



UNIVERSIDADE DO MINHO

ESCOLA DE ENGENHARIA

ALEXANDRE ROCHA

QUALIDADE DE BETÃO ARMADO

GUIMARÃES

JUNHO DE 2018

UNIVERSIDADE DO MINHO

ESCOLA DE ENGENHARIA

ALEXANDRE ROCHA

QUALIDADE DE BETÃO ARMADO

Apontamentos realizados em conjunto com o Professor Doutor José Luís Barroso de Aguiar, sobre a temática de qualidade de betão armado, a luz das normas portuguesas vigentes.

GUIMARÃES

JUNHO DE 2018

RESUMO

Notoriamente, a indústria da construção civil encontra-se em constante avanço tecnológico, restando necessário o acompanhamento da conformidade às exigências, bem como devida adequação ao uso.

O betão ainda é o principal material de construção utilizado na atualidade, e ainda que existam muitos conceitos bem consolidados sobre o assunto, as exigências normativas estão constantemente evoluindo, gerando a necessidade de adequação aos procedimentos normativos pertinentes à temática.

Desta forma, objetivando uma análise a respeito do desempenho e qualidade são apresentadas considerações sobre a origem do betão, seus tipos, modos de fabricação e vida útil, sendo realizados apontamentos sobre procedimentos a serem seguidos, balizados por meio de normas aplicáveis à temática, desenvolvidas para determinarem os procedimentos a serem adotados para o betão, desde sua dosagem, produção, execução e pega.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 QUALIDADE	1
1.2 BETÃO.....	2
2 - MARCAÇÃO CE	4
2.1 MARCAÇÃO CE NOS PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO	5
2.1.1. BASE PARA MARCAÇÃO CE	6
2.1.2. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO.....	8
3 - QUALIDADE DOS CONSTITUINTES	9
3.1 CIMENTOS	11
3.1.1. REQUISITOS MECÂNICOS, FÍSICOS, QUÍMICOS E DE DURABILIDADE	13
3.2 AGREGADOS.....	15
3.2.1. REQUISITOS GEOMÉTRICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS	16
3.3 ÁGUA	18
3.4 ADJUVANTES E ADIÇÕES.....	22
3.4.1. ADJUVANTES.....	22
3.4.2. ADIÇÕES	23
4 - COMPOSIÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO	23
4.1 COMPOSIÇÃO DO BETÃO	23
4.2 ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO	24
5 - EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO	27
5.1 GESTÃO DA EXECUÇÃO.....	29
5.1.1 DOCUMENTAÇÃO	29
5.1.2 VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE.....	30
5.1.3 CASO DE NÃO CONFORMIDADE.....	34
5.2 BETONAGEM	34
5.3 PROTEÇÃO E CURA.....	38
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Betão Simples (I) e Betão Armado (II) [5]	3
Figura 3.1 – Constituintes do Betão	10
Figura 3.2 – Agregados fino(I e II) e grosso(III e IV), naturais(I e III) e reciclados(II e IV)..	15

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Características e diferenças RPC x DPC [8]	5
Quadro 2.2 – Publicação dos títulos e das referências das normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União [9]	6
Quadro 2.3 – Tarefas do Fabricante (F) e dos Organismos Notificados (ON) [7].....	8
Quadro 3.1 – Os 27 tipos de cimentos correntes NP EN 197-1 2012 [12]	12
Quadro 3.2 – Requisitos mecânicos expressos como valores característicos especificados pela NP EN 197-1 [12]	13
Quadro 3.3 – Requisitos químicos expressos como valores característicos especificados pela NP EN 197-1 [12]	14
Quadro 3.4 – Organograma dos ensaios para avaliar a conformidade da água de amassadura para betão [15].....	19
Quadro 3.5 – Requisitos de desempenho para tipos específicos de adjuvantes [16]	22
Quadro 5.1 – Guia para seleção de Classe de Execução [17]	30
Quadro 5.2 – Inspeção de Materiais e Produtos [17]	32
Quadro 5.3 – Inspeção das operações anteriores à betonagem [17].....	35
Quadro 5.4 – Inspeção da produção de betão [17]	35
Quadro 5.5 – Inspeção da colocação e da compactação [17].....	35
Quadro 5.6 – Inspeção da proteção e cura [17].....	36
Quadro 5.7 – Inspeção das operações pós betonagem [17].....	37
Quadro 5.8 – Inspeção do betão fresco [17].....	37
Quadro 5.9 – Classes de cura [17].....	39
Quadro 5.10 – Classes de cura a utilizar [17]	39
Quadro 5.11 – Período mínimo de cura para as classes de cura 2, 3 e 4 [17].....	39



1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o conceito de qualidade, quando aplicado ao material mais utilizado na construção civil ao redor do mundo – o betão armado. Trazendo considerações sobre a sua origem, tipos, modos de fabricação e vida útil, apresentando procedimentos a serem seguidos, balizados por meio de normas aplicáveis à temática, desenvolvidas para determinarem os procedimentos a serem adotados para o betão, desde sua dosagem, produção, execução e pega.

Como betão é o principal material de construção utilizado na atualidade, existem muitos conceitos sobre o assunto que estão bem consolidados, o que permite que este trabalho, a partir de uma pesquisa bibliográfica, faça apontamentos sobre principais quesitos a serem observados quando se tem por objetivo um esclarecimento acerca da qualidade do material.

