



TÉCNICO
LISBOA

DECivil

Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura

DESEMPENHO MECÂNICO E DE DURABILIDADE DE BETÕES PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE ELEVADO DESEMPENHO PARA A INDÚSTRIA DA PRÉ-FABRICAÇÃO

PROJECTO FCT
PTDC / ECM / 118372 / 2010



Tarefa 4

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BETÕES COM AGREGADOS RECICLADOS DE ELEVADO DESEMPENHO PARA A INDÚSTRIA DA PRÉ-FABRICAÇÃO (EXCELlentSUStainableCONCcrete)

PLANEAMENTO DA PRODUÇÃO E ENSAIOS DOS BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

RELATÓRIO

Outubro de 2014

Financiamento FCT/POCTI



União Europeia

FEDER



Governo da República Portuguesa

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E DO ENSINO SUPERIOR

Portugal

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. ENQUADRAMENTO E CONTEXTO	1
3. METODOLOGIA DE CÁLCULO	2
4. CAMPANHA EXPERIMENTAL	4
4.1. Formulação dos BAC.....	4
4.2. Processo de produção.....	5
4.3. Ensaio ao BAC no estado fresco.....	7
4.3.1. Ensaio de espalhamento.....	8
4.3.2. Ensaio de escoamento no funil V.....	10
4.3.3. Ensaio de escoamento na caixa L.....	11
4.3.4. Ensaio de segregação no peneiro.....	12
4.3.5. Ensaio de espalhamento no anel J.....	13
4.4. Ensaio ao BAC no estado endurecido.....	14
4.4.1. Ensaio mecânicos ao betão no estado endurecido.....	15
4.4.1.1. Massa volúmica e velocidade de propagação de ultra-sons.....	15
4.4.1.2. Resistência à compressão em cubos e em cilindros.....	17
4.4.1.3. Resistência à tracção por compressão diametral.....	18
4.4.1.4. Módulo de elasticidade secante.....	20
4.4.1.5. Resistência à abrasão.....	21
4.4.1.6. Retracção.....	23
4.4.1.7. Fluência.....	24
4.4.2. Ensaio de durabilidade ao betão no estado endurecido.....	26
4.4.2.2. Permeabilidade ao oxigénio.....	26
4.4.2.3. Absorção de água por capilaridade.....	28
4.4.2.4. Absorção de água por imersão.....	29

4.4.2.5.	Resistividade eléctrica	30
4.4.2.6.	Resistência à penetração de cloretos	32
4.4.2.7.	Resistência à carbonatação	34
5.	BIBLIOGRAFIA	35
ANEXO I -	FORMULAÇÃO DAS MISTURAS	A.1
I.1.	Materiais constituintes	A.1
I.2.	Estudo em betões	A.1
I.2.1.	Quantidades de amassadura	A.1
I.2.2.	Composição dos betões	A.3
I.2.3.	Quantidade de agregado reciclado por fracção granulométrica	A.6
ANEXO II -	PLANO DE BETONAGENS DETALHADO	
CORRESPONDENTE À 3ª FASE		A.9

Índice de figuras

Figura I.1 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência	A.8
Figura I.2 - Curva granulométrica da mistura de britas e curva de referência	A.8
Figura 2.1 - Esquematização dos vários betões a ensaiar	1
Figura 4.1 - Representação esquemática da amassadura com AR e AN.	6
Figura 4.2 - Representação esquemática da amassadura com apenas AN.	7
Figura 4.3 - Cone de Abrams e chapa metálica	9
Figura 4.4 - Cone de Abrams e placa da base (dimensões em mm) (Grdic et. al., 2010)	9
Figura 4.5 - Placa da base: tabuleiro (dimensões em mm) (IPQ, 2010)	9
Figura 4.6 - Funil V e balde (5l).	10
Figura 4.7 - Funil V. Legenda: 1 - tampa articulada deslizante (IPQ, 2010)	10
Figura 4.8 - Caixa L	11
Figura 4.9 - Disposição geral típica da caixa L, com as dimensões requeridas (em mm) (IPQ, 2010)	11
Figura 4.10 - Peneiro de 5 mm com fundo e balança	10
Figura 4.11 - Medição da parcela segregada. Legenda: 1 - peneiro com aberturas quadradas de 5 mm e diâmetro de 300 mm; 2 - fundo do peneiro; 3 - recipiente da amostra; 4 - balança (dimensões em mm) (IPQ, 2010)	10
Figura 4.12 - Anel J de 16 varões, cone de Abrams e chapa metálica	13
Figura 4.13 - Anel J. Legenda: 1 - cone de Abrams; 2 - anel J, 16 varões de aço lisos, igualmente espaçados (± 5 mm); 3 - placa de base; 4 - betão; Δh : diferença de alturas entre o topo do anel J e o topo do betão nos pontos referenciados (dimensões em mm) (IPQ, 2010)	13
Figura 4.14 - Equipamento de ultra-sons (calibração do equipamento)	16
Figura 4.15 - Prensa hidráulica	17
Figura 4.16 - Deflectómetro acoplado à prensa	17
Figura 4.17 - Roturas satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)	18
Figura 4.18 - Roturas não satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)	18
Figura 4.19 - Posicionador para o ensaio de provetes cilíndricos (IPQ, 2011)	19
Figura 4.20 - Máquina universal de ensaio	20
Figura 4.21 - Máquina de abrasão de Böhme a	22

Figura 4.22 - Aparelho de medição de extensões, barra calibradora e barra padrão	23
Figura 4.23 - Pórtico de fluência	25
Figura 4.24 - Sistema de controlo da pressão do óleo	25
Figura 4.25 - Permeâmetro	27
Figura 4.26 - Diagrama do equipamento para determinação da permeabilidade ao oxigénio (LNEC, 1993)	27
Figura 4.27 - Da esquerda para a direita: peso de 2 kg, placas de cobre, amperímetro e fonte de alimentação (Silva, 2013)	31
Figura 4.28 - Esquema de montagem do equipamento (adaptado de Silva, 2013)	31
Figura 4.29 - Exsiccador e bomba de vácuo	32
Figura 4.30 - Fonte de alimentação (em cima) e reservatórios de plástico (em baixo)	32
Figura 4.31 - Montagem do ensaio de migração de cloretos (LNEC, 2004)	33
Figura 4.32 - Câmara de carbonatação	34
Figura 4.33 - Tipos de apresentação da frente de carbonatação (LNEC, 1993)	35
Figura I.1 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência	A.8
Figura I.2 - Curva granulométrica da mistura de britas e curva de referência	A.8

Índice de tabelas

Tabela 4.1 - Ensaio ao betão no estado fresco	8
Tabela 4.2 - Características requeridas ao BAC e respectivos ensaios	8
Tabela 4.3 - E Ensaio ao betão no estado endurecido	14
Tabela I.1 - Provetes necessários para os ensaios de betão no estado endurecido	A.2
Tabela I.2 - Cálculo das quantidades de amassadura para as argamassas de 45 MPa	A.4
Tabela I.3 - Cálculo das quantidades de amassadura para as argamassas de 65 MPa.	A.5
Tabela I.4 - Quantidades totais de todos os materiais necessários.	A.6
Tabela I.5 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência.	A.7
Tabela I.6 - Curva granulométrica da mistura de britas e curva de referência.	A.7
Tabela I.7 - Quantidades totais de AR necessárias, por fracção.	A.8
Tabela II.1 - Plano de betonagens e ensaios para os betões de 65 MPa.	A.9
Tabela II.2 - Plano de betonagens e ensaios para os betões de 45 MPa.	A.23

Siglas

AFN	-	Agregados finos naturais
AFR	-	Agregados finos reciclados
AFRB	-	Agregados finos reciclados de betão
AGN	-	Agregados grossos naturais
AGR	-	Agregados grossos reciclados
AGRB	-	Agregados grossos reciclados de betão
AN	-	Agregados naturais
AR	-	Agregados reciclados
AR PF	-	Agregados reciclados provenientes da pré-fabricação
ARB	-	Agregados reciclados de betão
BAC	-	Betão auto-compactável
BAFRB	-	Betão com agregados finos reciclados de betão
BAGRB	-	Betão com agregados grossos reciclados de betão
BAR	-	Betão com agregados reciclados
BARB	-	Betão com agregados reciclados de betão
BC	-	Betão convencional
BO	-	Betão de origem
BR	-	Betão de referência, produzido sem agregados reciclados
LC	-	Laboratório de Construção (IST)
Relação a/c	-	Relação água / cimento
Sp	-	Superplastificante

1. Introdução

O presente documento dá cumprimento ao estabelecido com a FCT, no âmbito de projectos de investigação científica e de desenvolvimento tecnológico, que requer a apresentação de relatórios periódicos.

Este relatório apresenta o planeamento da produção e os ensaios a realizar aos betões no âmbito do Projecto FCT PTDC/ECM/118372/2010 - “Betão com agregados reciclados de elevado desempenho para a indústria da pré-fabricação (EXCELlentSUSustainable-CONcrete)”, descrevendo o cálculo das quantidades de amassadura e os procedimentos experimentais.

Desta forma, com esta campanha experimental, pretende-se determinar o comportamento no estado fresco e endurecido de betões auto-compactáveis (BAC) produzidos com agregados reciclados (AR). Estes serão avaliados através da sua comparação com betões de referência (BR) produzidos na sua totalidade com agregados naturais (AN).

2. Enquadramento e contexto

A segunda fase da tarefa 4 aborda a produção de betões auto-compactáveis com base no método de Nepomuceno [1] (Figura 2.1). Previamente, será feito o estudo em argamassas, que permite aferir as quantidades de amassadura do BAC através de ajustes na razão a/c e na dosagem de S_p , antes de adicionar o agregado grosso (natural e/ou reciclado).

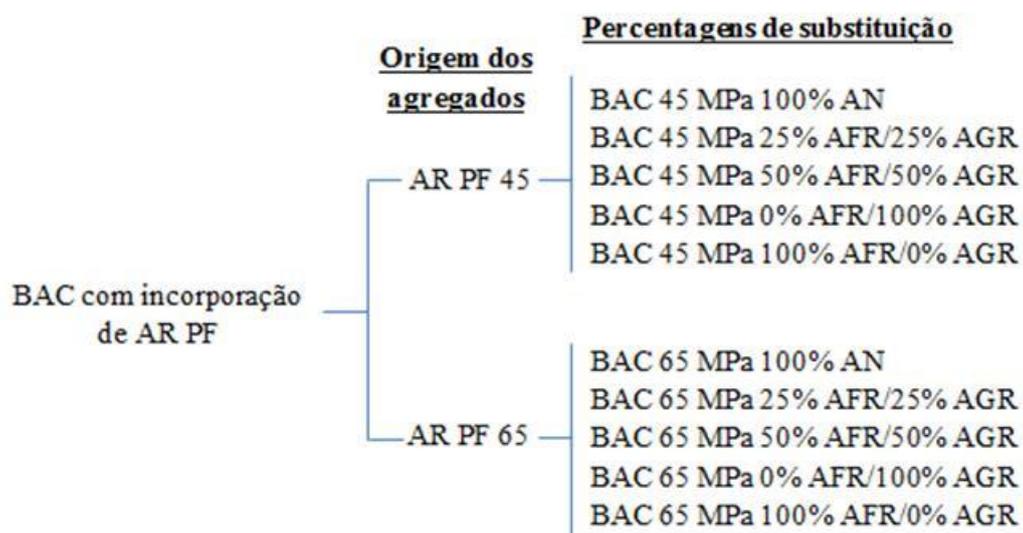


Figura 2.1 - Esquematização dos vários betões a ensaiar

Esta fase corresponde às amassaduras de BAC, com a introdução dos agregados grossos na mistura, depois de concluído o estudo em argamassas e estabelecidos os parâmetros de cálculo. Propõe-se reproduzir as classes de resistência de 45 e 65 MPa utilizando apenas agregados naturais (100% AN) e agregados da pré-fabricação, em que se varia a percentagem de finos e grossos na composição do betão (AFR/AGR%: 25/25%; 50/50%; 0/100%; 100/0%). Previamente, serão ainda realizadas amassaduras experimentais, uma para cada classe de resistência em estudo, que têm como objectivo confirmar as propriedades de trabalhabilidade pretendidas.

3. Metodologia de cálculo

A metodologia de cálculo de amassaduras de BAC aplicada nesta tarefa do projecto foi desenvolvida por Nepomuceno (2005), tendo por base os métodos japoneses. Esta nova metodologia introduz algumas alterações aos métodos anteriores, nomeadamente a introdução de um novo parâmetro designado “número de mistura” e o facto de considerar como variáveis alguns parâmetros, até então considerados fixos. Permite também uma maior flexibilidade ao considerar um intervalo de valores para os parâmetros de trabalhabilidade, em oposição aos outros métodos, que apenas trabalham com um par de valores. Este método divide-se nas seguintes etapas:

- ✦ selecção dos materiais;
- ✦ definição das curvas granulométricas de referência para os agregados finos e grossos;
- ✦ estudo em argamassas;
- ✦ estudo em betões.

Na primeira etapa do método, os materiais finos (cimento e adições) e as suas percentagens na mistura são definidos de acordo com a resistência à compressão pretendida no estado endurecido. A mistura de agregados finos e grossos deve ser efectuada para que as suas curvas granulométricas se aproximem das curvas de referência propostas.

Na segunda etapa, é determinado o volume absoluto de agregados finos e grossos (em percentagem), separadamente.

A terceira etapa corresponde à definição dos seguintes parâmetros para o estudo em argamassa:

- ✦ o volume absolutos dos materiais finos (cimento e adições), V_p ;
- ✦ o volume absoluto dos agregados finos, V_s ;

- ✦ a relação, em volume absoluto, entre as quantidades de materiais finos e de agregados finos, V_p/V_s ;
- ✦ a relação, em volume absoluto, entre as quantidades de água e de materiais finos (V_w/V_p);
- ✦ a relação, em percentagem, entre as quantidades (em massa) de superplastificante e de materiais finos, $S_p/p\%$.

O valor de V_p/V_s considerado deverá ser entre 0,60 e 0,80 (preferencialmente entre 0,65 e 0,80) e os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$, que influenciam as características de trabalhabilidade pretendidas, são estimados através de correlações estabelecidas por Nepomuceno (2005) para dois tipos de cimento (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N). No entanto, dado o vasto leque de superplastificantes disponíveis do mercado, com propriedades que podem variar consoante o fornecedor, os parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$ têm de ser ajustados experimentalmente até que se obtenha uma argamassa com a trabalhabilidade adequada, quantificada através dos parâmetros reológicos G_m (área de espalhamento relativa) e R_m (velocidade de escoamento relativa). Caso estes parâmetros se situem fora dos intervalos de referência, faz-se variar os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$, através do ajuste das quantidades de água e de S_p , até se atingir o comportamento pretendido.

Na quarta e última etapa, são definidos alguns parâmetros adicionais:

- ✦ o volume de vazios (V_v) é considerado constante e igual a $0,03 \text{ m}^3$;
- ✦ a relação, em volume absoluto, entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos (V_m/V_g), que pode variar entre 2,00 e 2,60.

A relação V_m/V_g é estimada através de um modelo matemático e depende directamente do grau de auto-compactabilidade, que por sua vez é avaliado pelo ensaio da caixa L, como proposto por Nepomuceno (2005), e do parâmetro V_p/V_s considerado na fase de argamassa. Para cada par de valores V_p/V_s e V_m/V_g , define-se um “número de mistura (MN), que consiste no produto entre estes dois parâmetros. No presente estudo, é assumido um valor para MN com base em trabalhos anteriores, obtendo-se como resultado o valor de V_m/V_g . Através do conhecimento das massas volúmicas de todos os materiais, dos seus volumes absolutos e das percentagens unitárias dos agregados, é possível calcular-se as respectivas quantidades por unidade de volume.

Para cada amassadura, são realizados vários ensaios no estado fresco, sendo que, de acordo com este método, os valores obtidos se deverão situar nos seguintes intervalos:

- ✦ diâmetro de espalhamento entre 630 e 700 mm;
- ✦ tempo de escoamento no funil V entre 10 e 20 segundos;

- ✦ grau de auto-compactabilidade na caixa L superior a 0,80.

4. Campanha experimental

A campanha experimental a realizar nesta tarefa do projecto tem como objectivo avaliar o desempenho mecânico e em termos de durabilidade de betões auto-compactáveis com incorporação de AR PF. Para tal, é necessário realizar os ensaios adequados para melhor compreender a influência dos AR PF nessas propriedades.

Pretende-se então, com este capítulo, apresentar e descrever todas as fases da campanha experimental, focando-se a produção de betões auto-compactáveis e os respectivos ensaios a realizar, tanto no estado fresco como endurecido.

A formulação dos betões foi feita através do método de Nepomuceno (2005), sendo que as quantidades dos diferentes materiais foram majoradas através de um coeficiente de segurança, de modo a salvaguardar a necessidade de repetir amassaduras, desperdícios durante as betonagens ou erros nos ensaios. Estas quantidades são apresentadas no Anexo I.

