																																																																																																																																																																																																																				
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65																																																																																																																																																																																																																				
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57																																																																																																																																																																																																																				
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50																																																																																																																																																																																																																				
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40																																																																																																																																																																																																																				
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																									
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975																																																																																																																																																																																																																				
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																									
C1=	402,25 kg																																																																																																																																																																																																																								
C2=	0,00 kg																																																																																																																																																																																																																								
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																							
MS=	0,00 kg	1683,1																																																																																																																																																																																																																							
FC=	235,30 kg																																																																																																																																																																																																																								
FG=	0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																							
W=	170,85 litros	0,425																																																																																																																																																																																																																							
Sp=	4,49 litros																																																																																																																																																																																																																								
S1=	395,30 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																																																																																																																							
S2=	399,47 kg	0,425																																																																																																																																																																																																																							
S3=	0,00 kg																																																																																																																																																																																																																								
G1=	0,00 kg																																																																																																																																																																																																																								
G2=	0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																							
G3=	75,18 kg	0,268																																																																																																																																																																																																																							
G4=	225,01 kg																																																																																																																																																																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1=</td> <td>10,056 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">42,08</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>5,882 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>4,271 litros</td> <td style="text-align: right;">0,425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>0,112 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>9,883 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>9,987 kg</td> <td style="text-align: right;">0,425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G1=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G2=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G3=</td> <td>1,879 kg</td> <td style="text-align: right;">0,268</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G4=</td> <td>5,625 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros						C1=	10,056 kg					C2=	0,000 kg					CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>				MS=	0,000 kg	42,08				FC=	5,882 kg					FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				W=	4,271 litros	0,425				Sp=	0,112 litros					S1=	9,883 kg	<u>Razão água/cimento</u>				S2=	9,987 kg	0,425				S3=	0,000 kg					G1=	0,000 kg					G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>				G3=	1,879 kg	0,268				G4=	5,625 kg					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C1=</td> <td>10,056 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">42,08</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>5,882 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>4,271 litros</td> <td style="text-align: right;">0,425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>0,112 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>9,883 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/cimento</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>9,987 kg</td> <td style="text-align: right;">0,425</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S3=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G1=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G2=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G3=</td> <td>1,879 kg</td> <td style="text-align: right;">0,268</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G4=</td> <td>5,625 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros						C1=	10,056 kg					C2=	0,000 kg					CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>				MS=	0,000 kg	42,08				FC=	5,882 kg					FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				W=	4,271 litros	0,425				Sp=	0,112 litros					S1=	9,883 kg	<u>Razão água/cimento</u>				S2=	9,987 kg	0,425				S3=	0,000 kg					G1=	0,000 kg					G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>				G3=	1,879 kg	0,268				G4=	5,625 kg																				
Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros																																																																																																																																																																																																																									
C1=	10,056 kg																																																																																																																																																																																																																								
C2=	0,000 kg																																																																																																																																																																																																																								
CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																							
MS=	0,000 kg	42,08																																																																																																																																																																																																																							
FC=	5,882 kg																																																																																																																																																																																																																								
FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																							
W=	4,271 litros	0,425																																																																																																																																																																																																																							
Sp=	0,112 litros																																																																																																																																																																																																																								
S1=	9,883 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																																																																																																																							
S2=	9,987 kg	0,425																																																																																																																																																																																																																							
S3=	0,000 kg																																																																																																																																																																																																																								
G1=	0,000 kg																																																																																																																																																																																																																								
G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																							
G3=	1,879 kg	0,268																																																																																																																																																																																																																							
G4=	5,625 kg																																																																																																																																																																																																																								
Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros																																																																																																																																																																																																																									
C1=	10,056 kg																																																																																																																																																																																																																								
C2=	0,000 kg																																																																																																																																																																																																																								
CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																							
MS=	0,000 kg	42,08																																																																																																																																																																																																																							
FC=	5,882 kg																																																																																																																																																																																																																								
FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																							
W=	4,271 litros	0,425																																																																																																																																																																																																																							
Sp=	0,112 litros																																																																																																																																																																																																																								
S1=	9,883 kg	<u>Razão água/cimento</u>																																																																																																																																																																																																																							
S2=	9,987 kg	0,425																																																																																																																																																																																																																							
S3=	0,000 kg																																																																																																																																																																																																																								
G1=	0,000 kg																																																																																																																																																																																																																								
G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																							
G3=	1,879 kg	0,268																																																																																																																																																																																																																							
G4=	5,625 kg																																																																																																																																																																																																																								

Tabela A.66. Estudos reológicos do BAL - 9.1.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS						
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data	
BAL-S9.1		100C1+0FC(2)			06-01-2013	
Parâmetros da composição						
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		
2,600	0,030	0,700	0,900	1,130		
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
1,000				0,000		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3100				2720		
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						
δs1	δs2	δs3	δg1	δg2	δg3	δg4
2559	2586		2710	2700	930	1193
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						
δsp1	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
δp= 3100,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,0333619 Vg= 0,26944444 m ³ /m ³ Vm= 0,70055556 m ³ /m ³ Vp= 0,20837878 m ³ /m ³ Vw= 0,1875409 m ³ /m ³ Vsp= 0,00695191 m ³ /m ³ Vs= 0,29768397 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,42492557						
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="1000,00"/> litros						
C1=	645,97 kg					
C2=	0,00 kg					
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,00 kg	1681,8				
FC=	0,00 kg					
FG=	0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>				
W=	187,54 litros	0,290				
Sp=	6,95 litros					
S1=	380,89 kg	<u>Razão água/cimento</u>				
S2=	384,91 kg	0,290				
S3=	0,00 kg					
G1=	0,00 kg					
G2=	0,00 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G3=	75,18 kg	0,290				
G4=	225,01 kg					
Quantidades para uma amassadura de: <input type="text" value="25,00"/> litros						
C1=	16,149 kg					
C2=	0,000 kg					
CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,000 kg	42,04				
FC=	0,000 kg					
FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>				
W=	4,689 litros	0,290				
Sp=	0,174 litros					
S1=	9,522 kg	<u>Razão água/cimento</u>				
S2=	9,623 kg	0,290				
S3=	0,000 kg					
G1=	0,000 kg					
G2=	0,000 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G3=	1,879 kg	0,290				
G4=	5,625 kg					

Abertura da malha (mm)	Areia 0/2-F	Areia 0/4-F	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,50	0,50	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	99,99	100,00
4,760	99,97	99,35	99,66
2,380	99,49	92,46	95,97
1,190	98,16	72,03	85,09
0,590	72,53	32,32	52,43
0,297	27,42	6,60	17,01
0,149	8,62	1,13	4,88
0,074	1,72	0,25	0,98
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,938	2,961	2,450

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6-B	Brita 6/15-B	Leca S	Leca 4/12	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
	0,00	0,00	0,30	0,70	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	99,82	100,00	100,00	100,00
12,700	100,00	60,43	100,00	96,00	97,20
9,520	100,00	28,09	99,98	54,54	68,17
4,760	61,61	1,59	82,66	6,61	29,42
2,380	5,20	0,44	7,15	0,96	2,82
1,190	1,13	0,28	0,55	0,69	0,65
0,590	0,49	0,23	0,43	0,63	0,57
0,297	0,30	0,20	0,40	0,54	0,50
0,149	0,20	0,16	0,34	0,43	0,40
0,074	0,12	0,10	0,28	0,30	0,29
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,692	5,085	6,356	5,975