1.1 QUALIDADE

“Qualidade é a adequação ao uso. É a conformidade às exigências” [1]. Esta é a definição técnica estabelecida pela ISO - *International Organization for Standardization*, organização não-governamental idealizada em 1946, quando 65 delegações, de 25 países, se reuniram no Instituto de Engenharia Civil de Londres, para discutir o futuro da Padronização Internacional. A partir daí, no ano de 1947, em Genebra a ISO começou oficialmente a existir, contando com 67 comitês técnicos, estando presente atualmente em cerca de 160 países e contando com 779 comitês e subcomitês. De acordo com a organização, a ISO constitui uma rede global dos principais normalizadores do mundo, atuando em diversos países e reunindo especialistas que representam todos os setores imagináveis, tendo como função promover a normalização de produtos e serviços, para que a qualidade dos mesmos seja permanentemente melhorada. Contudo, quando falamos de qualidade, pode ser interessante render-se a definições mais abrangentes. “Qualidade tem a ver, primordialmente, com o processo pelo qual os produtos ou serviços são materializados. Se o processo for bem realizado, um bom produto final advirá naturalmente. A Qualidade reside no que se faz – aliás – em tudo o que se faz – e não apenas no que se tem como consequência disso” [2]. Desta forma, identifica-se a importância de todos os processos desenvolvidos até a obtenção do produto ou serviço pretendido, ressaltando a ideia

de que se todos os processos e etapas forem desenvolvidos com qualidade, o produto final terá qualidade.

Vale ressaltar alguns pontos sobre o conceito de qualidade, dentre eles a existência de: qualidade extrínseca - aquela que cada pessoa ou cliente imagina ou percebe subjetivamente no produto/serviço; qualidade intrínseca - aquela inerente ao produto, que existe objetiva e concretamente e que pode ser avaliada e mensurada através da comparação com padrões e especificações [3]. Desta forma, neste trabalho considerado o conceito de qualidade intrínseca.

Considerando que para a obtenção de produtos e serviços de qualidade se fazem necessários processos e etapas desenvolvidos com considerável qualidade, muitas medidas de normalização para controlo de conformidade dos produtos e processos foram criadas em vários países, buscando atingir padrões de excelência em processos e produtos, sendo estes produtos finais ou mesmo produtos componentes. De acordo com o IPQ – Instituto Português de Qualidade, “A vida seria muito difícil sem normas. O que aconteceria se, por exemplo, não existissem normas sobre produtos de construção, material elétrico ou sobre segurança de equipamentos? A título de exemplo sem dimensões normalizadas de contentores de carga, o comércio internacional seria mais lento e caro” [4]. Qualquer norma é considerada uma referência idónea do mercado a que se destina, sendo por isso usada em processos de legislação, de acreditação, de certificação, de metrologia, de informação técnica e de relações comerciais Cliente – Fornecedor.

Dentro do processo de normalização, criadas e adotadas em países, no que diz respeito à conformidade dos produtos, pode-se destacar a Marcação CE, utilizada por fabricantes de produtos, que ao afixarem a marcação em seu produto, declaram a conformidade desse produto para com todos os requisitos legais necessários à obtenção da marcação.

1.2 BETÃO

O betão é o componente mais utilizado para as construções ao redor do mundo, sendo um elemento heterogêneo proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água, podendo ser acrescido de outros aditivos. Quando misturados, esses elementos recebem o nome de mistura e formam uma liga que poderá ser moldada, assumindo em diferentes formas e possuindo diversas aplicações.

A preparação do betão pode ser feita manualmente ou em betoneiras no próprio canteiro de obras (in situ), como também pode ser preparado em centrais doseadoras, ou seja, em usinas centrais de betão, o que faz com que o betão receba a nomenclatura de betão usinado ou pré-misturado.

Quando o betão é utilizado como material estrutural recebe a denominação de betão estrutural que pode ser de três tipos diferentes: betão simples sem qualquer tipo de armadura; betão armado quando há uma armadura passiva (não pré-tracionada); e betão protendido quando há uma armadura que é ativa (pré-tracionada). [5]

No momento em que se acrescentam as barras de armadura em uma cofragem, ao betão simples é adicionada uma armadura de aço e o mesmo passa a ser conhecido como betão armado. Tratando-se de betão armado, o material apresenta ganhos consideráveis, quando comparado ao betão simples, principalmente no que diz respeito à resistência final do elemento estrutural. Tais ganhos são referentes principalmente na resistência à tração, e de forma similar aos esforços combinados de flexão e torção, uma vez que o betão simples apresenta baixa resistência à tração, enquanto o aço apresenta relativa alta resistência ao esforço de tração.

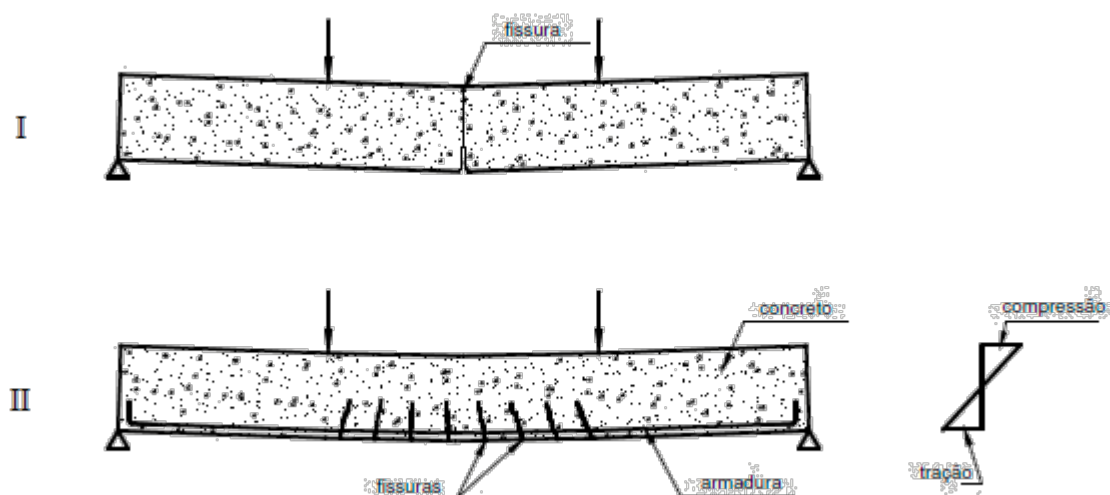


Figura 1.1 – Betão Simples (I) e Betão Armado (II) [5]

