

Dissertação apresentada para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior, sob orientação de:

Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

- Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior.

Aos meus pais....
que sempre me apoiaram
para que concretizasse
os meus sonhos...

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho só foi possível com a colaboração de forma directa ou indirecta de diversas pessoas, a quem o autor demonstra o seu profundo agradecimento.

Em primeiro lugar, um agradecimento muito especial ao Professor Miguel C. S. Nepomuceno (Orientador científico deste trabalho), por todo o apoio científico prestado, pela sua enorme disponibilidade, pela sua compreensão, pelo seu grande profissionalismo e carácter, pela sua amizade e todo apoio e incentivo demonstrado ao longo do trabalho. Pessoalmente, foi um privilégio poder sempre contar com uma pessoa, que além de grande profissional, possui qualidades humanas invulgares.

O autor expressa de novo o seu agradecimento ao Professor Nepomuceno, ao Sr. Albino e todos os colegas que se mostraram disponíveis, pela colaboração nos trabalhos executados no laboratório, os quais seria impossível realizar sozinho.

O autor agradece a disponibilização dos preços dos materiais pelas empresas BETÃO LIZ (Areia 0/2, Areia 0/4, Brita 3/6, Brita 6/15 e Cinzas Volantes), COMITAL (Fíler Cálccario), SIKA (Superplastificante) e CIMPOR (Cimento Portland CEM I 42,5R), permitindo estimar os custos de produção dos betões.

Por fim, um especial agradecimento aos meus pais (Maria e Manuel), irmãos (Carlos e Adriana), namorada (Débora) e a todos os familiares e amigos que me apoiaram, por toda a compreensão e encorajamento.

RESUMO ANALÍTICO

OPTIMIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

O presente estudo pretende otimizar misturas de betões auto-compactáveis tendo por base o método proposto por Nepomuceno. Esta optimização é conseguida através do aumento do volume de agregados grossos e conseqüentemente da redução do volume de materiais finos, para situações em que a densidade de armaduras é inferior. Desta forma reduz-se o custo de produção dos betões auto-compactáveis tornando-os mais competitivos face aos betões convencionais.

Neste trabalho foram revistos alguns dos principais métodos de estudo da composição de betões auto-compactáveis, nomeadamente, os métodos propostos por Okamura, JSCE, CBI e Nepomuceno. Para determinar as composições das misturas utilizou-se o método proposto por Nepomuceno. Todos os parâmetros das argamassas e dos betões foram determinados utilizando as correlações que Nepomuceno desenvolveu na sua Tese de Doutoramento, tendo em vista um betão com resistência média à compressão de 55 MPa em cubos de 150 mm de aresta.

Para averiguar a auto-compactabilidade dos betões, utilizou-se o ensaio da “Caixa-L”, para o qual foram produzidas duas novas restrições em relação à metodologia utilizada por Nepomuceno, com diferentes espaçamentos entre varões. Deste modo foi possível otimizar o volume de agregados grossos para cada restrição, cumprindo sempre o requisito de auto-compactabilidade na “Caixa-L” ($H_2/H_1 \geq 0,8$).

Palavras-chave: Betão auto-compactável, propriedades no estado fresco, ensaio da Caixa-L, optimização técnico-económica.

ABSTRACT

TECHNICAL AND ECONOMICAL OPTIMIZATION OF SELF-COMPACTING CONCRETE

This study intends to optimize mixtures of self-compacting concrete based on the method proposed by Nepomuceno. This optimization is succeeded by the increase of the volume of coarse aggregates and consequently by the reduction of the volume of fines, for situations where the density of reinforcement is lower. Thus it reduces the production cost of self-compacting concrete making them more competitive with the conventional concrete.