4.1. Formulação dos BAC

Após o estudo em argamassas, tratado num relatório anterior, foram fixados os seguintes parâmetros:

- ✦ $V_p/V_s = 0,80$;
- ✦ para os betões de 45 MPa, $f_{ad} = 60\%$ (50% CV e 10% FC) e para os betões de 65 MPa, $f_{ad} = 35\%$ (30% CV e 5% FC); o valor de f_{ad} será, necessariamente, inferior para os betões de 65 MPa, pois, uma vez que se pretende uma resistência superior, as misturas terão de contemplar maior percentagem de cimento na sua formulação;
- ✦ após afinação dos parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$ inicialmente tomados como ponto de partida (através de algumas iterações), fixou-se estes valores em: $V_w/V_p = 0,87$ e $S_p/p\% = 0,50$ para os BAC de 45 MPa e $V_w/V_p = 0,88$ e $S_p/p\% = 0,65$ para os BAC de 65 MPa.

Na passagem para o estudo em betões, fixou-se alguns parâmetros adicionais:

- ✦ o valor do volume de vazios (V_v) é constante e igual a $0,03 \text{ m}^3$ segundo o método de Nepomuceno;
- ✦ o “número de mistura” (MN) é definido pelo produto entre V_p/V_s (já arbitrado) e

V_m/V_g (razão, em volume absoluto, entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos na mistura), e depende do grau de auto-compactabilidade pretendido; este parâmetro foi fixado em 1,82, de acordo com os resultados satisfatórios obtidos por Silva (2013); deste modo, sabendo o valor de MN, calcula-se o valor de V_m/V_g , necessário ao cálculo das quantidades de agregados grossos (naturais e/ou reciclados) na mistura.

Conhecendo os volumes absolutos de todos os constituintes, as respectivas massas volúmicas e, no caso dos materiais finos, as suas percentagens unitárias, determinou-se a composição dos betões. Estes cálculos são apresentados no Anexo I.

Previamente às amassaduras propriamente ditas, será feita a betonagem de uma amassadura experimental para cada família, com o volume mínimo permitido pela betoneira (35 litros), com o objectivo de confirmar a trabalhabilidade através de ensaios no estado fresco e, se necessário, fazer pequenos ajustes na quantidade de água.

Serão betonados os 10 betões alvo deste estudo, 5 para cada família (45 e 65 MPa), em que o primeiro corresponde a uma mistura com 100% AN e os restantes a misturas em que se varia a percentagem de AFR e AGR na composição do betão (AFR/AGR%: 25/25%; 50/50%; 0/100%; 100/0%).

A substituição de AN por AR é feita em massa e por fracção granulométrica, reproduzindo-se a curva de referência obtida por Nepomuceno (2005). São ainda feitos acertos na água de amassadura, de modo a ter em conta o efeito da absorção de água, que é bastante superior nos AR.

4.2. Processo de produção

A produção de BAC será feita com base nos processos utilizados por Silva (2013) e Cartuxo (2013) nas suas investigações sobre BAC e BC com agregados reciclados, respectivamente, com as devidas adaptações.

Na Figura 4.1, apresenta-se, de forma esquemática, a sequência de amassadura para BAC com 100% AN e, na Figura 4.2, a sequência para BAC com incorporação de AR. A diferença entre os dois procedimentos consiste em colocar, separadamente, os AR na betoneira no início da sequência. De seguida, adiciona-se a água de absorção dos AR (valor de absorção aos 10 minutos, por ser esta a duração aproximada de uma betonagem) e mistura-se durante 1 minuto. A restante sequência mantém-se inalterada.

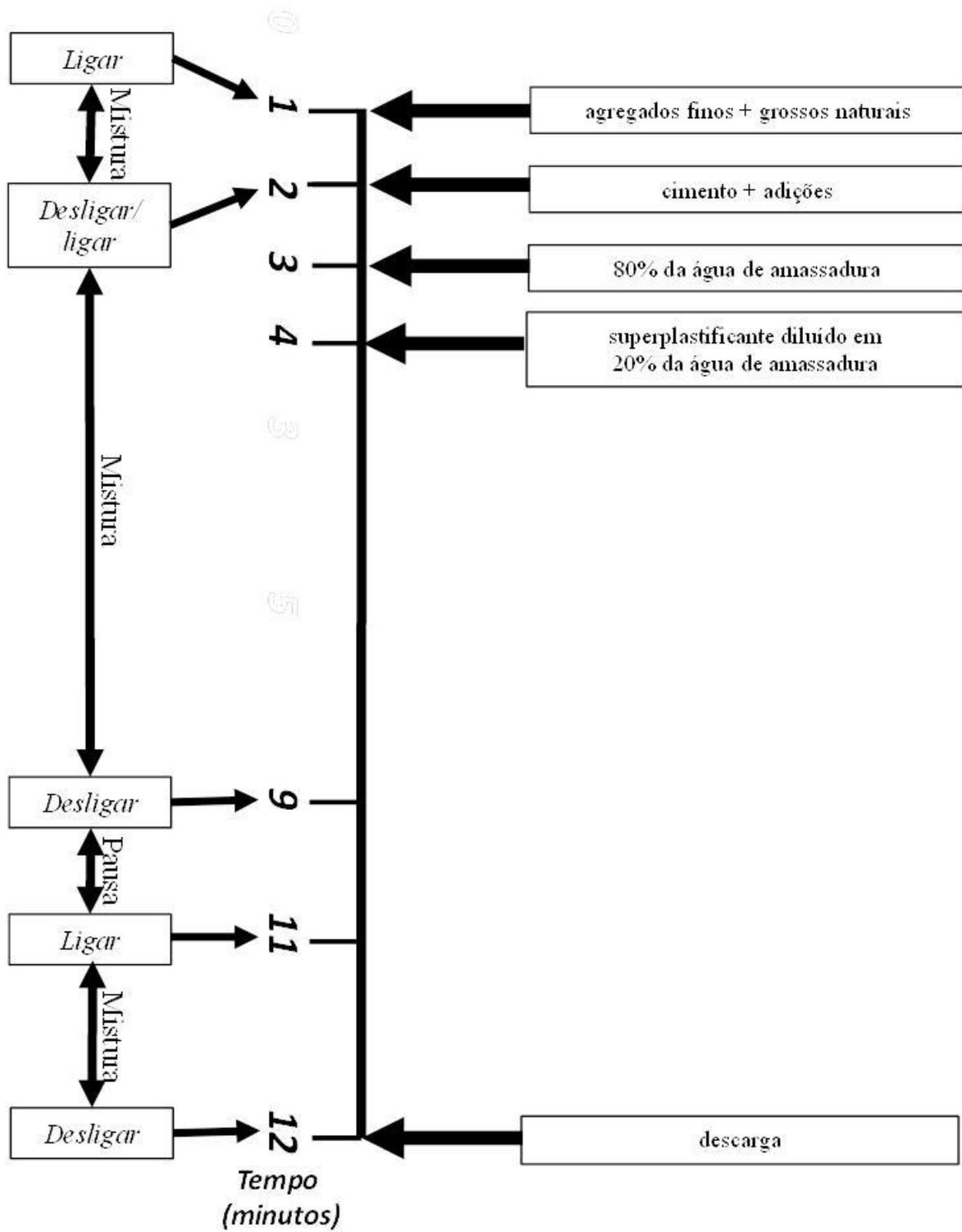


Figura 4.1 - Representação esquemática da sequência de amassadura de BAC 100% AN

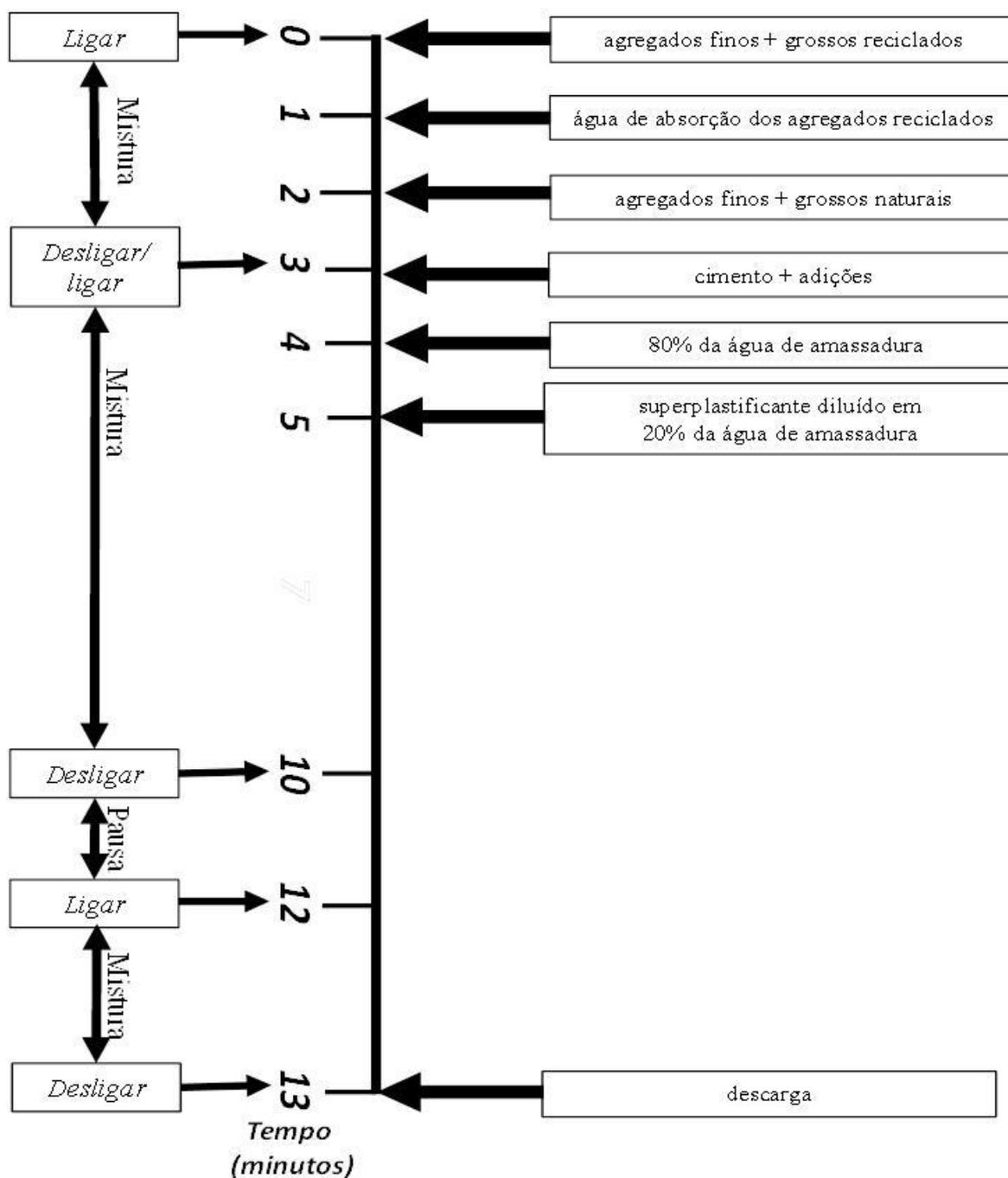


Figura 4.2 - Representação esquemática da sequência de amassadura de BAC com AR

4.3. Ensaios ao BAC no estado fresco

A característica que distingue o BAC do BC, no estado fresco, é a capacidade de se mover unicamente sob ação do seu peso próprio, preenchendo completamente os moldes, mesmo em zonas fortemente armadas, sem necessidade de receber qualquer energia de compactação e mantendo sempre a homogeneidade.

Para se aferir se o betão produzido tem as características de auto-compactabilidade requeridas, realiza-se um conjunto específico de ensaios no estado fresco para cada amassadura (incluindo a experimental), que são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Ensaios ao betão no estado fresco

Ensaios	Referência normativa
Espalhamento	NP EN 12350-8:2010
Escoamento no funil V	NP EN 12350-9:2010
Escoamento na caixa L	NP EN 12350-10:2010
Segregação no peneiro	NP EN 12350-11:2010
Espalhamento no anel J	NP EN 12350-12:2010

Estes ensaios têm como objectivo avaliar: (1) fluidez; (2) velocidade do escoamento na ausência e na presença de obstruções; (3) capacidade de enchimento; (4) capacidade de escoamento; (5) capacidade de passagem; (6) resistência à segregação. Na Tabela 4.2, são apresentadas as características requeridas e o respectivo ensaio a realizar para as aferir.

Conclui-se, portanto, que os ensaios no estado fresco constituem uma ferramenta fundamental de controlo da produção dos BAC.

Tabela 4.2 - Características requeridas ao BAC e respectivos ensaios

Características	Ensaio a realizar
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Fluidez ♦ Velocidade do escoamento na ausência de obstruções 	Ensaio de espalhamento
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Viscosidade ♦ Capacidade de enchimento 	Ensaio de escoamento no funil V
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Capacidade de escoamento através de espaços confinados 	Ensaio de escoamento na caixa L
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Resistência à segregação 	Ensaio de segregação no peneiro
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Capacidade de passagem através de espaços estreitos ♦ Velocidade do escoamento na presença de obstruções 	Ensaio de espalhamento no anel J

4.3.1. Ensaio de espalhamento

O ensaio de espalhamento permite avaliar a fluidez e a velocidade do escoamento na ausência de obstruções, de acordo com a norma NP EN 12350-8.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: cone de Abrams e chapa metálica (Figuras 4.3, 4.4 e 4.5), cronómetro e régua de 1 m.



Figura 4.3 - Cone de Abrams e chapa metálica

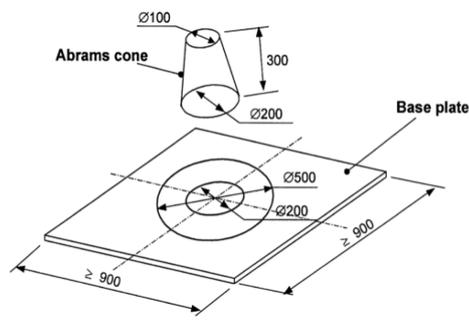


Figura 4.4 - Cone de Abrams e placa de base (dimensões em mm) (Grdic et. al., 2010)

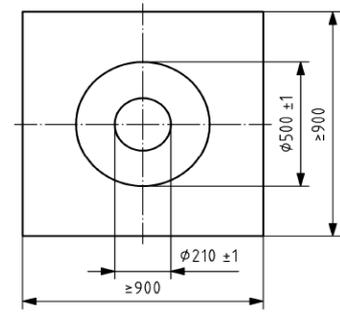


Figura 4.5 - Placa de base (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Humedecer ligeiramente todas as superfícies metálicas;
- 2) Encher o cone de uma única vez, sem qualquer agitação ou compactação, e levantá-lo num único movimento (sem interferir no escoamento), que deverá decorrer durante 1 a 3 s (não deixar passar mais de 30 s para levantar o cone);
- 3) Iniciar a cronometragem assim que o cone deixar de estar em contacto com a base e registar o tempo t_{500} , em segundos, que o BAC demora a atingir o círculo de 500 mm;
- 4) Após o BAC estabilizar, medir o maior diâmetro de espalhamento e registar como d_1 ;
- 5) Medir o diâmetro de espalhamento perpendicular a d_1 e registar como d_2 ;
- 6) Se a diferença entre d_1 e d_2 for superior a 50 mm, o ensaio deverá ser repetido com outra amostra e, se essa diferença se mantiver, o BAC deve ser considerado como não tendo a fluidez adequada.

Como resultado do ensaio, obtém-se o tempo de escoamento até se atingir o diâmetro de 500 mm (t_{500}), com aproximação de 0,5 segundos, bem como o diâmetro médio de espalhamento (com aproximação de 10 mm), que corresponde à média de d_1 e d_2 :

$$SF = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

O espalhamento deverá ser superior a 660 mm (e inferior a 750 mm), podendo, no entanto, validar-se resultados a partir de 600 mm. Este requisito tem de ser respeitado para que o BAC tenha fluidez e velocidade do escoamento na ausência de obstruções adequado. Adicionalmente, deverá ser verificado se o agregado grosso se encontra distribuído de forma homogénea ao longo da pasta do BAC, até à periferia, sem ocorrência

de fenómenos de exsudação.

4.3.2. Ensaio de escoamento no funil V

O ensaio de escoamento no funil V permite avaliar a viscosidade através da capacidade de escoamento por uma zona confinada, de acordo com a norma NP EN 12350-9.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: funil V (Figuras 4.6 e 4.7), cronómetro e balde.



Figura 4.6 - Funil V e balde

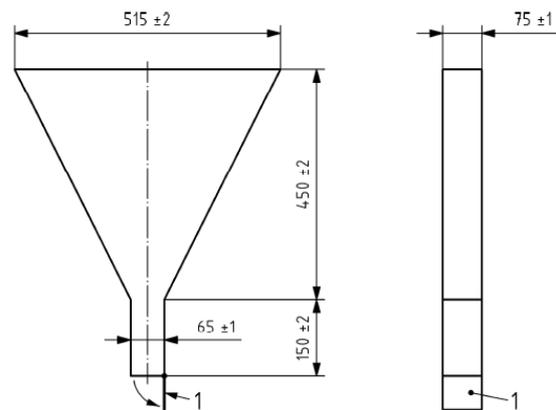


Figura 4.7 - Funil V. Legenda: 1 - tampa articulada ou deslizante (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Humedecer ligeiramente o interior do funil V;
- 2) Encher o funil V de uma única vez sem qualquer tipo de agitação ou compactação e rasar a sua superfície superior;
- 3) Sem deixar passar mais de 10 s, abrir a comporta inferior do funil e, em simultâneo, iniciar a medição do tempo de escoamento (t_v) com o auxílio do cronómetro;
- 4) Parar a cronometragem quando, observando o interior do funil de cima para baixo, surgir o primeiro raio de luz no fundo do funil;
- 5) O escoamento deve ser contínuo e sem bloqueios. Se estes ocorrerem, o ensaio deverá ser repetido com outra amostra; se o bloqueio persistir, o BAC não tem viscosidade e capacidade de passagem adequadas.