A estrutura de betão possui uma vida útil na qual a estrutura é capaz de desempenhar as funções para qual foi projetada, havendo diversos fatores que acabam por interferir nessa vida útil, e por isso ela deve ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo. Embora o betão seja um composto rígido, alguns problemas

podem ser observados com a corrosão, as trincas e fissuras que são frequentes nas construções, podendo até levar ao colapso do elemento estrutural.

2 - MARCAÇÃO CE

Representada pelo símbolo contendo as letras “CE”, cuja aposição tem de seguir determinadas regras e apresenta um grafismo determinado em acorção com o Regulamento CE nº 765/2008, a marcação CE indica a conformidade de um produto com a legislação harmonizada da União Europeia que se aplique a esse produto. Os produtos e equipamentos abrangidos pelas diretivas ou regulamentos a seguir indicadas, para poderem ser comercializados nos países da União Europeia, Noruega, Islândia e Liechtenstein, e na Turquia em certos casos, deverão ter a marcação CE.

A marcação CE consiste na evidência dada pelo fabricante de que os produtos estão conformes com os requisitos estabelecidos em diretivas ou regulamentos baseados na técnica legislativa da "Nova Abordagem", permitindo-lhes a sua livre circulação no Espaço Económico Europeu (EEE). Os procedimentos de avaliação da conformidade dos produtos com os requisitos essenciais estabelecidos nas diretivas e regulamentos, através do uso de normas harmonizadas ou outras especificações técnicas, visam garantir que os produtos colocados no mercado estão de acordo com as exigências expressas nas diretivas e regulamentos, nomeadamente no que concerne à saúde e segurança dos utilizadores e consumidores e à proteção ambiental. [6]

Quando, como fabricante, apõe-se a marcação CE a um produto, tal significa que está a garantir que o desempenho do produto que está a vender é o mesmo do que está a declarar e que tal desempenho foi obtido utilizando a especificação técnica europeia adequada. Desta maneira, a marcação deve esta ser aposta antes do produto ser colocado no mercado e ser seguida do número de identificação do organismo notificado, no caso de este intervir na fase de controlo de produção.

No que diz respeito sobre a avaliação da conformidade de um produto, trata-se de um processo conduzido pelo fabricante, com a finalidade de demonstrar que o produto cumpre os requisitos previstos na legislação harmonizada específica. A avaliação da conformidade do produto deve ser realizada durante as fases de conceção e produção.



Em regra, para que um produto possa ser colocado no mercado terá de ser submetido a avaliação em ambas as fases e ter resultados positivos. Se for o caso, podem ser aplicados um ou vários módulos, devendo as diretivas e regulamentos aplicáveis estabelecer a gama de opções possíveis tendo em conta o tipo de produto e os riscos associados. [6]

2.1 MARCAÇÃO CE NOS PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO

De acordo com a Comissão Europeia, o valor acrescentado a partir da utilização da Marcação CE nos produtos de construção é o livre comércio entre todos os países da EU, uma vez que os mesmos devem permitir a venda de produtos de construção que a ostentam. Tal significa que as autoridades públicas não podem exigir quaisquer outras marcas ou certificados e, muito menos, ensaios adicionais. Por conseguinte, pode comercializar o seu produto em qualquer país do mercado interno europeu recorrendo à mesma documentação, algo que é válido também para os distribuidores do seu produto. Isto, juntamente com a Declaração de Desempenho, ajudará também os seus clientes e utilizadores finais a comprovar o desempenho do produto e a compará-lo com o de outros produtos no âmbito da mesma abordagem técnica. [7]

No âmbito dos produtos para a construção, a marcação CE rege-se atualmente pelo Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011, correntemente designado por RPC - Regulamento dos Produtos de Construção, cuja plena entrada em vigor ocorreu no dia 1 de julho de 2013, revogando a Diretiva n.º 89/106/CEE do Conselho, de 21 de dezembro de 1988, conhecida como DPC - Diretiva dos Produtos de Construção, que regia anteriormente a referida marcação. O Quadro 2.1 destaca algumas das principais diferenças entre o RPC e a antiga DPC.