In this work, some of the main methods for mix-design of self-compacting concrete were reviewed, including the methods proposed by Okamura, JSCE, CBI and Nepomuceno. To determine the composition of the mixtures, the method proposed by Nepomuceno was used. All the parameters of mortars and concretes were determined using the correlations proposed by Nepomuceno in his PhD thesis in view of concrete with a mean compressive strength value of 55 MPa, in cubes of 150 mm side.

To investigate the self-compaction of concrete, the L-box test was used, for which two new restrictions were produced regarding the methodology used by Nepomuceno, with different clear spacing between reinforcements. Thus, it was possible to optimize the volume of coarse aggregates for each constraint, always fulfilling the requirement of self-compaction in the L-box ($H_2/H_1 \geq 0.8$).

Keywords: Self-compacting concrete, fresh properties, L-box test, technical and economical optimization.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	
1.1 – Enquadramento do tema	2
1.2 – Objectivos e justificação do tema proposto	5
1.3 – Organização do trabalho	6
CAPÍTULO 2 - MÉTODOS DE ESTUDO DA COMPOSIÇÃO: O ESTADO DA ARTE	
2.1 – Introdução	9
2.2– Método de Okamura	9
2.2.1– Volume de ar	10
2.2.2 – Agregados grossos	10
2.2.3 – Agregados finos	11
2.2.4 – Razão volumétrica água/finos e dosagem de superplastificante	12
2.3 – Método da JCSE	15
2.4 – Método do CBI	17
2.4.1 – Razão óptima agregado grosso / total de agregado	18
2.4.2 – Volume máximo de agregado admissível	19
2.4.3 – Avaliação das propriedades do betão	21
2.5 – Método de Nepomuceno	21
2.5.1 – Dados essenciais de base	23
2.5.2 – Opções de base: materiais	23
2.5.3 – Estudos em argamassas	26
2.5.4 – Estudos em betões	34
2.6 – Conclusões	41
CAPÍTULO 3 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL	
3.1 – Introdução	44
3.2 – Selecção e caracterização dos materiais utilizados	44
3.2.1 – Generalidades	45
3.2.2 – Ligantes	45
3.2.3 – Adições minerais do tipo I	45
3.2.4 – Agregados	45
3.2.4.1 – Agregados finos	45
3.2.4.2 – Agregados grossos	46
3.2.5 – Adjuvantes	46
3.2.6 – Água de amassadura	46
3.3 – Definição das curvas granulométricas de referência para os agregados	46

	Pág.
3.3.1 – Generalidades	46
3.3.2 – Curvas de referência para os agregados finos	46
3.3.3 – Curvas de referência para os agregados grossos	46
3.4 – Estudos em argamassas	47
3.4.1 – Introdução	47
3.4.2 – Estimativa dos parâmetros das argamassas	47
3.4.2.1 – Cálculo das argamassas	48
3.4.3 – Avaliação das propriedades da argamassa no estado fresco	48
3.4.3.1 – Generalidades	48
3.4.3.2 – Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio	48
3.4.3.3 – Definição do comportamento reológico pretendido	50
3.4.3.4 – Procedimento adoptado para o acerto da reologia das misturas	50
3.4.3.5 – Ensaio Laboratoriais	51
3.4.3.5.1 – Generalidades	51
3.4.3.5.2 – Acondicionamento e medição dos materiais	54
3.4.3.5.3 – Procedimentos de amassadura	54
3.4.3.5.4 – Procedimentos de ensaio	55
3.4.3.5.4.1 – Ensaio de espalhamento	55
3.4.3.5.4.2 – Ensaio de Fluidez	57
3.4.4 – Avaliação das propriedades da argamassa no estado endurecido	58
3.5 – Estudos em Betões	59
3.5.1 – Introdução	59
3.5.2 – Estimativa dos parâmetros dos betões	60
3.5.2.1 – Cálculo dos betões	60
3.5.3 – Avaliação das propriedades do betão no estado fresco	60
3.5.3.1 – Generalidades	60
3.5.3.2 – Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio	61
3.5.3.3 – Definição do comportamento reológico pretendido	64
3.5.3.4 – Procedimento adoptado para o acerto da reologia das misturas	65
3.5.3.5 – Ensaio Laboratoriais	66
3.5.3.5.1 – Generalidades	66
3.5.3.5.2 – Acondicionamento e medição dos materiais	66
3.5.3.5.3 – Procedimentos de amassadura	67
3.5.3.5.4 – Procedimentos de ensaio	68
3.5.3.5.4.1 – Ensaio de espalhamento	68
3.5.3.5.4.2 – Ensaio de Fluidez	70
3.5.3.5.4.3 – Ensaio da Caixa-L	71