Como resultado do ensaio, obtém-se o tempo de escoamento que toda a massa de betão leva a escoar pelo funil (t_v), com aproximação de 0,5 s, que deverá ser superior a 9 s, podendo validar-se resultados a partir de 7 s.

4.3.3. Ensaio de escoamento na caixa L

Este ensaio permite avaliar a capacidade de passagem do BAC através de espaços confinados, incluindo espaços entre armaduras e outras obstruções, sem segregar ou bloquear. Adicionalmente, é possível uma avaliação visual da capacidade de auto-nivelamento do BAC. Este ensaio é realizado de acordo com a norma NP EN 12350-10. Existem duas variantes: caixa L com dois ou três varões incorporados (este último simulando uma maior densidade de armaduras).

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: caixa L (Figuras 4.8 e 4.9), cronómetro e régua.



Figura 4.8 - Caixa L

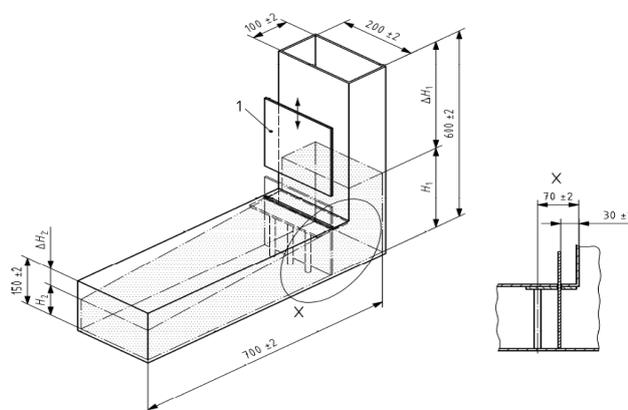


Figura 4.9 - Disposição geral típica da caixa L, com as dimensões requeridas (em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Humedecer ligeiramente o interior da caixa L;
- 2) Encher a caixa sem aplicar qualquer agitação ou compactação e rasar a sua superfície superior;
- 3) Esperar 60 s e abrir a comporta de separação das secções vertical e horizontal, num movimento contínuo;
- 4) Quando o movimento do BAC cessar, medir a altura do betão ΔH_1 (secção vertical da caixa L) e ΔH_2 (secção horizontal da caixa L).

Como resultado, obtém-se o índice de capacidade de passagem na caixa L (com aproximação de 0,01), calculado através da seguinte expressão:

$$PL = \frac{150 - \Delta H_2}{600 - \Delta H_1} = \frac{H_2}{H_1}$$

O valor de PL tem de ser superior a 0,80 para que o BAC tenha capacidade de escoamento adequada, através de espaços confinados.

4.3.4. Ensaio de segregação no peneiro

O ensaio da resistência à segregação no peneiro é utilizado para avaliar a resistência do BAC à segregação, de acordo com a norma NP EN 12350-11.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: peneiro de 5 mm com fundo (Figuras 4.10 e 4.11), balde de 10 litros com tampa, régua e cronómetro.



Figura 4.10 - Peneiro de 5 mm com fundo e balança

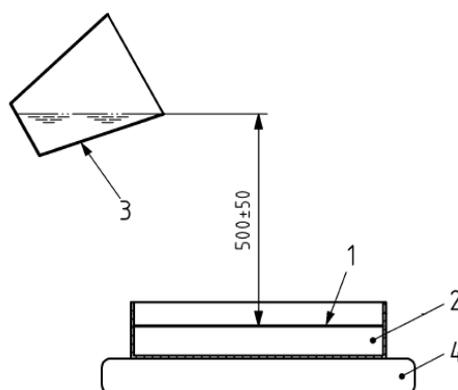


Figura 4.11 - Medição da parcela segregada. Legenda: 1 - peneiro com aberturas quadradas de 5 mm e diâmetro de 300 mm; 2 - fundo do peneiro; 3 - recipiente da amostra; 4 - balança (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Recolher uma amostra com, aproximadamente, 10 litros, num recipiente tapado, nivelado e sem perturbações;
- 2) Assegurar que a balança está nivelada e registar a massa do peneiro (m_{peneiro}) e do fundo (m_{fundo}), em gramas, colocando seguidamente o peneiro com o fundo na balança e a mesma a zero;
- 3) Após 15 minutos em repouso, verter o betão (4.8 ± 0.2 kg) de uma altura de 50 cm para o centro do peneiro e registar a massa efectivamente vertida ($m_{\text{mat. vertido}}$), em gramas;
- 4) Após 2 minutos, registar a massa do peneiro com o BAC que nele ficou acumulado ($m_{\text{mat. peneiro}}$) e o fundo com o material passado ($m_{\text{mat. fundo}}$).

Como resultado, obtém-se a parcela segregada ou índice de segregação, que corresponde à proporção da amostra que passou através do peneiro, relativamente à quantidade vertida (aproximação 1%), calculado através da seguinte expressão:

$$SR = \frac{m_{\text{mat.fundo}} - m_{\text{fundo}}}{m_{\text{mat.vertido}}} \times 100$$

O valor de SR tem de ser inferior a 20% para que o BAC tenha adequada resistência à segregação.

4.3.5. Ensaio de espalhamento no anel J

O ensaio de espalhamento no anel J permite verificar a capacidade de passagem do BAC através de espaços estreitos, incluindo os espaços entre os varões de armadura e outras obstruções, sem segregação ou bloqueio. Por conseguinte, permite avaliar a compatibilidade entre a máxima dimensão do agregado e o espaçamento entre varões.

O método segue o procedimento descrito na NP EN 12350-12, em tudo semelhante ao do ensaio de espalhamento. A única diferença consiste na colocação de um anel de varões metálicos (o anel J) concentricamente ao cone, antes do seu enchimento.

Os materiais necessários para a realização do ensaio são: anel J (anel de barras lisas, verticais, igualmente espaçadas) de 16 varões (designado também por anel japonês), cone de Abrams e chapa metálica (Figuras 4.12 e 4.13).



Figura 4.12 - Anel J de 16 varões, cone de Abrams e chapa metálica

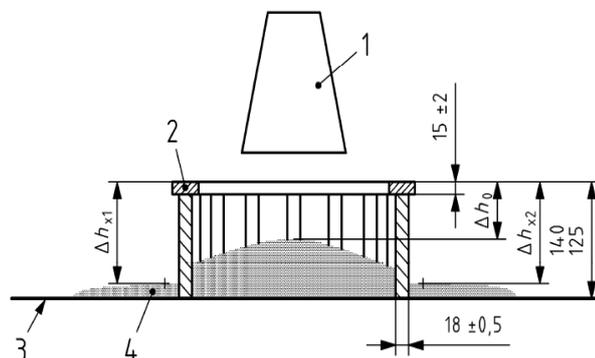


Figura 4.13 - Anel J. Legenda: 1 - cone de Abrams; 2 - anel J, 16 varões de aço lisos, igualmente espaçados (± 5 mm); 3 - placa de base; 4 - betão; Δh : diferença de alturas entre o topo do anel J e o topo do betão nos pontos referenciados (dimensões em mm) (IPQ, 2010)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Executar o ensaio de espalhamento e as medições dos respectivos diâmetros com o cone de Abrams no meio do anel J (não deixar passar mais de 30 s até retirar o cone);
- 2) Registrar o tempo (t_{500}) que o BAC demora a atingir o círculo de 500 mm;
- 3) Colocar uma régua rígida e medir as diferenças relativas de altura entre o bordo

inferior da régua e a superfície do betão na posição central (Δh_0) e em quatro posições fora do anel J, duas na direcção x (Δh_{x1} e Δh_{x2}) e outras duas na direcção y (Δh_{y1} e Δh_{y2}), perpendicular a x, com uma aproximação de 1 mm;

- 4) O espalhamento SFJ é determinado de acordo com o ensaio de espalhamento e a capacidade de passagem no anel J (PJ) é calculada pelo desnível por bloqueio, de acordo com a expressão (em mm):

$$PJ = \frac{\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2}}{4} - \Delta h_0$$

Como resultado, obtém-se o espalhamento no anel J (expresso com aproximação de 10 mm), calculado através da seguinte expressão (em mm):

$$SFJ = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (4)$$

O valor de SF tem de ser superior a 480 mm e o valor de PJ tem de ser inferior a 10 cm. Estes requisitos têm de ser respeitados para que o BAC tenha capacidade de passagem adequada através de espaços estreitos.

4.4. Ensaio ao BAC no estado endurecido

São apresentados, de seguida, os ensaios a realizar a todos os betões de modo a avaliar o seu desempenho em termos mecânicos e de durabilidade e se obter todos os resultados necessários à análise destas propriedades. Na Tabela 4.3, são apresentados os ensaios a realizar no estado endurecido, bem como as referências normativas a consultar.

Tabela 4.3 - Ensaio ao betão no estado endurecido

	Ensaio	Referência normativa
Mecânicos	Massa volúmica	NP EN 12390-7: 2000
	Ultra-sons	NP EN 12504-4: 2007
	Resistência à compressão	NP EN 12390-3:2011
	Módulo de elasticidade	LNEC E 397:1993
	Resistência à tracção por compressão diametral	NP EN 12390-6:2011
	Resistência à abrasão	DIN 52108:2010
	Retracção	LNEC E 398:1993
	Fluência	LNEC E 399: 1993
Durabilidade	Permeabilidade ao oxigénio	LNEC E 392: 1993
	Absorção de água por capilaridade	LNEC E 393:1993
	Absorção de água por imersão	LNEC E 394:1993
	Resistividade eléctrica	RILEM TC 154-EMC:2003
	Resistência à penetração por cloretos	LNEC E 463:2004
	Resistência à carbonatação	LNEC E 391:1993

Procedeu-se ao planeamento detalhado da produção dos betões e de todos os ensaios a

realizar, que se apresenta no Anexo II.

Neste processo, teve-se em consideração a disponibilidade de moldes no Laboratório de Construção e também alguns condicionalismos existentes, nomeadamente em termos de funcionamento dos equipamentos e dos dias da semana reservados para o seu uso.

Também as idades de realização dos ensaios foram ligeiramente alteradas tendo em conta a logística do laboratório, bem como os condicionamentos dos provetes, que em alguns casos foram usados para mais do que um ensaio.

No planeamento dos provetes necessários, o objectivo é o de maximizar o aproveitamento dos moldes (por exemplo, o mesmo cilindro pode ser cortado em “bolachas” para mais de um tipo de ensaio), tendo em consideração que a quantidade disponível de AR é limitada.

A produção dos provetes e a realização dos ensaios será realizado no LC do IST, à excepção do ensaio de análise ao microscópio de varredura electrónica, realizado no Microlab do Instituto de Ciência e Engenharia de Materiais e Superfícies (ICEMS) do IST, e de porosimetria por intrusão de mercúrio, realizado no Laboratório de Materiais de Construção (LabMAT) da Universidade Nova de Lisboa (UNL).

4.4.1. Ensaio mecânicos ao betão no estado endurecido

Neste subcapítulo, são apresentados os ensaios a realizar ao betão no estado endurecido, com o objectivo de avaliar a influência da incorporação de agregados reciclados de betão no comportamento mecânico dos diferentes BAC produzidos, relativamente a um betão de referência.

4.4.1.1. Massa volúmica e velocidade de propagação de ultra-sons

O ensaio de ultra-sons permite determinar a velocidade de propagação da onda sónica no interior do betão, de uma forma não destrutiva, obtendo-se, indirectamente, informação sobre características mecânicas, homogeneidade e vazios, através da comparação das velocidades de propagação entre os diferentes espécimes.

Os transdutores (emissor e receptor) do equipamento de ultra-sons são posicionados, alinhados e centrados em faces opostas do provete (esta técnica é designada por método de transmissão directa), obtendo-se o tempo que a onda demora a percorrer o interior do betão (entre o emissor e o receptor).

São necessários os seguintes materiais: equipamento de ultra-sons (Figura 4.14), balança

com pesagem hidrostática, craveira, pano e material de contacto entre o provete e os transdutores (será utilizada vaselina).



Figura 4.14 - Equipamento de ultra-sons (calibração do equipamento)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Retirar o provete da câmara húmida e limpá-lo com o pano removendo o excesso de humidade e/ou sujidade;
- 2) Avaliar o peso do provete ao ar (m_{ar}) e imerso em água ($m_{água}$);
- 3) Determinar as dimensões do provete: B, H, A;
- 4) Calibrar o equipamento de ultra-sons com recurso ao cilindro de calibração fornecido pelo equipamento (elemento cuja velocidade de propagação é de 25 μ s), colocando vaselina na superfície de contacto dos dois transdutores, de forma a melhorar o contacto;
- 5) Colocar cada um dos transdutores em fases opostas do provete (posição central na sua superfície) e registar o tempo, t (em μ s), que a onda sónica demora a percorrer o interior do betão (entre o emissor e o receptor), fornecido pelo aparelho.

O ensaio deve ser realizado em todas as superfícies opostas do cubo, excluindo a fase de acabamento e respectiva fase oposta.

A massa volúmica e a densidade relativa são calculadas pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$MV = \frac{m_{ar}}{B \times H \times A} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$
$$\rho = \frac{m_{ar}}{m_{ar} - m_{água}} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

A velocidade de propagação dos ultra-sons é calculada por:

$$V = \frac{A}{t} \text{ e } V = \frac{B}{t} \text{ [m/s]}$$

4.4.1.2. Resistência à compressão em cubos e em cilindros

Com a realização deste ensaio, pretende-se determinar a capacidade resistente dos diferentes betões quando comprimidos com tensão uniforme, de acordo com a norma NP EN 12390-3 (2011).

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: prensa hidráulica (*Tonic Pact 3000*) (Figura 4.15), deflectómetro / transdutor (Figura 4.16), *data logger*, acoplado à prensa (estes dois equipamentos permitem obter os diagramas de tensão-deformação) e pano para limpeza dos provetes.



Figura 4.15 - Prensa hidráulica



Figura 4.16 - Deflectómetro acoplado à prensa

O ensaio será realizado em provetes cúbicos de 150 mm de aresta e em provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, sujeitos ao processo de cura húmida a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio.

Para cada referência de BAC, serão moldados três provetes cúbicos, a ensaiar aos 7, 28 e 91 dias de idade, imediatamente após o ensaio de massa volúmica e ultra-sons, e dois cilíndricos, a ensaiar aos 28 e 91 dias de idade, após o ensaio do módulo de elasticidade secante (ou seja, aproximadamente 3 h após retirados da câmara de cura).

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Limpar as superfícies da prensa hidráulica;
- 2) Montar o equipamento (acoplado à prensa) que permite obter os diagramas de tensão-deformação (apenas para os provetes cúbicos);
- 3) Posicionar o provete na prensa, centrado relativamente ao prato inferior da máquina (para evitar qualquer tipo de excentricidade):
 - Provetes cúbicos: colocar o provete com a superfície de enchimento virada lateralmente, ou seja, sem estar em contacto com as placas da prensa;
 - Provetes cilíndricos: colocar o provete com os topos do cilindro (rectificados)

mecanicamente) em contacto com as placas da prensa;

4) Dar início ao ensaio:

- Provetes cúbicos: velocidade de aplicação da carga é de 13,5 kN/s;

- Provetes cilíndricos: velocidade de aplicação da carga é de 10,5 kN/s.

Ambas as velocidades referidas têm de estar dentro do intervalo $0,6 \pm 0,2$ MPa/s, sendo que a velocidade deve ser aplicada de forma contínua e sem choques até o provete atingir a rotura;

5) Inspeccionar a rotura de cada provete e classificá-la como satisfatória (Figura 4.17) ou não satisfatória (Figura 4.18), de acordo com a classificação presente na norma NP EN 12390-3 (2011).

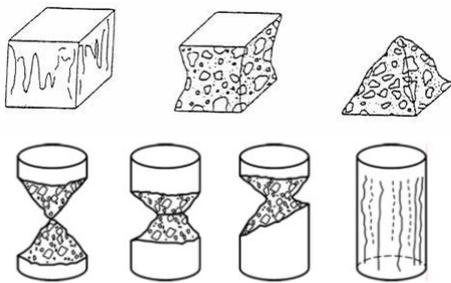


Figura 4.17 - Roturas satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)

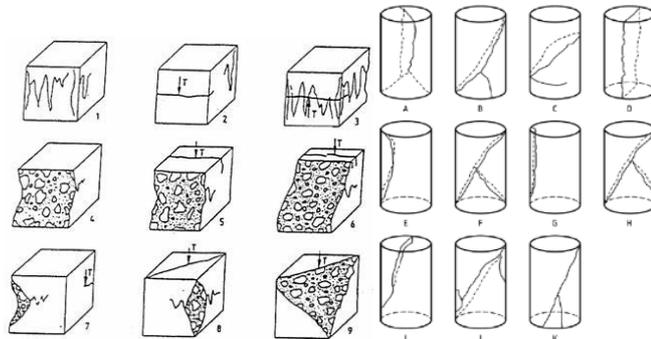


Figura 4.18 - Roturas não satisfatórias de provetes cúbicos e cilíndricos (IPQ, 2011)

A resistência à compressão em cubos e cilindros é calculada através da seguinte expressão:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Onde:

f_c - resistência à compressão do provete (MPa ou N/mm^2);

F - carga máxima (N);

A_c - área da secção transversal do provete em contacto com os pratos da prensa.