Quadro 2.1 – Características e diferenças RPC x DPC [8]

Item	Regulamento dos Produtos de Construção - RPC	Diretiva dos Produtos de Construção - DPC
Sistemas de avaliação	Sistemas de avaliação da conformidade (5): 1+; 1; 2+; 3; 4	Sistemas de avaliação e verificação do desempenho (6): 1+; 1; 2+; 2; 3; 4

Base para marcação CE	Declaração de desempenho (pelo fabricante, conforme modelo Anexo do Regulamento)	Declaração de conformidade (pelo fabricante). Nos sistemas 1+, 1, 2+ e 2, emitida com base em Certificado de Conformidade do Produto ou do Controlo de Produção emitida por entidade certificada
Exigências das obras de construção em função das quais os produtos são objeto de marcação CE	Requisitos básicos das obras (7): 1. Resistência mecânica e estabilidade 2. Segurança contra incêndio 3. Higiene, saúde e ambiente 4. Segurança e acessibilidade na utilização 5. Proteção contra o ruído 6. Economia de energia e isolamento térmico 7. Utilização sustentável dos recursos naturais	Exigências essenciais das obras (6): 1. Resistência mecânica e estabilidade 2. Segurança contra incêndio 3. Higiene, saúde e ambiente 4. Segurança na utilização 5. Proteção contra o ruído 6. Economia de energia e isolamento térmico
Marcação CE efetuada com base em	- Norma harmonizada - Documento de Avaliação Europeu (DAE)	- Norma harmonizada - Aprovação Técnica Europeia (ATE)

2.1.1. BASE PARA MARCAÇÃO CE

A aposição da marcação CE nos produtos de construção, deve ocorrer de acordo com as especificações técnicas previstas no RPC, com as quais se torna possível a partir da utilização de normas harmonizadas ou de documentos de avaliação europeus (DAE).

De acordo com a Comissão Europeia, embora seja obrigatória para a maioria dos produtos de construção, para saber se a marcação CE é obrigatória para um produto específico, o primeiro passo consiste em consultar o Jornal Oficial da União Europeia - JOUE e procurar a última atualização da publicação dos títulos e das referências das normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União [7], onde poderá ser encontrado quadro tal qual Quadro 2.2 que segue.

Quadro 2.2 – Publicação dos títulos e das referências das normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União [9]

OEN	Referência e título da norma harmonizada (e documento de referência)	Referência da norma revogada e substituída	Data de entrada em aplicação da norma enquanto norma harmonizada	Data final do período de coexistência
-----	--	--	--	---------------------------------------



CEN	EN 1504-2:2004 Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão — Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade — Parte 2: Sistemas de proteção superficial do betão		1.9.2005	1.1.2009
CEN	EN 12794:2005 +A1:2007 Produtos prefabricados de betão — Estacas para fundações	EN 12794:2005	1.2.2008	1.2.2009
	EN 12794:2005 +A1:2007/AC:2008		1.8.2009	1.8.2009

A lista pode conter dois tipos de referências: novas normas harmonizadas e revisões de normas.

- **NOVAS NORMAS HARMONIZADAS:** Para as novas normas, a coluna referente a “Referência de norma revogada e substituída” estará vazia. Se o seu produto for abrangido pelo âmbito de aplicação de uma destas normas, a marcação CE é voluntária durante o período de coexistência e obrigatória a partir do final desse período. Deve então confrontar o seu produto com os títulos das normas disponíveis para ver se é abrangido por alguma delas.
- **REVISÕES DE NORMAS:** Quando a coluna referente a “Referência de norma revogada e substituída” não está vazia, a marcação CE dos produtos abrangidos pelas normas harmonizadas continua a ser obrigatória. Durante o período de coexistência, pode escolher qual das versões utilizar, a revogada e substituída ou a nova versão, mas após a data final do período de coexistência, só pode ser utilizada a versão revista. Isto permite-lhe adaptar-se a quaisquer alterações na avaliação do seu produto e/ou na declaração de desempenho.

No caso de um produto não ter obrigatoriedade da aposição da marcação CE, ou seja, não estar contido na lista da publicação dos títulos e das referências das normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União, o mesmo poderá receber a marcação CE desde que o produto seja abrangido por um dos Documentos de Avaliação Europeus (DAE) existente.

Caso o produto esteja incluído no âmbito de aplicação de um dos DAE existentes, poderá ser solicitado a um Organismo de Avaliação Técnica (OAT), a avaliação do produto a fim de que lhe possa ser aposta a marcação CE.

No caso de o produto ou de a utilização prevista não se inserir no âmbito de aplicação de qualquer um dos DAE, pode ser solicitada a um OAT que elabore um novo Documento de Avaliação Europeu o qual enquadre o produto em questão. [7]

Em alguns casos, mesmo que o produto e a sua utilização prevista estejam incluídos no âmbito de aplicação de uma norma harmonizada, enquanto fabricante, não é obrigado a apor a marcação CE ao seu produto. As exceções são casos em que o produto é **fabricado individualmente ou por medida para determinada utilização** ou em que o fabrico do produto tem de respeitar **processos tradicionais para garantir a conservação de obras oficialmente protegidas** (património / obras históricas, etc.). Quando se pretender utilizar uma destas exceções, é altamente aconselhável assegurar-se de que elas são indubitavelmente aplicáveis ao produto, caso contrário, pode ter problemas com as autoridades de fiscalização do mercado. [7]

2.1.2. SISTEMAS DE AVALIAÇÃO

A avaliação do produto é feita através da definição do seu desempenho, assente numa lista de características, denominadas características essenciais. A lista pode ser diferente para cada utilização prevista e, no caso de produtos com mais do que uma utilização prevista, deve abranger as características associadas a cada uma delas. A lista inclui igualmente o sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (sistema de AVR) para cada característica essencial.

Depois de ter a lista das características essenciais relevantes para o produto, devem ser verificados os procedimentos que tem de seguir para declarar o desempenho de cada característica essencial, tais como métodos de ensaio, valores tabelados, etc. O sistema de AVR aplicável a cada característica essencial exigirá, em alguns casos, que um Organismo Notificado efetue algumas tarefas adicionais. No Quadro 2.3 que segue, são apresentadas as tarefas do fabricante e as dos Organismos Notificados.