	Pág.
3.5.4 – Avaliação das propriedades do betão no estado endurecido	73
3.5.4.1 – Generalidades	73
3.5.4.2– Produção e preparação de provetes para ensaios de compressão	73
3.5.4.3– Ensaios de compressão	74
CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	
4.1 – Introdução	76
4.2– Caracterização dos materiais utilizados	76
4.2.1– Ligantes	76
4.2.2– Adições minerais do tipo I	76
4.2.3– Agregados	76
4.2.4– Adjuvantes	78
4.3– Curvas de referência dos agregados	78
4.3.1– Curvas de referência dos agregados finos	78
4.3.2– Curvas de referência dos agregados grossos	80
4.4– Estudos em argamassas	81
4.4.1– Introdução	81
4.4.2– Ensaios às argamassas no estado fresco	81
4.4.3– Ensaios às argamassas no estado endurecido	83
4.5– Estudos em Betões	83
4.5.1– Ensaios aos betões no estado fresco	83
4.5.2– Ensaios aos betões no estado endurecido	83
CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	
5.1 - Introdução	87
5.2 – Discussão dos resultados obtidos nas argamassas	87
5.2.1 – Estado fresco	87
5.2.2 – Estado endurecido	87
5.3 – Discussão dos resultados obtidos nos betões	88
5.3.1 – Estado fresco	88
5.3.2 – Estado endurecido	96
5.4 – Proposta de adequação do método de Nepomuceno	96
5.5 – Avaliação da optimização técnica e económica	104
5.5.1 – Introdução	104
5.5.2– Preços dos materiais constituintes dos betões	104
5.5.3– Custo de produção de betão auto-compactável	105
5.5.4– Custos de produção de betões correntes	106
5.5.5– Análise comparativa dos custos de produção	106
5.5 – Conclusões	106

	Pág.
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	
6.1 – Introdução	109
6.2 – Conclusões	109
6.3 – Recomendações para trabalhos futuros	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	
A.1 – Estudo em argamassas	
A.1.1 – Composição das argamassas produzidas na campanha experimental	119
A.1.2 – Resistência à compressão da argamassa A3 produzida na campanha experimental	124
A.2 – Estudos em betões	
A.2.1 – Composição dos betões produzidos na campanha experimental	127
A.2.2 – Resistência à compressão dos betões produzidos na campanha experimental	132
A.3 – Casos de estudo	
A.3.1 – Composição dos betões utilizados na análise comparativa	135