Para cada idade, a resistência à compressão é dada pela média dos resultados dos provetes respectivos.

4.4.1.3. Resistência à tracção por compressão diametral

O ensaio de compressão diametral permite determinar a resistência à tracção do betão, seguindo a metodologia especificada pela norma NP EN 12390-6 (2011), em provetes cilíndricos com 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura.

Para cada referência de BAC serão moldados dois provetes cilíndricos, a ensaiar aos 28 e 91 dias de idade, sujeitos ao processo de cura húmida a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio. Os provetes devem ser ensaiados saturados.

Neste ensaio, cada provete cilíndrico é submetido a uma força de compressão, aplicada sobre uma secção estreita em todo o seu comprimento, com recurso a duas peças de carga em aço em contacto com o provete por intermédio de duas faixas de cartão prensado.

Para realizar o procedimento normativo, é preciso o seguinte equipamento: prensa hidráulica (Tonic Pact 3000) (Figura 4.15), pano de limpeza, régua, posicionador / estrutura de suporte dos provetes em aço, peça de carga em aço e faixas de cartão prensado (Figura 4.19).

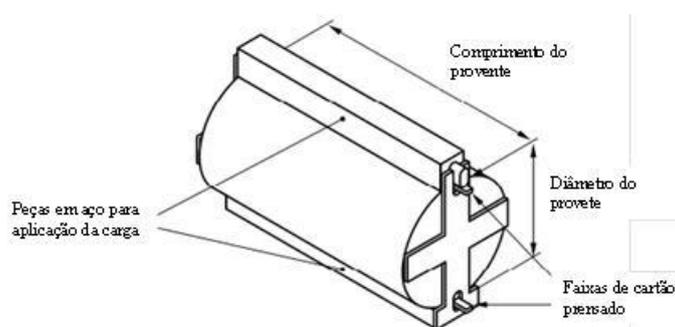


Figura 4.19 - Posicionador para o ensaio de provetes cilíndricos (IPQ, 2011)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Retirar o provete da câmara húmida e limpar com o pano, removendo o excesso de humidade e/ou sujidade;
- 2) Determinar as dimensões do provete: L (comprimento) e d (diâmetro);
- 3) Limpar as superfícies da prensa de compressão;
- 4) Montar o equipamento (acoplado à prensa) que permite apoiar o cilindro na horizontal;
- 5) Posicionar o provete na prensa, centrado em relação aos pratos para evitar qualquer tipo de excentricidade;
- 6) Posicionar as faixas de cartão prensado nas geratrizes da base e do topo (nesta última é sobreposta a peça de carga);
- 7) Dar início ao ensaio: a velocidade de aplicação da carga é de 3,5 kN/s, dentro do intervalo $0,05 \pm 0,01$ MPa/s, aplicada de forma contínua sem choques até atingir a rotura;
- 8) Registrar o valor da carga máxima: F.

A resistência à tracção por compressão diametral é calculada através da seguinte expressão (em MPa):

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

Para cada idade, a resistência à tracção por compressão diametral é dada pela média dos resultados dos provetes respectivos.

4.4.1.4. Módulo de elasticidade secante

O módulo de elasticidade de um betão permite caracterizar a sua rigidez, ou deformabilidade, através da análise da relação tensão / extensão (σ/ϵ) em regime de deformações elásticas. A relação σ/ϵ de um betão não é linear, pelo que não existirá um valor único para o módulo de elasticidade num elemento sujeito a variação de cargas. Por conseguinte, define-se a recta que estabelece módulo de elasticidade como a tangente na origem da curva σ/ϵ (módulo de elasticidade tangente), ou ainda, como a secante entre dois pontos de tensão conhecida da mesma curva (módulo de elasticidade secante).

Nesta campanha experimental, será determinado o módulo de elasticidade secante do betão, de acordo com a especificação LNEC E 397 (1993), em provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, sujeitos ao processo de cura húmida a 20 ± 2 °C até à idade de ensaio (28 e 91 dias).

O provete cilíndrico será colocado numa prensa onde é submetido a ciclos de carga e descarga, para um nível de tensão igual a 1/3 da resistência média à compressão (f_{cm}), registando-se as tensões e extensões iniciais e finais.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: máquina universal de ensaio (*Instron*, modelo 1343) (Figura 4.20), equipamento para aquisição de dados (*data logger Spider 8* da HBM) para obtenção das forças aplicadas e deslocamentos, extensómetros eléctricos adesivos e pano de limpeza.



Figura 4.20 - Máquina universal de ensaio

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Retirar o provete da câmara húmida e limpar com o pano, removendo o excesso de humidade e/ou sujidade;
- 2) Aplicação de dois extensómetros em posições directamente opostas do provete;
- 3) Introduzir o valor estimado para a resistência à compressão média em cilindros: $f_{cm}^{cilindros}$;
- 4) Posicionar o provete na vertical, centrado nas placas da máquina e colocar os discos de neoprene nas superfícies de ensaio (evitando, assim, qualquer excentricidade no carregamento);
- 5) Verificar o posicionamento do provete: a diferença registada pelos dois extensómetros ($|\varepsilon_{ext1} - \varepsilon_{ext2}|$), após cada ciclo de carga, deverá ser inferior a 10%;
- 6) Aplicar uma tensão inicial de 0,5 a 1,0 MPa (σ_i), aumentada de forma contínua a uma velocidade de 8,8 MPa/s, até atingir 1/3 da tensão média de resistência à compressão ($f_{cm}^{cilindros}$);
- 7) Registar as extensões e tensões iniciais e finais e efectuar um novo ciclo de carga;
- 8) Após cada ciclo, confirmar se a diferença entre a média das variações de extensão de ciclos consecutivos ($|\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}|$) é inferior a 1×10^{-5} . Caso o limite não seja satisfeito, repetir o ciclo de carga, efectuando-se os ciclos necessários até que a condição anterior seja verificada ($|\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}| < 1 \times 10^{-5}$);
- 9) Registar as tensões e extensões iniciais e finais obtidas, em cada ciclo (n): $\sigma_{i,n}, \sigma_{f,n}, \varepsilon_{i,n}, \varepsilon_{f,n}$;
- 10) No final do ensaio, os provetes são ensaiados à compressão (de forma a aferir o valor da resistência à compressão utilizado na determinação do módulo de elasticidade).

O módulo de elasticidade secante (GPa) é calculado através da seguinte expressão:

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_{f,n} - \sigma_{i,n}}{\varepsilon_{f,n} - \varepsilon_{i,n}} 10^{-3}$$

4.4.1.5. Resistência à abrasão

A avaliação da resistência ao desgaste por abrasão será realizada segundo a norma alemã DIN 52108 (2010). A superfície do provete é submetida ao desgaste através da máquina de abrasão de Böhme, avaliando-se a sua espessura e massa, antes e após o ensaio.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: máquina de abrasão de Böhme (Figura 4.21), pó abrasivo normalizado, estufa ventilada à temperatura de 110 ± 5 °C, balança de precisão de $\pm 0,1$ g, craveira, escova para limpeza da máquina de abrasão e pano para limpeza dos provetes.



Figura 4.21 - Máquina de abrasão de Böhme

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Corte do provete cúbico de 100 mm de aresta, de modo a obter-se dois provetes com geometria paralelepípedica, de bases quadradas paralelas com $71 \pm 1,5$ mm de aresta, com altura de cerca de 50 mm;
- 2) 7 dias antes da realização do ensaio, colocar os provetes na estufa ventilada, a 110 ± 5 °C, até atingirem massa constante (considera-se que o provete atinge massa constante quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de pelo menos 24 h, for inferior a 0,1% da média das duas leituras);
- 3) No dia da realização do ensaio, retirar os provetes da estufa e deixar arrefecer a massa constante (colocar os provetes no interior de uma caixa com sílica gel);
- 4) Com a craveira, medir a altura inicial do provete (L_{i,j_n}), em nove pontos marcados previamente na face oposta à de teste e avaliar a massa do provete (m_i);
- 5) Limpar a máquina de abrasão e distribuir uniformemente 20 g de pó abrasivo ao longo do trilho de abrasão; posicionar o provete no mecanismo de fixação e carregar a face de topo com uma pressão de contacto centralizada de $30 \pm 0,3$ kPa, de modo a assegurar o atrito suficiente entre o provete e o conjunto abrasivo (disco e pó);
- 6) Iniciar a rotação do disco de Böhme a uma velocidade de 30 ± 1 rpm, de forma a completar 22 voltas;
- 7) O ensaio inclui 16 ciclos de teste por provete; após cada ciclo de teste, limpar a superfície de teste do provete e o disco de Böhme. Rodar o provete 90° em torno

do seu eixo vertical, sempre no mesmo sentido, distribuindo novamente 20 g de pó abrasivo no trilho de abrasão;

- 8) Concluídos os 16 ciclos de teste limpar o provete, e medir a altura dos nove pontos (L_{f,j_n}), e avaliar a sua massa (m_f).

A redução da altura do provete por abrasão (em mm) resulta da diferença entre a média das nove alturas iniciais e a média das nove alturas finais, calculada através da seguinte expressão:

$$\Delta L = \overline{L_{i,j_n}} - \overline{L_{f,j_n}}$$

4.4.1.6. Retracção

O ensaio de retracção permite determinar a variação das dimensões dos provetes ao longo de um determinado período de tempo.

A determinação da extensão total de retracção será efectuada através de medições em dois provetes prismáticos por cada referência de betão (100 x 100 x 500 mm), durante 182 dias (diariamente até aos 14 dias e semanalmente entre 14 dias e 182 dias), de acordo com a especificação LNEC E 398 (1993).

O ensaio será iniciado imediatamente após a desmoldagem, às 24 h, mantendo-se os provetes a uma temperatura ambiente de 20 ± 2 °C e uma humidade relativa de $50 \pm 5\%$ durante toda a duração do ensaio.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: aparelho de medição de extensões com uma precisão de 10^{-6} m, barra calibradora, barra padrão (Figura 4.22), cola de secagem rápida, betume polimérico (cola bi-componente de base epóxida e de elevada resistência), lixa e pinos metálicos.



Figura 4.22 - Aparelho de medição de extensões, barra calibradora e barra padrão

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após a desmoldagem, aplicar dois pinos metálicos a 1/3 e 2/3 do comprimento da linha média de uma das maiores faces do provete; os pinos metálicos são posicionados com recurso a uma cola de secagem rápida e com o apoio da barra padrão, que garante o seu correcto posicionamento; de seguida, aplicar betume polimérico à volta dos pinos por forma a protegê-los e mantê-los imóveis;
- 2) Após a secagem da cola, realizar a primeira leitura da retracção (d_i) com o aparelho de medição de extensões; o equipamento permite registar a variação de comprimento entre os dois pinos metálicos colados na superfície do provete, por comparação com a barra calibradora fornecida com o aparelho; esta primeira leitura é considerada como o ponto de referência para as leituras seguintes;
- 3) Efectuar as diversas leituras ao longo do tempo ($d_f(t)$), sendo que em cada um dos provetes são feitas duas medições;

A retracção num dado instante de tempo t (em m/m) é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_s(t) = \frac{d_f(t) - d_i}{d_i}$$

4.4.1.7. Fluência

O ensaio de fluência permite determinar a deformação longitudinal de provetes de betão, sob uma tensão de compressão constante durante um longo período de tempo.

Os provetes prismáticos (150 x 150 x 550 mm) são montados na posição vertical em pórticos de fluência, aos 28 dias de idade, sendo aplicada uma tensão constante. São avaliadas as extensões sofridas pelo provete ao longo do tempo, todos os dias durante 91 dias.

O procedimento foi realizado de acordo com a especificação LNEC E 399 (1993), com recurso aos seguintes equipamentos: máquina de ensaio que consegue aplicar e manter uma força de 250 kN, distribuída pela superfície do provete (Figura 4.23), sistema de controlo da pressão do óleo, através de sensores de pressão, que permite a estabilização da carga aplicada (Figura 4.24), transdutores electrónicos que permitem a medição de extensões com uma precisão de 1×10^{-6} , varões roscados de 5 mm e enxofre.



Figura 4.23 - Pórtico de fluência



Figura 4.24 - Sistema de controle da pressão do óleo

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Imediatamente após o enchimento dos moldes, inserir dois varões roscados de 5 mm de diâmetro e 5 cm de comprimento no betão ainda fresco; estes devem estar espaçados de 200 mm entre si e centrados na face de enchimento do provete;
- 2) Após a desmoldagem, armazenar os provetes na câmara a $50 \pm 5\%$ de humidade relativa e $20 \pm 2^\circ\text{C}$ até ao dia de ensaio (aos 28 dias de idade);
- 3) Ao 25º dia, fazer o capeamento dos provetes com enxofre;
- 4) Aos 28 dias de idade, montar os provetes no equipamento e iniciar o ensaio: centrar os provetes na superfície da máquina de ensaio, fixar os instrumentos de medição de extensões e aplicar uma força de, aproximadamente, 20% da carga máxima; as extensões nos vários instrumentos de medida não devem diferir em mais de 25% do valor médio; se tal acontecer, retirar a carga, centrar de novo o provete e repetir o procedimento;
- 5) Registrar a primeira leitura das extensões obtidas, registando o seu valor com $d_t(0)$;
- 6) Aplicar a força máxima de 250 kN preconizada para o ensaio, o que irá resultar em 25 MPa de tensão;
- 7) Realização das medições seguintes ao longo do tempo, registando os valores de $d_t(i)$.

A extensão total do provete sob tensão constante, num determinado instante de tempo t (contado a partir da primeira leitura, $d_t(0)$, realizada no instante da aplicação da tensão total sobre os provetes), é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_t(t) = \frac{d_t(i) - d_t(0)}{d} \times 100$$

A extensão por fluência, num dado período de carga, é calculada através da seguinte expressão:

$$\varepsilon_c(t) = \varepsilon_t(t) - \varepsilon_s(t) - \varepsilon_i$$

Em que:

$\varepsilon_t(t)$ - extensão total sob tensão constante num dado tempo t, contada a partir da primeira leitura (t=0);

$\varepsilon_s(t)$ - extensão média (t=0) dos provetes não carregados e conservados nas mesmas condições (provetes para medição da retracção);

ε_i - extensão instantânea medida logo após a aplicação da carga máxima no ensaio ou calculada pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_i = \frac{\sigma}{E}$$

σ - tensão máxima a aplicar no ensaio de fluência (MPa);

E - módulo de elasticidade em compressão, determinado na idade em que se inicia o ensaio de fluência, para a mesma tensão aplicada (MPa).

O coeficiente de fluência, adimensional, num dado instante de tempo t, é calculado através da seguinte expressão:

$$\Phi = \frac{\varepsilon_c(t) \times E_{C_{28d}}}{\sigma_c}$$

Em que:

$E_{C_{28d}}$ - módulo de elasticidade aos 28 dias de idade (que pode ser obtido aumentando em 25% o valor calculado segundo respectivo o ensaio)

σ_c - valor da tensão aplicada.

4.4.2. Ensaio de durabilidade ao betão no estado endurecido

Neste subcapítulo, são apresentados os ensaios a realizar ao betão no estado endurecido, com o objectivo de avaliar a influência da incorporação de agregados reciclados de betão no comportamento em termos de durabilidade dos diferentes BAC produzidos, relativamente a um betão de referência.

4.4.2.2. Permeabilidade ao oxigénio

O ensaio da permeabilidade ao oxigénio tem como objectivo medir o fluxo de oxigénio que atravessa num provete de betão, sujeito a um determinado gradiente de pressão.

Os provetes são colocados em câmaras capazes de aguentar pressões até 5×10^{-2} kN/m², onde ficam rodeados por um tubo de borracha que, após ser insuflado, vai vedar o pro-

vete lateralmente, permitindo assim o fluxo de gás unidireccional.

Para realizar o procedimento normativo, segundo a especificação LNEC E 392 (1993), é necessário o seguinte equipamento: aparelho para determinar o coeficiente de permeabilidade ao oxigénio, designado por permeâmetro (Figura 4.25), cronómetro, balança, régua e película aderente. Na Figura 4.26, é apresentado o esquema de montagem do ensaio.