Quadro 2.3 – Tarefas do Fabricante (F) e dos Organismos Notificados (ON) [7]

Sistema de AVR	1+	1	2+	3	4
Controlo da produção em fábrica (CPF)	F	F	F	F	F
Ensaio adicional de amostras colhidas pelo fabricante	F	F	F		



Avaliação do desempenho	ON	ON	F	ON	F
Inspeção inicial (unidade fabril e CPF)	ON	ON	ON		
Acompanhamento, apreciação e avaliação contínua do CPF	ON	ON	ON		
Auditoria – ensaio aleatório de amostras colhidas pelo Organismo Notificado	ON				

Ressalta-se que em todos os sistemas, os procedimentos incluem uma declaração de desempenho emitida pelo fabricante, a qual tem por base um certificado de regularidade do desempenho do produto emitido por um organismo notificado em dois dos sistemas (sistemas 1+ e 1) e um certificado de conformidade do controlo interno da produção emitido também por um organismo notificado no sistema 2+. [10]

3 - QUALIDADE DOS CONSTITUINTES

Considerando a ideia de que se todos os processos e etapas de um determinado processo ou produto são desenvolvidos com qualidade, o produto final também terá qualidade, para tratar sobre a qualidade do betão armado se faz necessário ter atenção no que diz respeito à qualidade dos constituintes do betão.

O betão é um aglomerado composto por aglomerante (**cimento**), **agregados e água**, com a possibilidade de ter a incorporação de **adjuvantes e adições**. Através da hidratação do cimento é que são desenvolvidas as suas propriedades, tal como a condução da massa ao endurecimento, tornando-se um material rígido contendo aglomerados todos os materiais a ele agregados. Podemos considerar que o betão não é mais do que uma argamassa em que aparece mais um material agregado, de dimensões superiores às da areia. [10]

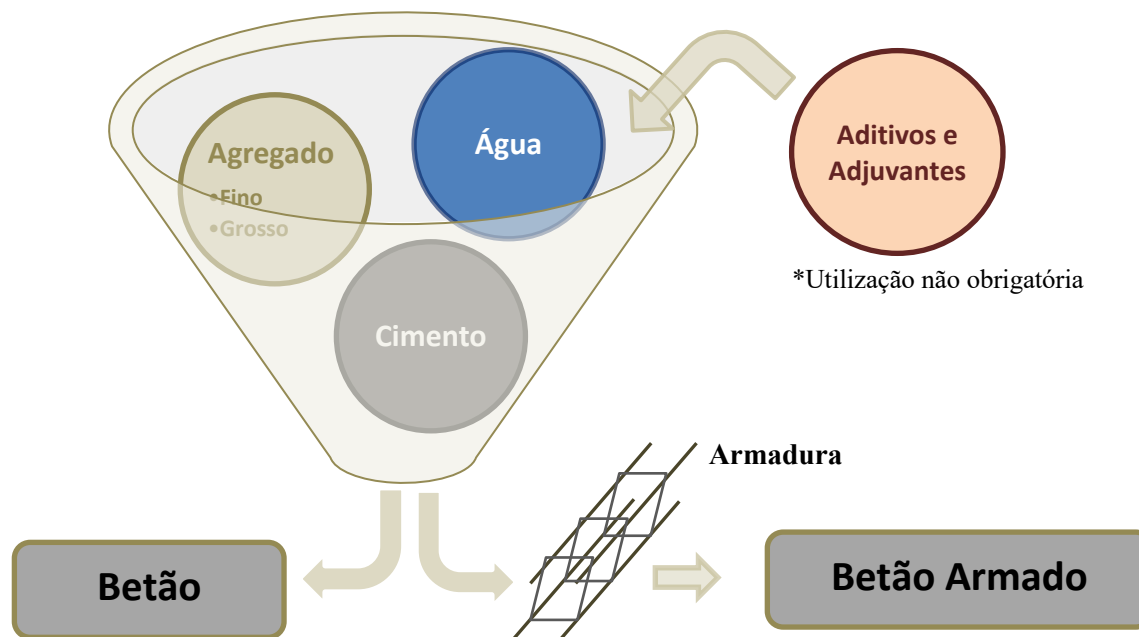


Figura 3.1 – Constituintes do Betão

Os materiais constituintes do betão armado não devem conter substâncias nocivas em quantidades que possam ser prejudiciais à durabilidade do mesmo, ou ainda que possam causar corrosão das armaduras, devendo ser adequados ao uso previsto.

Só devem ser utilizados no betão, de acordo com a norma portuguesa NP EN 206-1 de 2007 [11] constituintes cuja aptidão para a aplicação específica se encontre estabelecida. Quando a aptidão geral de um material como constituinte do betão se encontrar estabelecida, tal não implica aptidão em todas as situações e em todas as composições do betão.

Ainda de acordo com a norma, o controlo da conformidade inclui o conjunto de ações e decisões a serem implementadas de acordo com as regras de conformidade previamente adotadas, para verificar a conformidade do betão com as especificações. O controlo da conformidade é uma parte integrante do controlo da produção, ao qual todo betão deve ser sujeito, sob responsabilidade do produtor. Além do controlo da conformidade, o controlo da produção compreende todas as medidas necessárias para manter as propriedades do betão em conformidade com os requisitos especificados, incluindo:

- Seleção de materiais;
- Formulação do betão;



- Produção do betão;
- Inspeções e ensaios;
- Utilização dos resultados dos ensaios efetuados sobre os materiais constituintes, o betão fresco e endurecido e o equipamento;
- Inspeção do equipamento usado no transporte do betão fresco, quando relevante.