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
2.1	Método geral proposto por Okamura et al	10
2.2	Dimensões dos equipamentos dos ensaios de espalhamento e fluidez nas argamassas	12
2.3	Dimensões dos equipamentos dos ensaios de espalhamento e fluidez nos betões	13
2.4	Esquema do ensaio da “Caixa”	14
2.5	Dimensões do ensaio da “Caixa”	14
2.6	Procedimento “passo-a-passo” do método proposto pela JSCE	15
2.7	Método proposto pelo CBI	18
2.8	Distância média inter-partículas	18
2.9	Modelo utilizado para estimar o volume bloqueio	20
2.10	Fluxograma para o estudo de composição de betões auto-compactáveis	22
2.11	Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base valores efectivos	24
2.12	Curva de referência dos agregados finos	25
2.13	Curva de referência dos agregados grossos	26
2.14	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário	26
2.15	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM I 42,5R e fíler granítico	27
2.16	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes	27
2.17	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e fíler calcário	27
2.18	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e fíler granítico	28
2.19	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e cinzas volantes	28
2.20	Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adoptados neste método	29
2.21	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para famílias com CEM II/B-L32,5	29
2.22	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para famílias com CEM I 42,5R	29
2.23	Relação V_w/V_p versus $Sp/p\%$ para famílias com CEM II/B-L32,5	30
2.24	Relação V_w/V_p versus $Sp/p\%$ para famílias com CEM I 42,5R	30
2.25	Relação entre MN e H2/H1 quando D_m varia entre os 630 e 670 mm	35
2.26	Modelo matemático para a auto-compactabilidade – “Caixa-L”	35
3.1	Cone para o ensaio de espalhamento em argamassa	49
3.2	Funil-V para o ensaio de fluidez das argamassas	49
3.3	Alterações na reologia com o aumento do V_w/V_p mantendo $Sp/p\%$ constante	50
3.4	Alterações na reologia com o aumento do $Sp/p\%$ mantendo V_w/V_p constante	51
3.5	Relação entre $f_{cm, 28}$ e a razão W/C	52
3.6	Relação f_{Ad} versus W/C para famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário	52
3.7	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para famílias com CEM I 42,5R	53
3.8	Relação V_w/V_p Versus $Sp/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R	53

	Pág.	
3.9	Misturadora utilizada na produção das argamassas	54
3.10	Sequência de amassadura adoptada neste trabalho	55
3.11	Cone de espalhamento já preenchido de argamassa	56
3.12	Argamassa espalhada sobre a superfície	56
3.13	Medição do diâmetro da argamassa segundo uma direcção	56
3.14	Enchimento do Funil-V com argamassa	57
3.15	Escoamento da argamassa no Funil-V	58
3.16	Prensa utilizada no ensaio de compressão dos provetes	58
3.17	Adaptador utilizado na prensa para os ensaios em argamassas	59
3.18	Ensaio de espalhamento para o betão	62
3.19	Funil-V para o ensaio de fluidez do betão	62
3.20	Caixa-L para o ensaio de auto-compactabilidade do betão	63
3.21	Restrições para a Caixa-L	64
3.22	Intervalo de variação definido para os parâmetros Gc e Rc	65
3.23	Materiais constituintes dos betões	66
3.24	Sequência de amassadura adoptada para os betões	67
3.25	Betoneira misturadora utilizada na produção dos betões	67
3.26	Aspecto geral do betão após a amassadura	68
3.27	Cone de espalhamento sobre superfície lisa	68
3.28	Betão espalhado sobre a superfície lisa	69
3.29	Medição do diâmetro da argamassa segundo uma direcção	69
3.30	Medição do diâmetro da argamassa segundo a direcção perpendicular	70
3.31	Enchimento do Funil-V	71
3.32	Enchimento da Caixa-L com betão	71
3.33	Passagem do betão pelo obstáculo na caixa-L	72
3.34	Medição da altura H1 na Caixa-L	72
3.35	Medição da altura H2 na Caixa-L	72
3.36	Enchimento dos moldes com betão	73
3.37	Temperatura e humidade no interior da câmara de cura	73
3.38	Prensa utilizada no ensaio de compressão dos provetes	74
3.39	Posição do provete na prensa	74
4.1	Curvas granulométricas dos agregados	78
4.2	Curvas granulométricas das misturas de agregados finos (real e de referência)	79
4.3	Curvas granulométricas das misturas de agregados grossos (real e de referência)	81
4.4	Resultados dos parâmetros reológicos das três argamassas	82
5.1	Relação entre as resistências das argamassas e dos betões aos 28 dias	88
5.2	Variação do parâmetro H2/H1 com o diâmetro de espalhamento	89