Figura 4.25 - Permeâmetro

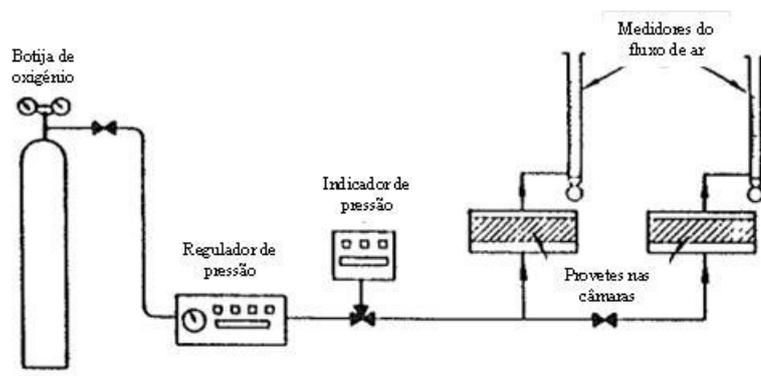


Figura 4.26 - Diagrama do equipamento para determinação da permeabilidade ao oxigénio (LNEC, 1993)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Corte de provetes cilíndricos ($\Phi 150 \times 300$ mm) para obtenção de 5 “bolachas” de $\Phi 150 \times 50$ mm;
- 2) Durante os primeiros 7 dias de idade, colocar os provetes na câmara de cura húmida;
- 3) Secar os provetes em estufa ventilada a 40°C , durante 3 dias;
- 4) Embrulhar cada provete em película aderente (para que não ocorram trocas de humidade) e colocar na estufa ventilada a 40°C , durante 17 dias;
- 5) Um dia antes da realização do ensaio, colocar o provete embrulhado em película a 20°C ; este pré-condicionamento permite que se obtenham distribuições de humidade aproximadamente uniformes ao longo do provete;
- 6) Medir a espessura, o diâmetro e a massa do provete (embora este último valor não seja considerado para a determinação da permeabilidade, pode ser útil conhecer a massa quando o provete é sujeito a uma mudança do seu estado de humidade por um longo período, sendo posteriormente manuseado por operadores);
- 7) Introduzir os provetes no interior da câmara;
- 8) Seleccionar no equipamento de ensaio a pressão do gás à entrada do provete (P_{entrada}): considerar três pressões distintas - 2,5, 3 e 3,5 bar;

- 9) Seleccionar medidor de fluxo com diâmetro adequado (D) em função da permeabilidade do provete (o equipamento possui quatro medidores de fluxo, com diferentes escalas e diâmetros); as leituras do caudal são realizadas com medidores de fluxo colocados a jusante, onde se regista o tempo de percurso (t) de uma bolha de sabão num tubo de vidro com um determinado diâmetro; no decorrer do ensaio, o tubo deve estar molhado interiormente com uma solução usada para produzir “bolhas de sabão”, de modo a evitar o seu rápido desaparecimento;
- 10) Iniciar o ensaio e registar o tempo que a bolha demora a percorrer o tubo de fluxo; o tempo óptimo para o percurso de cada bolha situa-se entre 20 e 60 s; caso isto não se verifique, mudar de medidor de fluxo.

O fluxo de ar que atravessa o provete (em m³/s) é calculado através da seguinte expressão:

$$Q = D/t$$

A permeabilidade do betão ao oxigénio (em m²) a uma determinada pressão, p é calculada através da seguinte expressão:

$$K_{O_2} = \frac{1.14 \times 10^{-4} \times Q \times p_1}{p^2 - p_1^2}$$

Sendo p₁ a pressão absoluta do oxigénio à saída do provete (considera-se que, neste ensaio, é igual à pressão atmosférica: 101200 N/m²).

A elaboração de um gráfico Q/(p²-p₁²) dará indicação do desvio dos resultados da linearidade ou de um possível mau funcionamento do equipamento.

4.4.2.3. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade tem como objectivo quantificar a absorção de água por ascensão através dos vasos capilares do betão.

O provete é parcialmente colocado em contacto com a água e, periodicamente, é avaliada a sua massa. Este ensaio é considerado uma forma indirecta de avaliar a porosidade interna do provete de betão.

A absorção por capilaridade é causada pelas diferenças de pressão entre a superfície livre da água e a superfície livre, dessa mesma água, no interior dos vasos capilares.

Para realizar o ensaio, segundo a especificação LNEC E 393 (1993), é necessário o seguinte equipamento: estufa ventilada à temperatura de 40 ± 5 °C, balança de precisão de ±0.05% da massa do provete, apoios plásticos, nível, tabuleiro metálico, campânula, pano de limpeza, cronómetro e película aderente.

São utilizados os mesmos provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio, após o respectivo condicionamento.

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após o ensaio de permeabilidade ao oxigénio, colocar o provete na estufa a 40 ± 5 °C durante 12 h;
- 2) Retirar o provete da estufa, esperar que a temperatura do provete estabilize e pesar (registar a sua massa);
- 3) Vedar o provete com película aderente à sua volta;
- 4) Colocar o provete num tabuleiro sobre apoios, para que a base do provete (face cortada do provete) esteja em contacto com a água;
- 5) Preencher o tabuleiro com água, para que o nível da água atinja 5 ± 1 mm acima da face inferior do provete e, nesse instante, ligar o cronómetro;
- 6) Tapar todo o conjunto montado com uma campânula (de forma a evitar a evaporação de água);
- 7) Ao fim de 3, 6, 24 e 72 horas, retirar o provete da água, registar a altura capilar e efectuar a sua pesagem.

A absorção de água por capilaridade no instante t_i ($t_i = 3, 6, 24$ e 72 h) é calculado através da seguinte expressão (em g/mm^2):

$$A_c = \frac{M_i - M_0}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Em que:

M_i - massa do provete, que esteve em contacto com a água durante o tempo t_i (g);

M_0 - massa do provete seco em estufa (g);

D - diâmetro da face do provete, que esteve em contacto com a água (mm).

4.4.2.4. Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão tem como objectivo avaliar a porosidade interna do betão, sendo possível caracterizar o seu comportamento à entrada da água e outros agentes nocivos. Consiste na imersão em água de um provete de betão até que este atinja massa constante, segundo a especificação LNEC E 394 (1993).

No entanto, este ensaio apresenta algumas limitações, nomeadamente o facto de medir apenas o volume dos poros acessíveis (habitualmente designado por porosidade aberta), ou seja, o valor obtido não representa a porosidade absoluta do betão, uma vez que não

considera o volume de poros fechados.

Para realizar o procedimento normativo, é necessário o seguinte equipamento: balança com pesagem hidrostática de precisão de $\pm 0.05\%$ da massa do provete, estufa ventilada à temperatura de 105 ± 5 °C, recipiente com capacidade de submergir os provetes em água, pano de limpeza e cronómetro.

São utilizados os mesmos provetes do ensaio de absorção de água por capilaridade, após o respectivo condicionamento.

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após o final do ensaio de capilaridade, limpar o provete com um pano húmido;
- 2) Colocar o provete num recipiente com água, imergindo progressivamente 1/3 deste em intervalos de uma hora: instante do início do ensaio - adicionar água até 1/3 altura do provete; ao fim de uma hora - adicionar água até 2/3 altura do provete; ao fim de duas horas - adicionar água até que se situe 25 ± 5 mm acima do topo do provete;
- 3) Avaliar a massa do provete saturado ao ar (m_1) e a massa hidrostática (m_2); considera-se o provete saturado quando a diferença entre as massas obtidas em duas pesagens consecutivas, intervaladas de, pelo menos, 24 h, for inferior a 0,1% da média das duas leituras;
- 4) Colocar o provete na estufa a 105 ± 5 °C para secagem até massa constante (m_3).

A absorção de água por imersão (em %) é calculada através da seguinte expressão:

$$A_i = \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \times 100$$

4.4.2.5. Resistividade eléctrica

A determinação da resistividade eléctrica do betão permite avaliar a sua capacidade de transportar carga eléctrica.

As duas faces opostas dos provetes (“bolachas” de 100 mm de diâmetro e 50 mm de espessura) são colocadas em contacto com eléctrodos. É aplicada uma determinada diferença de potencial, de modo a obter-se o valor da corrente eléctrica que atravessa o provete. Sabendo esse valor e as dimensões do provete, é possível determinar o valor da resistividade eléctrica.

O ensaio será realizado de acordo com a recomendação técnica RILEM TC 154-EMC (2003), com recurso aos seguintes equipamentos: duas placas de cobre, amperímetro, fonte de alimentação (Figura 4.27), máquina de serra capaz de cortar provetes, hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e esponjas (3 mm de espessura).

Na Figura 4.28, é apresentado o esquema de montagem do ensaio.



Figura 4.27 - Da esquerda para a direita: peso de 2 kg, placas de cobre, amperímetro e fonte de alimentação (Silva, 2013)

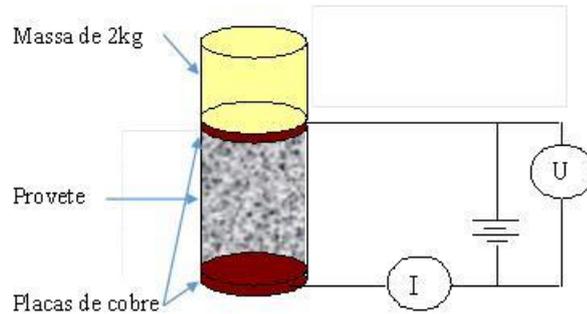


Figura 4.28 - Esquema de montagem do equipamento (adaptado de Silva, 2013)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Aos 7 dias de idade: corte de cilindros $\Phi 100 \times 250$ mm em provetes com $\Phi 100 \times 50$ mm e colocá-los novamente em cura húmida (100% de HR e 20 ± 2 °C);
- 2) 7 dias antes do ensaio, colocar os provetes na câmara de 50% de HR e 20 ± 2 °C;
- 3) Determinar o diâmetro (d) e o comprimento (L) do provete, aproximados a 0,01 mm, medidos com o auxílio de um paquímetro em três posições diferentes;
- 4) Colocar os provetes na câmara de vácuo, sujeitos, durante 3 h, a pressões entre 10 e 50 mbar;
- 5) Introduzir uma solução saturada de hidróxido de cálcio na câmara, sem desligar a bomba, até que os provetes estejam completamente cobertos;
- 6) Decorrida uma hora, desligar a bomba de vácuo, permanecendo os provetes em contacto com a solução de hidróxido de cálcio durante mais 18 ± 2 h, à pressão atmosférica;
- 7) Retirar os provetes da solução hidróxido de cálcio limpar o excesso de água;
- 8) Avaliar a resistividade das duas esponjas, acoplando-as (humedecidas em hidróxido de cálcio) entre as placas de cobre e aplicando um potencial eléctrico de 60V (U) (em corrente contínua); registar o valor da corrente eléctrica que atravessa o provete (I) e calcular a resistividade das esponjas, que não deverá ser superior a $100 \Omega.m$;
- 9) Acoplar o provete entre as placas de cobre, com o auxílio das duas esponjas (humedecidas em hidróxido de cálcio) e com uma massa de 2 kg a comprimir o conjunto;
- 10) Fixar os cabos de corrente que estão ligados à fonte de alimentação e ligar o amperímetro;

- 11) Através das placas de cobre situadas nos topos dos provetes, aplicar um potencial eléctrico de 60V (U) (em corrente contínua) e registar o valor da corrente eléctrica que atravessa o provete (I).

A resistividade eléctrica (em $\Omega.m$) é calculada através da seguinte expressão:

$$\rho = \frac{U}{I} \times \frac{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{L}$$

4.4.2.6. Resistência à penetração de cloretos

O ensaio tem como objectivo determinar a resistência do betão à penetração de iões cloreto. Os provetes são introduzidos num tubo de borracha, cujo interior é preenchido com uma solução anódica. O conjunto é depois introduzido num recipiente, contendo uma solução catódica, sendo aplicado um potencial eléctrico que força, por migração, o transporte dos iões cloreto através dos provetes. Terminado esse processo, o provete é quebrado e é medida a profundidade de penetração dos cloretos.

Para realizar o procedimento normativo, segundo a especificação LNEC E 463 (2004), é necessário o seguinte equipamento: exsiccador, bomba de vácuo capaz de albergar dois provetes (Figura 4.29), mangas de borracha de silicone, braçadeiras de aço inoxidável, reservatório plástico, fonte de alimentação (Figura 4.30), água destilada, cloreto de sódio (NaCl), hidróxido de sódio (NaOH), nitrato de prata ($AgNO_3$), craveira, balança de precisão de $\pm 0.1\%$ da massa a quantificar, escopo e marreta.



Figura 4.29 - Exsiccador e bomba de vácuo



Figura 4.30 - Fonte de alimentação (em cima) e reservatórios de plástico (em baixo)

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Após a realização do ensaio de resistividade eléctrica, colocar os provetes no equipamento de migração: acoplar o provete numa manga de borracha de modo a

conter a solução anódica; proceder à selagem do conjunto da manga de borracha com o provete, apertando-o mecanicamente, por intermédio de duas braçadeiras em aço inox;

- 2) Introduzir a solução anódica e catódica no equipamento de migração, de acordo com a Figura 4.31 e instalar uma corrente eléctrica contínua de 30 V;
- 3) Em seguida, por intermédio das placas de aço inox situadas nos topos dos prove-tes, aplicar um potencial eléctrico de 30 V, que força, por migração, o transporte dos iões cloreto através dos provetes;
- 4) Medir a intensidade de corrente que passa em cada contentor através de um mul-tímetro e proceder à correcção da voltagem, registando o valor absoluto da vol-tagem aplicada (U);
- 5) Medir a temperatura da solução anódica (hidróxido de sódio) (T_i), a temperatura da solução catódica (cloreto de sódio) e registar a hora de início do ensaio;
- 6) Após 24 h, medir a temperatura da solução anódica (T_f), a temperatura da solu-ção catódica, registar a hora e desmontar o ensaio;
- 7) Lavar os provetes com água e, com o auxílio de um escopro e um martelo, parti-los ao meio;
- 8) Sobre as superfícies fracturadas, aplicar uma solução de nitrato de prata e, com o auxílio de uma craveira, medir a profundidade de penetração dos iões cloreto (visível pelo precipitado branco de cloreto de prata).

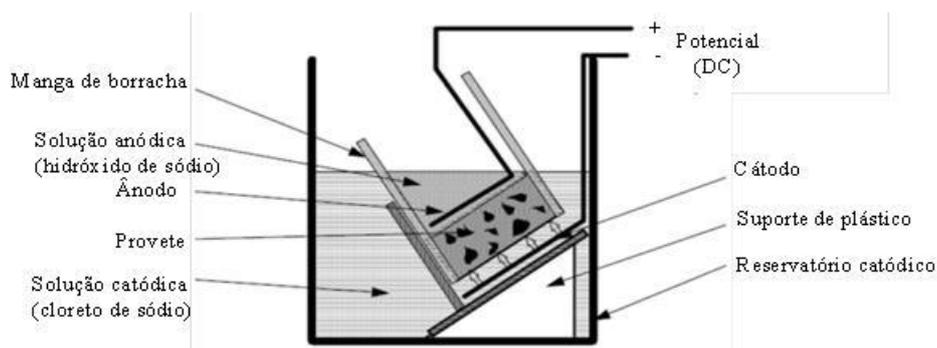


Figura 4.31 - Montagem do ensaio de migração de cloretos (LNEC, 2004)

O coeficiente de difusão de cloretos, em regime estacionário é calculado através da seguinte equação:

$$D_m = \frac{0,0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(x_d + 0,0238 \sqrt{\frac{(273+T)Lx_d}{U-2}} \right) [\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}]$$

Em que:

T - valor médio das temperaturas inicial e final da solução anódica: $T = \frac{T_i - T_f}{2}$ (°C);

x_d - valor médio da profundidade de penetração de cloretos (mm);

L - espessura do provete (mm);

t - duração do ensaio (horas).

4.4.2.7. Resistência à carbonatação

Este ensaio permite determinar a resistência do betão à penetração do dióxido de carbono. Os provetes são expostos a um ambiente rico em dióxido de carbono (câmara). Ao fim de um intervalo de tempo, o provete é retirado da câmara, é quebrado, as superfícies de fractura são pulverizadas com solução de fenolftaleína e é medida a profundidade de penetração do dióxido de carbono no interior do betão.

Para realizar o procedimento normativo, segundo a especificação LNEC E 391 (1993), é necessário o seguinte equipamento: câmara de carbonatação (Figura 4.32), máquina de serra capaz de cortar provetes, balança de precisão de $\pm 0.1\%$ da massa do provete, tinta epóxida, trincha, escopro, marreta, solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1% e craveira.



Figura 4.32 - Câmara de carbonatação

A execução do ensaio inclui o seguinte procedimento:

- 1) Aos 7 dias de idade: corte de cilindros $\Phi 100 \times 250$ mm em provetes com $\Phi 100 \times 40$ mm;
- 2) Imergir os provetes a ensaiar em água à temperatura de 20 ± 2 °C, durante os primeiros 14 dias;
- 3) Após 14 dias, colocar os provetes na câmara seca ($50 \pm 5\%$ de humidade relativa e 20 ± 2 °C de temperatura);
- 4) Após 21 dias, retirar os provetes da câmara seca e pintar os topos com uma tinta

isolante (de forma a que o acesso do CO₂ seja feito apenas pela superfície lateral); a 1ª demão é dada aos 21 dias, a 2ª demão aos 22 dias e, aos 24 dias, coloca-se novamente os provetes na câmara seca;

- 5) Aos 28 dias, colocar todos os provetes na câmara de carbonatação (após 7 dias, é realizado o 1º ensaio);
- 6) Nas datas de realização do ensaio, retirar os provetes da câmara e, com o auxílio de um escopro e um martelo, partir em quatro partes;
- 7) Com a solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1%, borrifar as oito superfícies fracturadas;
- 8) Medir com uma craveira a profundidade de carbonatação; em cada face do provete medir a profundidade média (d_k) e a profundidade máxima (d_{kmax}); na Figura 4.33, são apresentados os vários tipos de frente de carbonatação que podem surgir;
- 9) Em cada idade de realização dos ensaios, registar a humidade relativa (HR), a temperatura (T) e o teor de CO₂ na câmara de carbonatação (C_{CO2}).