3.1 CIMENTOS

De acordo com a NP EN 197-1 de 2012 [12], norma responsável por regulamentar a composição, as especificações e os critérios de conformidade para cimentos correntes, o cimento é um ligante hidráulico, ou seja, um material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água forma uma pasta que faz presa e endurece devido a reações e processos de hidratação e que, depois do endurecimento, conserva a sua resistência mecânica e estabilidade mesmo debaixo de água.

Sendo o mais comumente utilizado, o cimento Portland foi descoberto em finais do século XVIII, tendo sido registrado por Apsdin, porém naquela altura não foi revelado o processo de fabrico deste cimento, principalmente a temperatura de cozedura e as proporções exatas de calcário e de argila. Já em 1845, Johnson encontrou o valor adequado dessa temperatura e das proporções da mistura e as revelou.

Para além do cimento Portland, a NP EN 197-1 de 2012 [12] apresenta um total de 27 cimentos correntes que podem ser utilizados em construção civil. Os cimentos estão divididos em 5 tipos principais, sendo o CEM I - Cimento Portland, o CEM II – Cimento Portland Composto, CEM III – Cimento de alto-forno, CEM IV – Cimento Pozolânico e o CEM V – Cimento Composto, sendo o CEM I o único a não incluir, na sua composição, para além do Clinquer Portland, outros produtos, geralmente resíduos industriais.

Dentre os vários tipos de cimentos correntes apresentados no Quadro 3.1, pode-se referir que os cimentos CEM III e CEM IV são mais resistentes a meios agressivos, como água do mar e ambientes industriais com níveis elevados de sulfatos e nitratos. No entanto, apresentam uma desvantagem em relação aos cimentos CEM I e CEM II que é o seu endurecimento ser mais

lento. Assim, conduzem a um retardamento na descofragem das peças e na sua colocação em serviço. [10]

Quadro 3.1 – Os 27 tipos de cimentos correntes NP EN 197-1 2012 [12]

Tipos principais	Notação dos 27 produtos (tipos de cimento corrente)		Composição (percentagem em massa ^a)											Constituintes adicionais minoritários
			Constituintes principais											
			Clinker	Escória de alto forno	Sílica de fumo	Pozolana		Cinza volante		Xisto cozido	Calcário			
						natural	natural calcinada	siliciosa	calcária					
			K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL		
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de escória	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cimento Portland de sílica de fumo	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/A-P		80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de pozolana	CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de cinza volante	CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de xisto cozido	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de calcário	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cimento Portland composto ^c	CEM II/A-M	80-88	<----- 12-20 ----->										0-5
		CEM II/B-M	65-79	<----- 21-35 ----->										0-5
	CEM III	Cimento de alto-forno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM III/B			20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM III/C			5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cimento pozolânico	CEM IV/A	65-89	-	<----- 11-35 ----->					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<----- 36-55 ----->					-	-	-	0-5	
CEM V	Cimento composto ^c	CEM V/A	40-64	18-30	-	<----- 18-30 ----->			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-49	-	<----- 31-49 ----->			-	-	-	-	0-5	

^{a)} Os valores do Quadro referem-se à soma dos constituintes principais e dos adicionais minoritários.

^{b)} A incorporação de sílica de fumo é limitada a 10 %.

^{c)} Nos cimentos Portland compostos CEM II/A-M e CEM II/B-M, nos cimentos pozolânicos CEM IV/A e CEM IV/B e nos cimentos compostos CEM V/A e CEM V/B os constituintes principais, além do Clinker, devem ser declarados na designação do cimento (como exemplo, ver secção 8).



3.1.1. REQUISITOS MECÂNICOS, FÍSICOS, QUÍMICOS E DE DURABILIDADE

A NP EN 197-1 de 2012 [12] contempla uma série de critérios para que possa ser avaliada a conformidade dos cimentos quanto aos requisitos mecânicos, físicos, químicos e de durabilidade.

No que diz respeito aos requisitos mecânicos dos cimentos, toma-se por referência a resistência à compressão aos 28 dias, conforme indicação da NP EN 196-1 de 2006 – “Métodos de ensaio de cimentos, Parte 1: Determinação das resistências mecânicas”, devendo os cimentos respeitarem as três classes de resistência apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 3.2 – Requisitos mecânicos expressos como valores característicos especificados pela NP EN 197-1 [12]

CLASSE DE RESISTÊNCIA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	RESISTÊNCIA INICIAL		RESISTÊNCIA DE REFERÊNCIA	
	AOS 2 D	AOS 7 D	AOS 28 D	
32,5 L ^a	-	≥ 12,5	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 N	-	≥ 16,0		
32,5 R	≥ 10,0	-		
42,5 L ^a	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 N	≥ 10,0	-		
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 L ^a	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-
52,5 N	≥ 20,0	-		
52,5 R	≥ 30,0	-		

^a Classe de resistência definida apenas para os cimentos CEM III

De maneira singular, os cimentos das classes 32,5 e 42,5 são adequados para obras correntes. Os cimentos da classe 52,5 são adequados para obras onde se exige elevada resistência mecânica, tais como pontes de grande vão, e em elementos pré-fabricados, por atingirem em menos tempo, resistências mecânicas mais elevadas que os das outras classes.

Quanto aos requisitos físicos temos o tempo de início de presa e a expansibilidade, determinados de acordo com a NP EN 196-3 de 2009 [13]. Para o tempo de início de presa os requisitos são especificados como valores característicos não inferiores a 75 min, 60 min e 45 min, respetivamente para os cimentos das classes de resistência 32,5, 42,5 e 52,5. A expansibilidade tem como requisito um valor característico não superior a 10 mm, para todas as classes de resistência.