	Pág.	
5.3	Exemplo da determinação da recta através do Excel	91
5.4	Espaçamento livre (e) versus H2/H1 para cada MN	93
5.5	Espaçamento livre (e) versus H2/H1 para todos os valores de MN	93
5.6	Espaçamento livre (e) versus FC para cada MN	95
5.7	Espaçamento livre (e) versus FC para todos os valores de MN	95
5.8	Modelo matemático para a auto-compactabilidade – “Caixa-L”	97
5.9	Varição das dosagens de V_g e V_m em função do espaçamento livre entre varões	99
5.10	Relação entre quantidades de C e FC com o espaçamento livre entre varões	101

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.	
2.1	Síntese do método proposto pela JSCE	16
2.2	Requisitos funcionais e de auto-compactabilidade	16
2.3	Curva de referência dos agregados finos	24
2.4	Curva de referência dos agregados grossos	25
2.5	Exemplo de uma folha de Excel para o cálculo de uma argamassa	34
2.6	Exemplo de uma folha de Excel para o cálculo de um betão	40
4.1	Massa volúmica do CEM I 42,5R	76
4.2	Massa volúmica do Fíler Calcário	76
4.3	Massa volúmica e Absorção de água das areias	77
4.4	Análise granulométrica dos agregados	77
4.5	Características do Superplastificante	78
4.6	Mistura da curva real e de referência dos agregados finos	79
4.7	Mistura da curva real e de referência dos agregados grossos	80
4.8	Síntese dos resultados obtidos nas argamassas no estado fresco	82
4.9	Resultados da resistência à compressão aos 28 dias nas argamassas	83
4.10	Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 7 dias nos betões	84
4.11	Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias	84
4.12	Resultados dos ensaios realizados ao betão no estado fresco e respectivas correcções	85
5.1	Inclinação média das rectas de todos os valores de MN	90
5.2	Dados relativos à constante C para a restrição 1	91
5.3	Dados relativos à constante C para a restrição 2	91
5.4	Dados relativos à constante C para a restrição 3	91
5.5	Dados relativos à constante C para a restrição 4	92
5.6	Valores estimados de H2/H1 para um DM=650mm	92
5.7	Factores de conversão entre a restrição R1 e R2	94
5.8	Factores de conversão entre a restrição R1 e R3	94
5.9	Factores de conversão entre a restrição R1 e R4	94
5.10	Factores de conversão finais para as diversas restrições	96
5.11	Adequação da folha de cálculo Excel para o betão auto-compactável	99
5.12	Análise comparativa de betões com a mesma trabalhabilidade e resistência	100
5.13	Requisitos funcionais e de auto-compactabilidade	102
5.14	Níveis de auto-compactabilidade e parâmetros de cálculo	103
5.15	Análise comparativa de custos de produção de betões auto-compactáveis	105
5.16	Custo de produção de um Betão C40/50	106

<u>Anexos</u>		Pág
A1	Composição da argamassa A.RF.55.I.FC.0,80.1	120
A2	Composição da argamassa A.RF.55.I.FC.0,80.2	121
A3	Composição da argamassa A.RF.55.I.FC.0,80.3	122
A4	Composição da argamassa A.RF.55.I.FC.0,80.4 - Alvo	123
A5	Resistência à compressão da argamassa A3 aos 28 dias	125
A6	Massa volúmica da argamassa A3	125
A7	Composição do betão BAC.RF.55.I.0,80.2,40	128
A8	Composição do betão BAC.RF.55.I.0,80.2,30	129
A9	Composição do betão BAC.RF.55.I.0,80.2,20	130
A10	Composição do betão BAC.RF.55.I.0,80.2,10	131
A11	Resistência à compressão dos betões aos 7 dias	133
A12	Resistência à compressão dos betões aos 28 dias	133
A13	Composição específica de um BAC para a restrição R1 com $H2/H1 \geq 0,85$	136
A14	Composição específica de um BAC para a restrição R2 com $H2/H1 \geq 0,85$	137
A15	Composição específica de um BAC para a restrição R3 com $H2/H1 \geq 0,85$	138