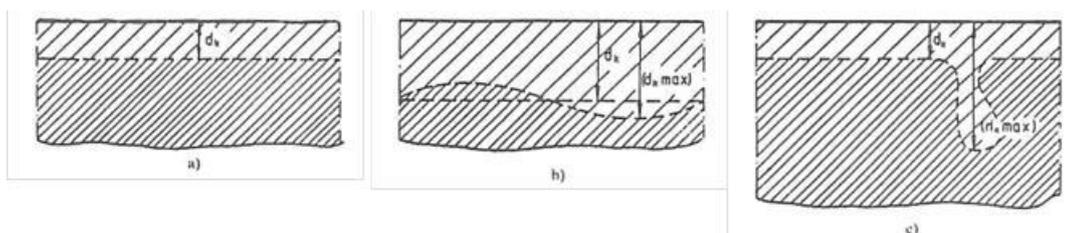


Figura 4.33 - Tipos de apresentação da frente de carbonatação (LNEC, 1993)

A resistência à carbonatação de cada referência de betão é determinada através da média da profundidade de carbonatação dos três provetes, sendo que a profundidade de carbonatação de cada provete é obtida através da média de oito leituras (p_c).

5. Bibliografia

APEB (Associação Portuguesa de Empresas de Betão Pronto) - Betão auto-compactável: guia para a especificação, produção e utilização, Lisboa, Portugal, APEB, 2007, 91 p.

ASTM C597-09 - Standard test method for pulse velocity through concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA., 2009, 4 p.

Bogas, J. - Caracterização de betões estruturais com agregados leves de argila expandida, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011, Volume I, 1338 p.

Cartuxo, P. - Betões com agregados finos provenientes da trituração do betão: Influência dos plastificantes no desempenho em termos de durabilidade, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013, 232 p.

Chlortest - Guideline for practical use of methods for testing the resistance of concrete to chloride ingress, EU-Project CHLORTEST, G6RD-CT-2002-00855, EU funded research Project under 5FP. GROWTH programme, document prepared by Tang Luping , SP Swedish National, Testing and Research Institute, Boras, Sweden, 2005, 271 p.

DIN 52108 - Testing of inorganic non-metallic materials - Wear test using the grinding wheel according to Böhme - Grinding wheel method, German, Deutsches Institut für Normung (DIN) the German Institute for Standardization, 2010

DURAR – Thematic network XV. B durability of rebars, Manual for inspecting, evaluating and diagnosing corrosion in reinforced concrete structures, CYTED, Ibero-American Program Science and Technology for Development, Subprogram XV, Corrosion/Environmental Impact on Materials, ISBN: 980-296-541-3, 2000, 204 p.

Franco R. M. C. - Optimização técnico-económica de betões auto-compactáveis, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2010, 138 p.

LNEC E 463 - Betões. Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2004, 8 p.

LNEC E 398 - Betões. Determinação da retracção e da expansão, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 399 - Betões. Determinação da fluência em compressão, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 391 - Betões. Determinação da resistência à carbonatação, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 397 - Betões. Determinação do módulo de elasticidade em compressão, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 392 - Betões. Determinação da permeabilidade ao oxigénio, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 3 p.

LNEC E 393 - Betões. Determinação da absorção de água por capilaridade, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

LNEC E 394 - Betões. Determinação da absorção de água por imersão, ensaio à pressão

atmosférica, Lisboa, Portugal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993, 2 p.

Liu M. - Wider application of additions in self-compacting concrete, PhD Thesis, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering University College London, London, UK, 2009, 392 p.

Nepomuceno M. C. S. - Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2005, 733 p.

NP EN 12390-3 - Ensaio do betão endurecido, Parte 3: Resistência à compressão de provetes, Lisboa, Portugal, IPQ, 2011, 21 p.

NP EN 12390-6 (Ed. 2) - Ensaio do betão endurecido, Parte 6: Resistência à tracção por compressão de provetes, Lisboa, Portugal, IPQ, 2011, 14 p.

NP EN 206-9 - Betão, Parte 9: Regras adicionais para betão auto-compactável (BAC), Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 35 p.

NP EN 12350-8 - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 8: Betão auto-compactável, Ensaio de espalhamento, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 12 p.

NP EN 12350-9 - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 9: Betão auto-compactável, Ensaio de escoamento no funil V, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 11 p.

NP EN 12350-10 - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 10: Betão auto-compactável, Ensaio de escoamento na caixa L, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 12 p.

NP EN 12350-11 - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 11: Betão auto-compactável, Ensaio de segregação no peneiro, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 12 p.

NP EN 12350-12 - Ensaio do betão no estado fresco, Parte 12: Betão auto-compactável, Ensaio de espalhamento no anel J, Lisboa, Portugal, IPQ, 2010, 14 p.

NP EN 12504-4 - Ensaio do betão nas estruturas, Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons, Lisboa, IPQ, 2007, 18 p.

Polder R. B. - Test methods for on-site measurement of resistivity of concrete, a RILEM TC 154-EMC: electrochemical techniques for measuring metallic corrosion, technical recommendation, Materials and Structures, Vol. 33, 2000, pp. 603-611.

Silva, P. - Avaliação da durabilidade de betões autocompactáveis (BAC), Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013, 390 p.

Weerdt K., Kjellsen K.O., Sellevold E.J., Justnes H. - Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements, Cement and Concrete Composites, Vol. 33, Issue 1, 2011, pp. 30-38.

Anexo I - Formulação das misturas

I.1. Materiais constituintes

São apresentados de seguida os materiais seleccionados na produção dos BAC em estudo, com incorporação de FC e CV em misturas ternárias:

- ◆ cimento Portland CEM I 42,5 R, certificado segundo a NP EN 197-1, da Secil;
- ◆ cinzas volantes (CV), segundo a NP EN 450-1, da central termoeléctrica de Sines;
- ◆ fíler calcário (FC), de acordo com a especificação LNEC E 466, da Parapedra;
- ◆ superplastificante de elevado desempenho, forte redutor de água para betão, de acordo com a NP EN 934-2, da Sika;
- ◆ areia fina (0/2) e areia grossa (0/4), de natureza siliciosa, de acordo com a NP EN 12620, da Soarvamil;
- ◆ brita 1 ($D_{\text{máx}} = 11,2$ mm) e brita 2 ($D_{\text{máx}} = 22,4$ mm), de acordo com a NP EN 12620, da José Marques Galo, S.A.;
- ◆ água potável da rede de abastecimento pública de Lisboa, de acordo com a NP EN 1008.

I.2. Estudo em betões

I.2.1. Quantidades de amassadura

De modo a calcular-se o volume total de cada mistura a betonar, é necessário definir os ensaios a realizar e a que idades. Assim, é possível definir a quantidade e tipo de proveites necessários à realização da campanha experimental e os respectivos moldes a utilizar. Na Tabela I.1, é apresentada toda a informação relativa aos ensaios que serão feitos aos betões em estado endurecido.

Da análise da tabela, pode-se concluir que o volume de betão necessário por amassadura é de 120 dm^3 , já considerando uma margem de 20% de perdas (realização dos vários ensaios no estado fresco, enchimento de moldes, etc.). Uma vez que a capacidade máxima da betoneira a utilizar é de 80 dm^3 , não é possível realizar toda a amassadura de uma só vez, pelo que o volume total será dividido em duas amassaduras de 60 dm^3 .

Estas amassaduras, apesar de terem exactamente as mesmas quantidades dos vários materiais na sua constituição, nunca serão exactamente iguais. Assim, serão feitos ensaios no estado fresco para ambas as amassaduras, com o objectivo de verificar se as diferenças são significativas e se as suas características no estado fresco são adequadas para um BAC.

Tabela I.1 - Provetes necessários para os ensaios de betão no estado endurecido

	Ensaio	Idade (dias)	Amostras	Formato	Dimensões (mm)	Volume unitário (dm ³)	Volume (dm ³)
Mecânicos	Resistência à compressão em cubos e diagramas de tensão-deformação	7	3	Cúbico	150x150x150	3,38	10,13
		29	3				10,13
		92	3				10,13
	Resistência à tracção por compressão diametral	29	2	Cilíndrico	Φ150x300	5,3	10,6
		92	2				10,6
	Módulo elasticidade secante	29	2	Cilíndrico	Φ150x300	5,3	10,6
		92	2				10,6
	Resistência à compressão em cilindros	A realizar após ensaio do módulo de elasticidade (às mesmas idades)					
	Retracção (idade conta a partir da desmoldagem)	0-182	2	Prisma	100x100x500	5	10
	Fluência (idade conta a partir dos 28 dias)	0-91	2	Prisma	100x100x500	5	10
Resistência à abrasão	93	2	Cúbico	100x100x100 Corte em 2 provetes 70x70x50	1	1	
Ultra-sons	A realizar antes de ensaiar os cubos à compressão (nas mesmas idades)						
Massa volúmica							
Durabilidade	Permeabilidade ao oxigénio	25	3	Bolachas	Φ150x50 2 moldes Φ150x300	5,3	10,6
		88	3				
		179	3				
	Absorção por capilaridade	29	Mesmos provetes usados no ensaio de permeabilidade ao oxigénio				
		92					
		183					
	Absorção por imersão	32	Mesmos provetes usados no ensaio de permeabilidade ao oxigénio				
		95					
		186					
	Resistividade eléctrica	Mesmos provetes usados no ensaio dos cloretos (às mesmas idades)					
Cloretos	29	2	Bolachas	Φ100x50	1,96	5,89	
	92	2					
	182	2					
Carbonatação (idade começa a contar aos 28 dias, altura em que é colocado na câmara de CO ₂)	7	2	Bolachas	3 moldes Φ100x250	1,96	5,89	
	28	2					
	56	2					
	91	1					
	182	1					
						Σ Volume total (dm³)	100,28
						x 20% desperdício (dm³)	120

I.2.2. Composição dos betões

O cálculo da composição dos betões é em tudo semelhante ao cálculo da composição das argamassas, que foi objecto do relatório da sub-tarefa anterior. Salienta-se o facto de se tomar o valor de $0,03 \text{ m}^3$ para o volume de vazios (V_v) e o valor de 1,82 para o “número de mistura” do método (MN).

Sabendo que $MN = \frac{V_p}{V_s} \times \frac{V_m}{V_g}$ e tendo em conta que o valor de V_p/V_s é fixado em 0,80 para todas as misturas, obtém-se $V_m/V_g=2,275$.

Definidos estes parâmetros adicionais, o cálculo processa-se de forma análoga ao cálculo da composição das argamassas. Determina-se ainda os seguintes valores:

- ♦ V_g , volume absoluto dos agregados grossos, em m^3/m^3 , dado por: $V_g = \frac{1-V_v}{1+\left(\frac{V_m}{V_g}\right)}$;
- ♦ $V_m = \left(\frac{V_m}{V_g}\right) \times V_g$.

Conhecendo todas as características dos materiais, é possível calcular as quantidades por unidade de volume, que são depois multiplicadas pelo volume total de amassadura (120 dm^3 para cada betão). Os cálculos das composições dos betões são apresentados na Tabela I.2 para o caso dos agregados de 45 MPa e na Tabela I.3 para os agregados de 65 MPa.

As quantidades totais de todos os materiais necessários para a realização de toda a campanha experimental, na fase de BAC, são apresentadas na Tabela I.4.

Tabela I.2 - Cálculo das quantidades de amassadura para as argamassas de 45 MPa

		Identificação do betão:		100% AN	25% AFR + 25% AGR	50% AFR + 50% AGR	0% AFR + 100% AGR	100% AFR + 0% AGR	
Parâmetros da composição		$D_{máx}$ [mm]	=	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	
		MN	=	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	
		V_m/V_g	=	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275	
		V_v [m ³]	=	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	
	Mistura de agregados:	Brita ₁	=	0,50	0,375	0,25	0	0,50	
		Brita ₂	=	0,50	0,375	0,25	0	0,50	
	AGR	=	0	0,25	0,50	1	0		
Cálculos auxiliares		ρ [kg/m ³]	=	2678,00	2678,00	2678,00	2678,00	2678,00	
	SIKAPLAST 898	V_{sp}/V_p [m ³ /m ³]	=	0,012514	0,012514	0,012514	0,012514	0,012514	
	Agregado grosso	V_g [m ³ /m ³]	=	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	
	Argamassa	V_n [m ³ /m ³]	=	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	
	Material fino	V_p [m ³ /m ³]	=	0,215104	0,215104	0,215104	0,215104	0,215104	
	Água	V_w [m ³ /m ³]	=	0,187141	0,187141	0,187141	0,187141	0,187141	
	Superplast.	V_{sp} [m ³ /m ³]	=	0,002692	0,002692	0,002692	0,002692	0,002692	
	Agregado fino	V_s [m ³ /m ³]	=	0,268880	0,268880	0,268880	0,268880	0,268880	
	V_s/V_m [m ³ /m ³]	=	0,399041	0,399041	0,399041	0,399041	0,399041		
Quantidades teóricas para 1 m ³		Cimento	[kg]	270,17	270,17	270,17	270,17	270,17	
	Adição	CV	[kg]	247,37	247,37	247,37	247,37	247,37	
		FC	[kg]	58,51	58,51	58,51	58,51	58,51	
		S _p	[Litros]	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	
		S _p	[kg]	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	
		Água	[Litros]	187,14	187,14	187,14	187,14	187,14	
		Areia ₀₂	[kg]	349,54	262,16	174,77	349,54	0	
		Areia ₀₄	[kg]	348,20	261,15	174,10	348,20	0	
		AFR	[kg]	0	166,71	333,41	0	666,82	
		Agregados Finos _{Total}	[kg]	697,74	690,01	682,28	697,74	666,82	
		Brita ₁	[kg]	405,77	304,33	202,89	0,00	405,77	
		Brita ₂	[kg]	399,85	299,89	199,92	0,00	399,85	
		AGR	[kg]	0	192,52	385,04	770,08	0	
	Volume Real	Adição	Cimento	[m ³]	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
			CV	[m ³]	0,108	0,108	0,108	0,108	0,108
			FC	[m ³]	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
			S _p	[m ³]	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
			Água	[m ³]	0,187	0,187	0,187	0,187	0,187
			Areia ₀₂	[m ³]	0,134	0,101	0,067	0,134	0
			Areia ₀₄	[m ³]	0,134	0,101	0,067	0,134	0
			AFR	[m ³]	0	0,067	0,134	0	0,269
			Brita ₁	[m ³]	0,148	0,111	0,074	0	0,148
			Brita ₂	[m ³]	0,148	0,111	0,074	0	0,148
			AGR	[m ³]	0	0,074	0,148	0,296	0
Total			=	1	1	1	1	1	
	W/C	=	0,693	0,693	0,693	0,693	0,693		
Correcção das quantidades de água e agregado		Humidade	[l/m ³]	0	0	0	0	0	
		Água de absorção naturais	[l/m ³]	6,34	4,75	3,17	2,79	3,55	
		Água de absorção ARF	[l/m ³]	0	19,73	39,46	0	78,91	
		Água de absorção ARG	[l/m ³]	0	3,50	7,00	14,00	0	
		Água total	[l/m ³]	193,48	215,12	236,77	203,93	269,60	
		Água de amassadura	[l/m ³]	193,48	215,12	236,77	203,93	269,60	
		Areia ₀₂	[kg]	348,15	261,11	174,07	348,15	0	
		Areia ₀₄	[kg]	346,81	260,11	173,40	346,81	0	
		ARF	[kg]	0	156,70	313,41	0	626,81	
		Brita ₁	[kg]	403,86	302,90	201,93	0	403,86	
		Brita ₂	[kg]	398,21	298,66	199,10	0	398,21	
		ARG	[kg]	0	188,29	376,59	753,17	0	
Quantidades para:	120 [Litros]	Cimento	[kg]	32,42	32,42	32,42	32,42	32,42	
	Adição	CV	[kg]	29,68	29,68	29,68	29,68	29,68	
		FC	[kg]	7,02	7,02	7,02	7,02	7,02	
		S _p [Litros]	=	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
		S _p [g]	=	345,6	345,6	345,6	345,6	345,6	
		Água [Litros]	=	23,22	25,81	28,41	24,47	32,35	
		Areia ₀₂	[kg]	41,78	31,33	20,89	41,78	0	
		Areia ₀₄	[kg]	41,62	31,21	20,81	41,62	0	
		ARF	[kg]	0	18,8	37,6	0	75,22	
		Brita ₁	[kg]	48,5	36,3	24,2	0	48,46	
	Brita ₂	[kg]	47,8	35,8	23,9	0	47,78		
	ARG	[kg]	0	22,6	45,2	90,38	0		