Relativamente aos requisitos químicos, as propriedades dos cimentos, do tipo de cimento e da classe de resistência indicados respetivamente nas colunas 3 e 4 do Quadro 3.3, devem estar conformes com os requisitos indicados na coluna 5 do mesmo, quando determinadas de acordo com a norma a ser utilizada (coluna 2).

Quadro 3.3 – Requisitos químicos expressos como valores característicos especificados pela NP EN 197-1 [12]

1 Propriedade	2 Método de ensaio	3 Tipo de cimento	4 Classe de resistência	5 Requisitos ^a
Perda ao fogo	EN 196-2	CEM I CEM III	Todas	□ 5,0 %
Resíduo insolúvel	EN 196-2 ^b	CEM I CEM III	Todas	□ 5,0 %
Teor de sulfatos (em SO ₃)	EN 196-2*	CEM I CEM II ^c CEM IV CEM V	32,5 N	□ 3,5 %
			32,5 R	
			42,5 N	□ 4,0 %
			42,5 R	
			52,5 N	
			52,5 R	
		CEM III ^d	Todas	
Teor de cloretos	EN 196-2*	Todos ^e	Todas	□ 0,10 % ^f
Pozolanicidade	EN 196-5*	CEM IV	Todas	Satisfaz

^{a)} Os requisitos são indicados em percentagem da massa do cimento como produto final.

^{b)} A determinação do resíduo insolúvel é em ácido clorídrico e carbonato de sódio.

^{c)} O cimento tipo CEM II/B-T e CEM II/B-M com percentagem de xisto cozido > 20 % poderá conter até 4,5 % de sulfatos (SO₃) em todas as classes de resistência.

^{d)} O tipo de cimento CEM III/C poderá conter até 4,5 % de sulfatos.

^{e)} O tipo de cimento CEM III poderá conter mais do que 0,10 % de cloretos, mas neste caso o teor máximo de cloretos deve ser referido na embalagem ou na guia de remessa.

^{f)} Para aplicações em betão pré-esforçado, os cimentos poderão ser produzidos para satisfazer um valor inferior. Se assim for, o valor de 0,10 % deve ser substituído por este valor inferior, o qual deve ser indicado na guia de remessa.

A escolha do cimento tem influência decisiva na durabilidade do betão e das argamassas, principalmente em condições ambientais mais severas. Destacam-se propriedades relacionadas com o tipo do cimento tais como: resistência ao gelo, resistência a ataques químicos, proteção das armaduras.

Depois de se estabelecerem os requisitos torna-se necessário avaliar a conformidade na base de ensaios pontuais. As propriedades, os métodos de ensaio e as frequências mínimas de ensaio para o ensaio de autocontrolo do fabricante são especificados e podem ser consultados na NP

EN 197-1 de 2012 [12]. A conformidade dos cimentos deve ser formulada em termos de um critério estatístico, que deve ser realizada pelo fabricante. O cimento é considerado conforme quando todos os requisitos para as propriedades mecânicas, físicas e químicas forem satisfatórios frente a todos os critérios de conformidade especificados também na Norma.

3.2 AGREGADOS

Por definição presente na NP EN 12620 de 2010 [14], os agregados são materiais granulares utilizados na construção, e que podem ser de origem natural, artificial ou reciclada. O agregado natural é aquele de origem mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico, ao contrario do agregado artificial, que embora também seja de origem mineral, é resultante de um processo industrial compreendendo modificações, seja térmica ou de qualquer outro tipo. Já o agregado reciclado é resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção, independente da origem anterior do material (Figura 3.2). Os agregados podem também designar-se por finos, quando a dimensão superior das partículas (D) ≤ 4 mm, ou grossos, quando dimensão superior das partículas (D) ≥ 4 mm e a dimensão inferior das partículas (d) ≥ 2 mm.

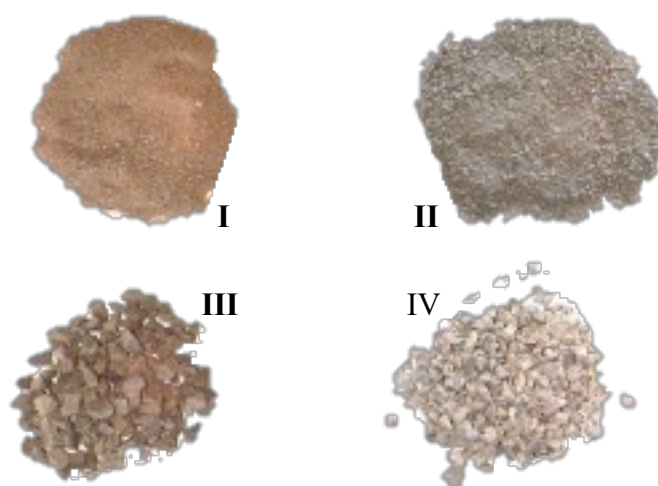


Figura 3.2 – Agregados fino(I e II) e grosso(III e IV), naturais(I e III) e reciclados(II e IV)

Os agregados podem ainda designar-se por normais, leves ou pesados. Os agregados normais têm massa volúmica compreendida entre 2000 e 3000 kg/m³. Os agregados leves apresentam massa volúmica menor ou igual que 2000 kg/m³ ou uma baridade menor ou igual que 1200 kg/m³. Os agregados pesados têm massa volúmica maior ou igual que 3000 kg/m³. [10]

3.2.1. REQUISITOS GEOMÉTRICOS, FÍSICOS E QUÍMICOS

A NP EN 12620 de 2010 [14] contempla uma série de critérios e ensaios para que possa ser avaliada a conformidade dos agregados a serem utilizados quanto aos requisitos geométricos, físicos e químicos.