SIGLAS

- CBI - Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- JSCE - Japan Society of Civil Engineers.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal).
- NP - Norma Portuguesa.
- UBI - Universidade da Beira Interior

SIMBOLOGIA

ai	Percentagem unitária do agregado fino i no volume absoluto do total dos agregados finos (V_s)
Ai%	Absorção de água do agregado i, expressa em percentagem referida à massa do agregado seco
As%	Percentual de argamassa seca, isto é, a razão, expressa em percentagem, entre o somatório das massas dos componentes secos do betão com $\varnothing < 4,76$ mm e o somatório das massas de todos os componentes secos desse betão
e	Espaçamento entre varões
Ci	Massa do cimento i na mistura, em kg/m^3
D ₀	Diâmetro inicial na base do cone no ensaio de espalhamento de argamassas e betões, expresso em mm
D _{av}	Diâmetro médio do total das partículas de agregado, em mm
D _m	Diâmetro médio de espalhamento no ensaio de espalhamento de argamassas e betões, expresso em mm
D _{máx.}	Máxima dimensão do agregado mais grosso, expressa em mm
D _{ss}	Distância média entre as superfícies das partículas de agregado
D _{ssmin}	Distância média mínima necessária entre as superfícies das partículas de agregado para evitar o bloqueio, expressa em mm
f _{Ad.}	Percentagem unitária da adição no volume absoluto do total de materiais finos da mistura (V_p) (ou percentagem unitária de substituição do cimento pela adição)
FC	Massa do fíler calcário na mistura, em kg/m^3
fc1	Percentagem unitária do cimento 1 no volume absoluto do total de finos (V_p)
fc2	Percentagem unitária do cimento 2 no volume absoluto do total de finos (V_p)
f _{cm,28}	Valor médio da resistência à compressão do betão aos 28 dias de idade, expresso em MPa
f _{cm,7}	Valor médio da resistência à compressão do betão aos 7 dias de idade, expresso em MPa
fcv	Percentagem unit. de cinzas volantes no volume absoluto do total de finos (V_p)
ffc	Percentagem unitária de fíler calcário no volume absoluto do total de finos (V_p)
ffg	Percentagem unitária de fíler granítico no volume absoluto do total de finos (V_p)
fi	Percentagem unitária do material fino i no volume absoluto do total de finos (V_p)
f _{m,28}	Valor médio da resistência à compressão da argamassa aos 28 dias de idade, expressa em MPa
f _{ms}	Percentagem unitária de microssilica no volume absoluto do total de finos (V_p)
Gc	Área de espalhamento relativa no ensaio de espalhamento do betão
gi	Percentagem unitária do agregado grosso i no volume absoluto do total dos agregados grossos (V_g)
Gm	Área de espalhamento relativa no ensaio de espalhamento da argamassa