Tabela I.3 - Cálculo das quantidades de amassadura para as argamassas de 65 MPa

		Identificação do betão:		100% AN	25% AFR + 25% AGR	50% AFR + 50% AGR	0% AFR + 100% AGR	100% AFR + 0% AGR	
Parâmetros da composição		D_{max} [mm]	=	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	
		MIN	=	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	
		V_m/V_g	=	2,275	2,275	2,275	2,275	2,275	
		V_v [m ³]	=	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	
	Mistura de agregados:		Brita ₁	=	0,50	0,375	0,25	0	0,50
			Brita ₂	=	0,50	0,375	0,25	0	0,50
		AGR	=	0	0,25	0,50	1	0	
Cálculos auxiliares		\heartsuit [kg/m ³]	=	2867,00	2867,00	2867,00	2867,00	2867,00	
	SIKAPLAST 898	V_{sp}/V_p [m ³ /m ³]	=	0,017416	0,017416	0,017416	0,017416	0,017416	
	Agregado grosso	V_g [m ³ /m ³]	=	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	0,296183	
	Argamassa	V_m [m ³ /m ³]	=	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	0,673817	
	Material fino	V_p [m ³ /m ³]	=	0,214086	0,214086	0,214086	0,214086	0,214086	
	Água	V_w [m ³ /m ³]	=	0,188395	0,188395	0,188395	0,188395	0,188395	
	Superplast.	V_{sp} [m ³ /m ³]	=	0,003729	0,003729	0,003729	0,003729	0,003729	
	Agregado fino	V_s [m ³ /m ³]	=	0,267607	0,267607	0,267607	0,267607	0,267607	
		V_s/V_m [m ³ /m ³]	=	0,397151	0,397151	0,397151	0,397151	0,397151	
Quantidades teóricas para 1 m ³	Adição	Cimento	[kg]	436,95	436,95	436,95	436,95	436,95	
		CV	[kg]	147,72	147,72	147,72	147,72	147,72	
		FC	[kg]	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	
		S_p	[Litros]	3,73	3,73	3,73	3,73	3,73	
		S_p	[kg]	3,99	3,99	3,99	3,99	3,99	
		Água	[Litros]	188,40	188,40	188,40	188,40	188,40	
		Areia _{0/2}	[kg]	347,89	260,92	173,94	347,89	0	
		Areia _{0/4}	[kg]	346,55	259,91	173,28	346,55	0	
		AFR	[kg]	0	155,88	311,76	0	623,52	
		Agregados Finos _{Total}	[kg]	694,44	676,71	658,98	694,44	623,52	
	Brita ₁	[kg]	405,77	304,33	202,89	0,00	405,77		
		Brita ₂	[kg]	399,85	299,89	199,92	0,00	399,85	
		AGR	[kg]	0	184,37	368,75	737,50	0	
	Volume Real	Adição	Cimento	[m ³]	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139
			CV	[m ³]	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
			FC	[m ³]	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
			S_p	[m ³]	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
			Água	[m ³]	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188
			Areia _{0/2}	[m ³]	0,134	0,100	0,067	0,134	0
			Areia _{0/4}	[m ³]	0,134	0,100	0,067	0,134	0
			AFR	[m ³]	0	0,067	0,134	0	0,268
			Brita ₁	[m ³]	0,148	0,111	0,074	0	0,148
			Brita ₂	[m ³]	0,148	0,111	0,074	0	0,148
			AGR	[m ³]	0	0,074	0,148	0,296	0
			Total	=	1	1	1	1	1
			W/C	=	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431
			Correcção das quantidades de água e agregado		Humidade	[l/m ³]	0	0	0
	Água de absorção naturais	[l/m ³]		6,32	4,74	3,16	2,78	3,55	
	Água de absorção ARF	[l/m ³]		0	9,35	18,71	0	37,41	
	Água de absorção ARG	[l/m ³]		0	4,05	8,09	16,19	0	
	Água total	[l/m ³]		194,72	206,54	218,36	207,36	229,35	
	Água de amassadura	[l/m ³]		194,72	206,54	218,36	207,36	229,35	
	Areia _{0/2}	[kg]		346,50	259,87	173,25	346,50	0	
	Areia _{0/4}	[kg]		345,17	258,87	172,58	345,17	0	
	ARF	[kg]		0	146,53	293,06	0	586,11	
	Brita ₁	[kg]		403,86	302,90	201,93	0	403,86	
	Brita ₂	[kg]		398,21	298,66	199,10	0	398,21	
	ARG	[kg]	0	180,33	360,65	721,31	0		
Quantidades para:	120 [Litros]	Cimento	[kg]	52,43	52,43	52,43	52,43	52,43	
	Adição	CV	[kg]	17,73	17,73	17,73	17,73	17,73	
		FC	[kg]	3,49	3,49	3,49	3,49	3,49	
		S_p	[Litros]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
		S_p	[g]	478,8	478,8	478,8	478,8	478,8	
		Água	[Litros]	23,37	24,78	26,20	24,88	27,52	
		Areia _{0/2}	[kg]	41,58	31,18	20,79	41,58	0	
		Areia _{0/4}	[kg]	41,42	31,06	20,71	41,42	0	
		ARF	[kg]	0	17,6	35,2	0	70,33	
		Brita ₁	[kg]	48,5	36,3	24,2	0	48,46	
		Brita ₂	[kg]	47,8	35,8	23,9	0	47,78	
	ARG	[kg]	0	21,6	43,3	86,56	0		

Tabela I.4 - Quantidades totais de todos os materiais necessários

	Quantidades não majoradas	Quantidades majoradas (x1,5)
Cimento (kg)	548	710
Cinzas volantes (kg)	307	400
Fíler calcário (kg)	68	90
Areia 0/2 (kg)	540	705
Areia 0/4 (kg)	540	705
AR PF 45 (kg)	171	225
AR PF 65 (kg)	160	210
Superplastificante (l)	205	270
Água (l)	195	255

I.2.3. Quantidade de agregado reciclado por fracção granulométrica

A substituição de agregado natural por agregado reciclado será feita em massa por fracção granulométrica, sendo que o objectivo é reconstituir a curva granulométrica da mistura de areias e de britas. Esta análise é feita separadamente para finos e grossos, considerando-se que a última fracção de agregado fino é 4-5,6 mm.

Considera-se que a mistura é sempre feita na mesma proporção, ou seja, metade areia fina e metade areia grossa (no caso dos finos), e metade brita 1 e metade brita 2 (no caso dos grossos).

É ainda feita uma comparação da curva real da mistura de areias e de britas com as curvas de referência obtidas por Nepomuceno no seu trabalho, com o objectivo de verificar se não existem desvios significativos. O cálculo das curvas granulométricas é apresentado nas Tabelas I.5 e I.6, ilustrando-se nas Figuras I.1 e I.2 a proximidade entre as mesmas.

As quantidades de AR por fracção granulométrica, para cada amassadura, são obtidas efectuando-se para a curva da mistura o processo inverso ao utilizado para a obtenção das curvas granulométricas. Assim, partindo das percentagens de material acumulado passado fornecidas pela curva de referência de Nepomuceno, calcula-se as percentagens de material retido acumulado e, finalmente, as percentagens de material retido em cada peneiro. Multiplicando estas percentagens pela quantidade total de AR necessário para cada amassadura, obtém-se a quantidade de AR necessária por fracção granulométrica, apresentadas na Tabela I.7.

À água de amassadura prevista pelo método, foi necessário somar a água de absorção dos agregados reciclados, que é bastante superior à dos agregados naturais. Este valor foi obtido através do ensaio de absorção de água ao longo do tempo, tendo-se considerado para efeitos de cálculo o valor da absorção aos 10 minutos, por ser este o tempo

médio de duração de uma amassadura.

Tabela I.5 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência

PENEIROS		AREIA 0/2	AREIA 0/4	MISTURA DE AGREGADO			
SÉRIE	ABERT. [mm]	% Passado acumulado	% Passado acumulado	AREIA 0/2	AREIA 0/4	CURVA REAL	CURVA DE REFERÊNCIA
				0,50	0,50		
Base	63	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	45	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Base	31,5	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	22,4	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Base	16	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	11,2	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Base	8	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	5,6	100,00%	99,49%	50,00%	49,74%	99,74%	100,00%
Base	4	99,96%	98,21%	49,98%	49,10%	99,08%	99,96%
Base	2	99,95%	89,14%	49,97%	44,57%	94,54%	99,12%
Base	1	99,41%	59,37%	49,70%	29,69%	79,39%	90,81%
Base	0,5	80,69%	21,49%	40,34%	10,74%	51,09%	62,30%
Base	0,25	16,05%	3,54%	8,03%	1,77%	9,79%	21,05%
Base	0,125	0,31%	0,34%	0,16%	0,17%	0,33%	4,72%
Base	0,063	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,85%

Tabela I.6 - Curva granulométrica da mistura de britas e curva de referência

PENEIROS		BRITA 1	BRITA 2	MISTURA DE AGREGADO			
SÉRIE	ABERT. [mm]	% Passado acumulado	% Passado acumulado	BRITA 1	BRITA 2	CURVA REAL	CURVA DE REFERÊNCIA
				0,50	0,50		
Base	63	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	45	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
Base	31,5	100,00%	100,00%	50,00%	50,00%	100,00%	100,00%
1	22,4	100,00%	96,00%	50,00%	48,00%	98,00%	100,00%
Base	16	100,00%	52,00%	50,00%	26,00%	76,00%	100,00%
1	11,2	100,00%	27,00%	50,00%	13,50%	63,50%	100,00%
Base	8	39,00%	1,00%	19,50%	0,50%	20,00%	59,56%
1	5,6	12,00%	1,00%	6,00%	0,50%	6,50%	44,21%
Base	4	2,00%	1,00%	1,00%	0,50%	1,50%	26,36%
Base	2	1,00%	1,00%	0,50%	0,50%	1,00%	5,99%
Base	1	1,00%	1,00%	0,50%	0,50%	1,00%	2,24%
Base	0,5	1,00%	1,00%	0,50%	0,50%	1,00%	1,31%
Base	0,25	1,00%	1,00%	0,50%	0,50%	1,00%	0,79%
Base	0,125	1,00%	1,00%	0,50%	0,50%	1,00%	0,50%
Base	0,063	0,70%	0,50%	0,35%	0,25%	0,60%	0,28%

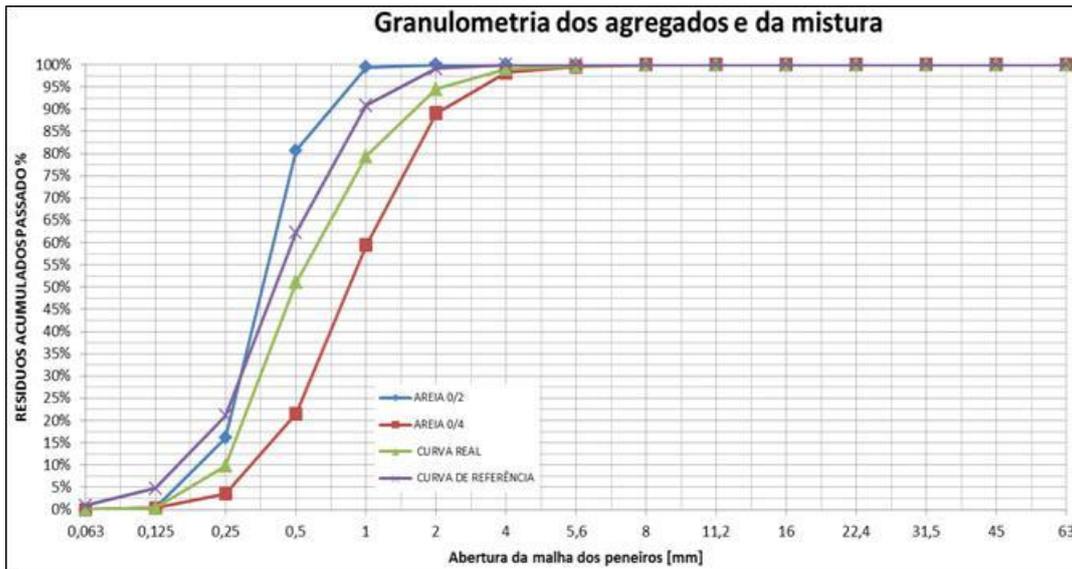


Figura I.1 - Curva granulométrica da mistura de areias e curva de referência

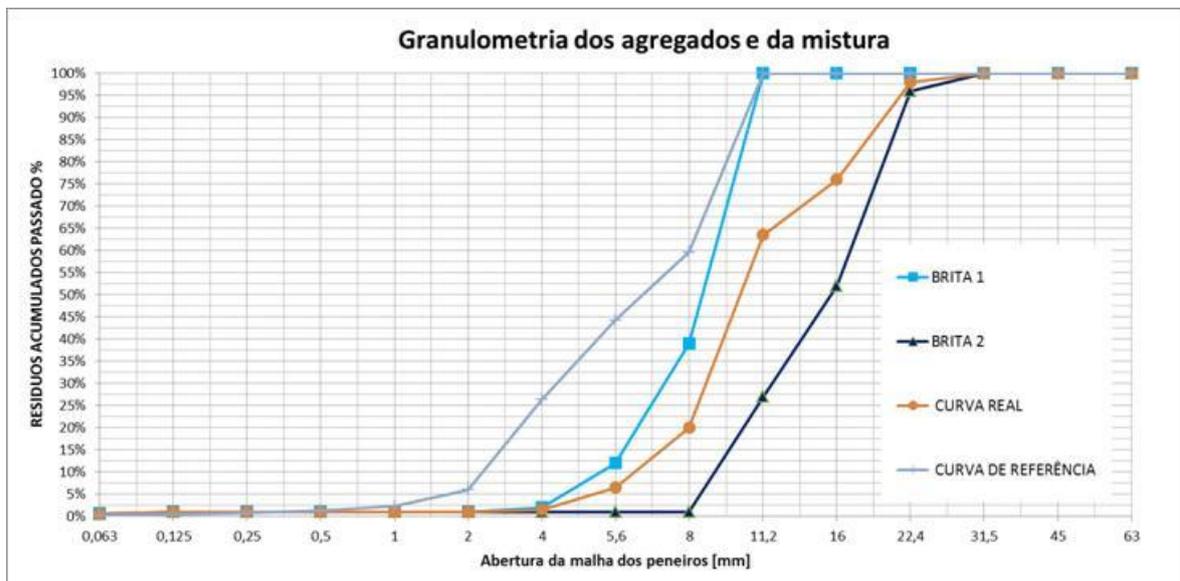


Figura I. 2 - Curva granulométrica da mistura de britas e curva de referência

Tabela I.7 - Quantidades totais de AR necessárias, por fracção

Fracção	Quantidades majoradas (x1,3)	
	PF 45 (kg)	PF 65 (kg)
16 a 22,4	65	62
11,2 a 16	34	32
8 a 11,2	118	111
5,6 a 8	54	51
4 a 5,6	2	2
2 a 4	10	10
1 a 2	34	32
0,500 a 1	64	60
0,250 a 0,500	93	87
0 a 0,250	22	21

Anexo II - Plano de betonagens detalhado correspondente à 3ª Fase

Neste anexo, é apresentado um plano detalhado de toda a campanha experimental, incluindo momentos de betonagem e todos os ensaios a serem realizados às duas famílias de betões (45 e 65 MPa). Para facilitar a leitura, apresenta-se separadamente a informação relativa à família de 65 MPa (Tabela II.1) e de 45 MPa (Tabela II.2).

Tabela II.1 - Plano de betonagens e ensaios para os betões de 65 MPa

Dia		Família PF 65				
		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	15-09-2014	Amassadura experimental (só ensaios no estado fresco)				
Terça	16-09-2014					
Quarta	17-09-2014					
Quinta	18-09-2014					
Sexta	19-09-2014					
Sábado	20-09-2014					
Domingo	21-09-2014					
Segunda	22-09-2014					
Terça	23-09-2014					
Quarta	24-09-2014					
Quinta	25-09-2014					
Sexta	26-09-2014	Pesagens para betonagem				
Sábado	27-09-2014					
Domingo	28-09-2014					
Segunda	29-09-2014	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250)				
Terça	30-09-2014	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida				
Quarta	01-10-2014					
Quinta	02-10-2014					
Sexta	03-10-2014					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sábado	04-10-2014					
Domingo	05-10-2014					
Segunda	06-10-2014	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Corte dos provetes				
Terça	07-10-2014	Colocar provetes da permeabili- dade ao oxigénio na estufa a 40 °C				
Quarta	08-10-2014					
Quinta	09-10-2014					
Sexta	10-10-2014	Embrulhar provetes da permeabi- lidade ao oxigénio em película e colocar na estufa a 40°C	Pesagens para betonagem			
Sábado	11-10-2014					
Domingo	12-10-2014					
Segunda	13-10-2014	Colocar provetes da carbonata- ção na câmara seca	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250)	Pesagens para betonagem		
Terça	14-10-2014		Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250)		
Quarta	15-10-2014			Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida		
Quinta	16-10-2014					
Sexta	17-10-2014				Pesagens para betonagem	
Sábado	18-10-2014					
Domingo	19-10-2014					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	20-10-2014	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Ensaaios (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Corte dos provetes	Cortes dos provetes	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250)	Pesagens para betonagem
Terça	21-10-2014	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão)	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C	Ensaaios (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250)
Quarta	22-10-2014					Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida
Quinta	23-10-2014	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C				
Sexta	24-10-2014	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Pesagens para betonagem	Embrulhar provetes da permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa a 40°C	Embrulhar provetes da permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa a 40°C		
Sábado	25-10-2014					
Domingo	26-10-2014					
Segunda	27-10-2014	Betonagem. Moldes: 4 prismas (100x100x500) Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Pesagens para betonagem	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca	Ensaaios (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Cortes dos provetes	Cortes dos provetes