H	Altura atingida pela coluna de betão nos ensaios da Caixa e Caixa-U após a abertura da comporta e cessação do movimento do betão, expressa em mm
H1	Altura do betão na coluna vertical da Caixa-L no final do ensaio e após cessar o movimento do betão, expressa em mm
H2	Altura do betão na extremidade da Caixa-L no final do ensaio e após cessar o movimento do betão, expressa em mm
H2/H1	Razão entre a altura do betão na extremidade da Caixa-L (H2) e na coluna vertical (H1), no final do ensaio e após cessar o movimento do betão
Ksf	Percentagem unitária do volume de material fino presente na unidade de volume do agregado fino
MF	Módulo de finura
MN	Número de mistura que designa o produto do parâmetro (V_p/V_s) pelo parâmetro (V_m/V_g)
nabi	Razão volumétrica de bloqueio do agregado do grupo i
Nga	Razão entre os volumes absolutos de agregado grosso e do total de agregados
Ø	Diâmetro da armadura
Rc	Velocidade relativa de escoamento no ensaio de fluidez do betão, em s^{-1}
Rm	Velocidade relativa de escoamento no ensaio de fluidez da argamassa, em s^{-1}
Sd	Desvio padrão de um conjunto de valores
Si	Massa do agregado fino i na mistura, em kg/m^3
Sp	Volume de superplastificante na mistura, em l/m^3
Sp/p	O mesmo que Sp/p%
Sp/p%	Razão percentual em massa entre as quantidades totais de superplastificante e de materiais finos na mistura
t	Tempo de escoamento no ensaio de fluidez de argamassas e betões, expresso em segundos
Vabi	Volume de bloqueio do agregado do grupo i
Vabmáx	Volume máximo de agregado admissível
Vai	Volume do agregado do grupo i
Vap%	Percentagem do volume aparente compactado, isto é, a razão, expressa em percentagem, entre V_g e o volume absoluto ocupado pelas partículas de agregado grosso seco compactado na unidade de volume de $1 m^3$ subtraída do volume de vazios previsto para a mistura
V_{C1}	Volume absoluto do cimento 1 na mistura, em m^3/m^3
V_{C2}	Volume absoluto do cimento 2 na mistura, em m^3/m^3
V_{CV}	Volume absoluto das cinzas volantes na mistura, em m^3/m^3
V_{FC}	Volume absoluto do fíler calcário na mistura, em m^3/m^3
V_{FG}	Volume absoluto do fíler granítico na mistura, em m^3/m^3
V_g	Volume absoluto do total de agregados grossos da mistura, em m^3/m^3
$V_{g,lim}$	Volume aparente de agregado grosso compactado, isto é, o volume do total das

	partículas de agregado grosso seco compactado na unidade de volume (ou razão entre a baridade compactada e a massa volúmica do total de agregado grosso)
V_{G1}	Volume absoluto do agregado grosso 1 na mistura, em m^3/m^3
V_{G2}	Volume absoluto do agregado grosso 2 na mistura, em m^3/m^3
V_i	Volume absoluto do material i na mistura, em m^3/m^3
V_m	Volume absoluto da argamassa na mistura, em m^3/m^3
V_m/V_g	Razão em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos na mistura
V_{MS}	Volume absoluto da microssílica na mistura, em m^3/m^3
V_p	Volume absoluto do total de material fino, em m^3/m^3
V_p/V_s	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de materiais finos e de agregados finos na mistura
V_s	Volume absoluto do total de agregados finos, em m^3/m^3
V_{S1}	Volume absoluto do agregado fino 1 na mistura, em m^3/m^3
V_{S2}	Volume absoluto do agregado fino 2 na mistura, 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_t	Volume total de betão
V_v	Volume de vazios da mistura, em m^3/m^3
V_{void}	Volume de vazios da matriz do total de agregados no estado compactado
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
$\Delta(Sp/p\%)$	Variação da razão ($Sp/p\%$) face ao valor inicial calculado para a mistura
$\Delta(V_w/V_p)$	Variação da razão (V_w/V_p) face ao valor inicial calculado para a mistura
δ_i	Massa volúmica do material i, expressa em kg/m^3
ΔSp	Variação da dosagem de superplastificante em valor absoluto (l/m^3) face ao valor inicial
$\Delta Sp\%$	Variação da dosagem de superplastificante em valor absoluto (l/m^3), expressa em percentagem do valor inicial calculado para a mistura
ΔW	Variação da dosagem de água em valor absoluto (l/m^3) face ao valor inicial
$\Delta W\%$	Variação da dosagem de água em valor absoluto (l/m^3), expressa em percentagem do valor inicial calculado para a mistura
μ	Viscosidade plástica, em Pa.s