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Terça	28-10-2014	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara seca e iniciar o ensaio de retracção Ensaio (29 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos	Betonagem. Moldes: 4 prismas (100x100x500)	Pesagens para betonagem	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C
Quarta	29-10-2014	Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara seca e iniciar o ensaio de retracção	Betonagem. Moldes: 4 prismas (100x100x500)	Pesagens para betonagem	
Quinta	30-10-2014	Medir retracção	Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara seca e iniciar o ensaio de retracção	Betonagem. Moldes: 4 prismas (100x100x500)	Pesagens para betonagem
Sexta	31-10-2014	Medir retracção Ensaio de absorção de água por imersão	Medir retracção	Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara seca e iniciar o ensaio de retracção Embrulhar provetes da permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa a 40°C	Betonagem. Moldes: 4 prismas (100x100x500) Embrulhar provetes da permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa a 40°C
Sábado	01-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar todos os provetes na câmara seca e iniciar o ensaio de retracção
Domingo	02-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	03-11-2014	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂) Medir retracção	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca Medir retracção	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção
Terça	04-11-2014	Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Quarta	05-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Quinta	06-11-2014	Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Sexta	07-11-2014	Medir retracção	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Sábado	08-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Domingo	09-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Segunda	10-11-2014	Medir retracção	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos Medir retracção	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Medir retracção	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca Medir retracção	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Medir retracção

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Terça	11-11-2014	Medir retracção	Ensaio (29 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção	Ensaio (28 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca Medir retracção
Quarta	12-11-2014		Medir retracção	Ensaio (29 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Quinta	13-11-2014			Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C Medir retracção
Sexta	14-11-2014		Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção
Sábado	15-11-2014					
Domingo	16-11-2014					
Segunda	17-11-2014		Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Terça	18-11-2014	Medir retracção			Ensaio (29 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos	Ensaio (28 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos
Quarta	19-11-2014					Ensaio (29 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos
Quinta	20-11-2014					
Sexta	21-11-2014	Preparação dos provetes para o ensaio de fluência (capeamento)	Preparação dos provetes para o ensaio de fluência (capeamento)	Preparação dos provetes para o ensaio de fluência (capeamento)	Preparação dos provetes para o ensaio de fluência (capeamento) Ensaio de absorção de água por imersão Medir retracção	Preparação dos provetes para o ensaio de fluência (capeamento) Ensaio de absorção de água por imersão Medir retracção
Sábado	22-11-2014					
Domingo	23-11-2014					
Segunda	24-11-2014	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)			Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	25-11-2014	Medir retracção				
Quarta	26-11-2014					
Quinta	27-11-2014					
Sexta	28-11-2014	Iniciar o ensaio da fluência (primeira medição) Medir retracção	Iniciar o ensaio da fluência (primeira medição) Medir retracção	Iniciar o ensaio da fluência (primeira medição) Medir retracção	Iniciar o ensaio da fluência (primeira medição) Medir retracção	Medir retracção Iniciar o ensaio da fluência (primeira medição) Medir retracção

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sábado	29-11-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Domingo	30-11-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Segunda	01-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Terça	02-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Quarta	03-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Quinta	04-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sexta	05-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sábado	06-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Domingo	07-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Segunda	08-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)	Medir retracção e fluência Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Terça	09-12-2014	Medir retracção e fluência Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Quarta	10-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Quinta	11-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sexta	12-12-2014	Medir retracção e fluência Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sábado	13-12-2014					
Domingo	14-12-2014					
Segunda	15-12-2014				Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	16-12-2014					
Quarta	17-12-2014					
Quinta	18-12-2014					
Sexta	19-12-2014	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sábado	20-12-2014					
Domingo	21-12-2014					
Segunda	22-12-2014	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂) Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca				
Terça	23-12-2014		Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C		
Quarta	24-12-2014	Colocar provetes do ensaio de resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C				
Quinta	25-12-2014	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C				
Sexta	26-12-2014	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção e fluência Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sábado	27-12-2014					
Domingo	28-12-2014					
Segunda	29-12-2014	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos				

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Terça	30-12-2014	Ensaio (92 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compres- são em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistivi- dade eléctrica e resistência à penetração de cloretos			Colocar provetes da permeabilida- de ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C	Colocar provetes da permea- bilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C
Quarta	31-12-2014	Ensaio de resistência à abrasão				
Quinta	01-01-2015					
Sexta	02-01-2015	Medir retracção e fluência Ensaio de absorção de água por imersão	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência Embru- lhar provetes do ensaio de permea- bilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção e fluência Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C
Sábado	03-01-2015					
Domingo	04-01-2015					
Segunda	05-01-2015		Ensaio de resistência à carbo- natação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂) Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e clore- tos na câmara seca	Ensaio de resistência à carbo- natação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂)		
Terça	06-01-2015			Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e clore- tos na câmara seca		
Quarta	07-01-2015		Colocar provetes do ensaio de resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C	Colocar provetes do ensaio de resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C		

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Quinta	08-01-2015		Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C		
Sexta	09-01-2015	Medir retracção e fluência	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção e fluência	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sábado	10-01-2015					
Domingo	11-01-2015					
Segunda	12-01-2015		Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂) Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	13-01-2015		Ensaio (92 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos	Ensaio (91 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos		Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca
Quarta	14-01-2015		Ensaio de resistência à abrasão	Ensaio de resistência à abrasão Ensaio (92 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos	Colocar os provetes do ensaio de resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C	Colocar os provetes do ensaio de resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C
Quinta	15-01-2015				Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sexta	16-01-2015	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência Ensaio de absorção de água por imersão	Medir retracção e fluência Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção e fluência	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio Medir retracção e fluência
Sábado	17-01-2015					
Domingo	18-01-2015					
Segunda	19-01-2015				Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão)
Terça	20-01-2015				Ensaio (92 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos	Ensaio (91 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos
Quarta	21-01-2015				Ensaio de resistência à abrasão	Ensaio de resistência à abrasão Ensaio (92 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos
Quinta	22-01-2015					
Sexta	23-01-2015	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência Ensaio de absorção de água por imersão	Medir retracção e fluência Ensaio de absorção de água por imersão
Sábado	24-01-2015					
Domingo	25-01-2015					
Segunda	26-01-2015	Ensaio de resistência à carbonatação: provete nº 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)				

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Terça	27-01-2015					
Quarta	28-01-2015					
Quinta	29-01-2015					
Sexta	30-01-2015	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sábado	31-01-2015					
Domingo	01-02-2015					
Segunda	02-02-2015					
Terça	03-02-2015					
Quarta	04-02-2015					
Quinta	05-02-2015					
Sexta	06-02-2015	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência		
Sábado	07-02-2015					
Domingo	08-02-2015					
Segunda	09-02-2015		Ensaio de resistência à carbonatação: provete n° 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provete n° 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)		
Terça	10-02-2015					
Quarta	11-02-2015					
Quinta	12-02-2015					
Sexta	13-02-2015					
Sábado	14-02-2015					
Domingo	15-02-2015					
Segunda	16-02-2015				Ensaio de resistência à carbonatação: provete n° 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provete n° 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	17-02-2015					
Quarta	18-02-2015					
Quinta	19-02-2015					
Sexta	20-02-2015	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência	Medir retracção e fluência
Sábado	21-02-2015					
Domingo	22-02-2015					
Segunda	23-02-2015					
Terça	24-02-2015					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Quarta	25-02-2015					
Quinta	26-02-2015					
Sexta	27-02-2015	Medir retracção e fluência (fim do ensaio de fluência)	Medir retracção e fluência (fim do ensaio de fluência)	Medir retracção e fluência (fim do ensaio de fluência)	Medir retracção e fluência (fim do ensaio de fluência)	Medir retracção e fluência (fim do ensaio de fluência)
Sábado	28-02-2015					
Domingo	01-03-2015					
Segunda	02-03-2015					
Terça	03-03-2015					
Quarta	04-03-2015					
Quinta	05-03-2015					
Sexta	06-03-2015	Medir retracção				
Sábado	07-03-2015					
Domingo	08-03-2015					
Segunda	09-03-2015					
Terça	10-03-2015					
Quarta	11-03-2015					
Quinta	12-03-2015					
Sexta	13-03-2015	Medir retracção				

Tabela II.2 - Plano de betonagens e ensaios para os betões de 45 MPa

Dia		Família PF 45				
		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	03-11-2014	Amassadura experimental (só ensaios no estado fresco) Pesagens para betonagem	Secagem de agregado (PF 45) reciclado e peneiração			
Terça	04-11-2014	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250) 2 prismas (100x100x500)				
Quarta	05-11-2014	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida, excepto os 2 prismas (colocar na câmara seca) Iniciar o ensaio de retracção	Secagem de agregado (PF 45) reciclado e peneiração			
Quinta	06-11-2014	Medir retracção				
Sexta	07-11-2014	Medir retracção	Pesagens para betonagem			
Sábado	08-11-2014	Medir retracção				
Domingo	09-11-2014	Medir retracção				
Segunda	10-11-2014	Cortes dos provetes Medir retracção	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250) 2 prismas (100x100x500)	Pesagens para betonagem		
Terça	11-11-2014	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida, excepto os 2 prismas (colocar na câmara seca) Iniciar o ensaio de retracção	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250) 2 prismas (100x100x500)		

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Quarta	12-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida, excepto os 2 prismas (colocar na câmara seca) Iniciar o ensaio de retracção		
Quinta	13-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção		
Sexta	14-11-2014	Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventitada a 40 °C Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Pesagens para betonagem	
Sábado	15-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção		
Domingo	16-11-2014	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção		
Segunda	17-11-2014	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Cortes dos provetes Medir retracção	Cortes dos provetes Medir retracção	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250) 2 prismas (100x100x500)	Pesagens para betonagem
Terça	18-11-2014	Medir retracção	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C Medir retracção	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida, excepto os 2 prismas (colocar na câmara seca) Iniciar o ensaio de retracção	Betonagem. Moldes: 9 cubos (150x150x150) 1 cubo (100x100x100) 10 cilindros (Φ150x300) 3 cilindros (Φ100x250) 2 prismas (100x100x500)
Quarta	19-11-2014		Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Desmoldar, identificar e colocar provetes na câmara húmida, excepto os 2 prismas (colocar na câmara seca) Iniciar o ensaio de retracção
Quinta	20-11-2014		Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sexta	21-11-2014		Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C Medir retracção	Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Sábado	22-11-2014		Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Domingo	23-11-2014		Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Segunda	24-11-2014	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão)	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Cortes dos provetes Medir retracção	Cortes dos provetes Medir retracção
Terça	25-11-2014	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca Medir retracção	Medir retracção		Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C Medir retracção	Ensaio (7 dias): Massa volúmica, ultra-sons e resistência à compressão em cubos Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio na estufa a 40 °C Medir retracção
Quarta	26-11-2014			Medir retracção	Medir retracção	Medir retracção
Quinta	27-11-2014	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C			Medir retracção	Medir retracção
Sexta	28-11-2014	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio			Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C Medir retracção	Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C Medir retracção
Sábado	29-11-2014				Medir retracção	Medir retracção
Domingo	30-11-2014				Medir retracção	Medir retracção

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	01-12-2014	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão)	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Medir retracção
Terça	02-12-2014	Ensaio (28 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Medir retracção	
Quarta	03-12-2014	Ensaio (29 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	04-12-2014		Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C		
Sexta	05-12-2014	Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio		
Sábado	06-12-2014					
Domingo	07-12-2014					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	08-12-2014	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Retirar provetes da carbonatação da câmara seca e pintar (1ª demão)
Terça	09-12-2014		Ensaio (29 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção	Ensaio (28 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Medir retracção	Pintar provetes da carbonatação (2ª demão) Colocar provetes nº 1 e 2 da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca
Quarta	10-12-2014	Medir retracção		Ensaio (29 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção		Medir retracção
Quinta	11-12-2014				Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C	Colocar provetes da carbonatação na câmara seca Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C
Sexta	12-12-2014		Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio
Sábado	13-12-2014					
Domingo	14-12-2014					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	15-12-2014		Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂ Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Colocar provetes da carbonatação na câmara de CO ₂
Terça	16-12-2014		Medir retracção		Ensaio (29 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção	Ensaio (28 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos
Quarta	17-12-2014	Medir retracção		Medir retracção		Ensaio (29 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção
Quinta	18-12-2014					
Sexta	19-12-2014				Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de absorção de água por imersão
Sábado	20-12-2014					
Domingo	21-12-2014					
Segunda	22-12-2014				Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 1 e 2 (7 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	23-12-2014		Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	24-12-2014	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	25-12-2014					
Sexta	26-12-2014					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sábado	27-12-2014					
Domingo	28-12-2014					
Segunda	29-12-2014	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)				
Terça	30-12-2014		Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	31-12-2014	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	01-01-2015					
Sexta	02-01-2015					
Sábado	03-01-2015					
Domingo	04-01-2015					
Segunda	05-01-2015		Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)		
Terça	06-01-2015		Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	07-01-2015	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	08-01-2015					
Sexta	09-01-2015					
Sábado	10-01-2015					
Domingo	11-01-2015					
Segunda	12-01-2015				Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 3 e 4 (28 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	13-01-2015	Colocar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	14-01-2015	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	15-01-2015					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sexta	16-01-2015	Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C				
Sábado	17-01-2015					
Domingo	18-01-2015					
Segunda	19-01-2015					
Terça	20-01-2015		Colocar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C Medir retracção	Colocar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C	Medir retracção	
Quarta	21-01-2015	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	22-01-2015					
Sexta	23-01-2015		Embrulhar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C	Embrulhar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C		
Sábado	24-01-2015					
Domingo	25-01-2015					
Segunda	26-01-2015	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂)				
Terça	27-01-2015	Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Medir retracção		Colocar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C Medir retracção	Colocar os provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio na estufa ventilada a 40 °C
Quarta	28-01-2015	Colocar os provetes da resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	29-01-2015	Colocar os provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C				

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Sexta	30-01-2015	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio			Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C	Embrulhar provetes do ensaio de permeabilidade ao oxigénio em película e colocar na estufa ventilada a 40 °C
Sábado	31-01-2015					
Domingo	01-02-2015					
Segunda	02-02-2015	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂) Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂)		
Terça	03-02-2015	Ensaio de absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Medir retracção	Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Medir retracção	
Quarta	04-02-2015	Ensaio (92 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção	Colocar os provetes da resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C	Colocar os provetes da resistência à abrasão na estufa ventilada: 110 ± 5 °C Medir retracção		Medir retracção
Quinta	05-02-2015	Ensaio de resistência à abrasão	Colocar os provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C	Colocar os provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C		
Sexta	06-02-2015	Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio		
Sábado	07-02-2015					
Domingo	08-02-2015					

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Segunda	09-02-2015		Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão)	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂) Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca	Ensaio de resistência à carbonatação: provetes nº 5 e 6 (56 dias após estar na câmara de CO ₂)
Terça	10-02-2015		Ensaio (92 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos, absorção de água por capilaridade Medir retracção	Ensaio (91 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Medir retracção	Colocar provetes (nº 3 e 4) da resistividade eléctrica e cloretos na câmara seca
Quarta	11-02-2015	Medir retracção	Ensaio de resistência à abrasão	Ensaio de resistência à abrasão Ensaio (92 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção	Colocar provetes da resistência à abrasão na estufa ventilada: $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Colocar provetes da resistência à abrasão na estufa ventilada: $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ Medir retracção
Quinta	12-02-2015				Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C	Colocar provetes da permeabilidade ao oxigénio a 20°C
Sexta	13-02-2015		Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio
Sábado	14-02-2015					
Domingo	15-02-2015					
Segunda	16-02-2015				Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão) Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos	Ensaio de permeabilidade ao oxigénio (conclusão)

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Terça	17-02-2015		Medir retracção		Ensaio (92 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos, absorção de água por capilaridade Medir retracção	Ensaio (91 dias): Massa volúmica, ultra-sons, resistência à compressão em cubos, módulo de elasticidade, resistência à tracção e compressão em cilindros, absorção de água por capilaridade Condicionamento dos provetes da resistividade eléctrica e cloretos
Quarta	18-02-2015	Medir retracção		Medir retracção	Ensaio de resistência à abrasão	Ensaio de resistência à abrasão Ensaio (92 dias): Resistividade eléctrica e resistência à penetração de cloretos Medir retracção
Quinta	19-02-2015					
Sexta	20-02-2015				Ensaio de absorção de água por imersão	Ensaio de absorção de água por imersão
Sábado	21-02-2015					
Domingo	22-02-2015					
Segunda	23-02-2015					
Terça	24-02-2015		Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	25-02-2015	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	26-02-2015					
Sexta	27-02-2015					
Sábado	28-02-2015					
Domingo	01-03-2015					
Segunda	02-03-2015	Ensaio de resistência à carbonatação: provete nº 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)				
Terça	03-03-2015		Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	04-03-2015	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção

Dia		100 AN	25+25 AR	50+50 AR	0+100 AR	100+0 AR
Quinta	05-03-2015					
Sexta	06-03-2015					
Sábado	07-03-2015					
Domingo	08-03-2015					
Segunda	09-03-2015		Ensaio de resistência à carbonatação: provete nº 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provete nº 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)		
Terça	10-03-2015		Medir retracção		Medir retracção	
Quarta	11-03-2015	Medir retracção		Medir retracção		Medir retracção
Quinta	12-03-2015					
Sexta	13-03-2015					
Sábado	14-03-2015					
Domingo	15-03-2015					
Segunda	16-03-2015				Ensaio de resistência à carbonatação: provete nº 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)	Ensaio de resistência à carbonatação: provete nº 7 (91 dias após estar na câmara de CO ₂)

Lisboa, 31 de Outubro de 2014

Autores

Tiago Barroqueiro
Bolseiro de Investigação

Sara Santos
Aluna de Mestrado

Jorge de Brito
Professor Catedrático

Pedro Silva
Professor Adjunto