Quanto aos requisitos geométricos, a necessidade de ensaiar e declarar todas as propriedades especificadas neste quesito depende da aplicação específica ou da origem do agregado, e quando requerido, devem ser realizados os ensaios especificados na seção 4 da NP EN 12620 de 2010 [14] para determinar as propriedades geométricas no que diz respeito a:

- Dimensão do agregado;
- Granulometria;
- Forma do agregado grosso;
- Teor de conchas nos agregados grossos;
- Teor de finos;
- Qualidade dos finos.

Quando necessária a determinação das propriedades físicas do agregado, a Norma especifica, em sua seção 5, devidos ensaios a serem realizados, quando requeridas a as determinações de:

- Resistência à fragmentação do agregado grosso;
- Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso;
- Resistência ao polimento e à abrasão do agregado grosso para utilização em camadas de desgaste;
- Massa volúmica das partículas e absorção de água;
- Baridade;
- Durabilidade (resistência ao gelo/degelo, estabilidade volumétrica, reatividade álcali-sílica;
- Classificação dos constituintes dos agregados.



De forma semelhante, no que diz respeito aos requisitos químicos, a seção 6 da citada Norma apresenta ensaios a serem realizados com objetivo de determinação das propriedades químicas dos agregados, no que diz respeito a:

- Cloretos;
- Compostos contendo enxofre;
- Outros constituintes;
- Teor de carbonato dos agregados finos para utilização em camadas de desgaste de pavimentos em betão.

Além de todos os requisitos citados anteriormente, alguns conceitos são muito importantes no que diz respeito aos agregados, tal como a especificação da máxima dimensão do agregado mais grosso (D_{max}), que está relacionada com a largura mínima da secção de betão, com o recobrimento mínimo e ainda com o espaçamento entre armaduras ou grupo de armaduras, devendo ser tal que não provoque segregação do betão durante a colocação. Tem-se utilizado a regra de D_{max} ser inferior a 1,2 vezes o recobrimento nominal ou o espaçamento entre armaduras, adotando o menor entre eles.

De acordo com AGUIAR [10], outro ponto importante sobre os agregados consiste em sua forma ou natureza da superfície. Sabendo que do ponto de vista de facilidade de amassadura e das necessidades de água dessa amassadura, os materiais rolados, naturais, de origem distinta, como margens de rios e praias, são preferíveis aos materiais britados, artificiais, uma vez que forma arredondada dos materiais rolados provoca menos atrito entre os diversos elementos que constituem o material agregado, de modo que a água a exigir para a amassadura é menor. Também são aqueles que têm menores superfícies específicas, o que se traduz num menor gasto de água comparativamente com os materiais artificiais que exigem por vezes mais 20% de água. Isto traduzir-se-ia naturalmente numa diminuição da resistência mecânica do betão que é confeccionado com brita.

Contudo, as britas tem a vantagem de terem uma maior aderência, devido à sua superfície rugosa. A aderência entre a pasta de cimento e o agregado é consequência sobretudo das protuberâncias e reentrâncias deste. A pasta de cimento envolve e preenche estas saliências e naturalmente os agregados artificiais, devido à maior aderência que proporcionam, permitirão então maiores resistências. Podemos referir que quando no laboratório ensaiamos à rotura por

compressão provetes de betão, por vezes acontece que as britas não se separam do restante material, partindo, mas conservando a sua aderência. [10]

Para o alcance de bons resultados, existem ensaios do tipo inicial a serem realizados e um bom controlo da produção em fábrica auxilia para tal. Interessa-nos naturalmente que os materiais a empregar sejam materiais limpos, que não venham revestidos de pó ou de argila, por exemplo, pois neste caso a resistência à compressão e principalmente à flexão, viriam diminuídas. Em primeiro lugar porque o resíduo de pó faz-nos gastar mais água e em segundo lugar porque quando as partículas são muito finas, podemos ver impedida a ligação da pasta de cimento ao material agregado.

De modo geral as partículas finas são ainda mais prejudiciais no que se refere à resistência à tração. Quando submetemos um provete à tração, a existência de pó impede a aderência e pode conduzir o provete mais depressa à rotura. Encontramos algumas vezes material que se apresenta com pó. Lavamos o material e fazem-se ensaios comparativos. Frequentemente a resistência à compressão vem diminuída depois de se lavar o material. Isto porque ao serem retirados os finos diminui-se a compacidade, pois houve um aumento do volume de vazios no agregado. Ora a resistência à compressão é tanto maior quanto maior for a compacidade. [10]

3.3 ÁGUA

No betão, além de realizar reação química com cimento, hidratando-o, fazendo com que o mesmo endureça e aglomere os agregados, a água tem ainda como função atuar de forma a assegurar a trabalhabilidade do betão, isto é, assegurar que a mistura seja amassada facilmente e colocada em obra sem eminência de segregação. Nos betões, a água de amassadura é a porção presente durante a amassadura do betão, incluindo humidade natural dos próprios agregados. Para o betão com armaduras ou metal embebido, o teor de cloretos totais permitido no betão é o fator determinante do uso da água.

No fabrico de betões a água de amassadura deve satisfazer as exigências delegadas pela NP EN 1008 de 2003 [15], a qual apresenta a classificação dos tipos de água e a sua aptidão ou não para o fabrico do betão é suposto que a água potável, ou a água da rede, satisfaça os requisitos desta norma, não sendo necessário realizar ensaios. As superficiais naturais, subterrâneas ou residuais industriais podem ser utilizadas desde que satisfaçam os requisitos, devendo estas



serem submetidas aos ensaios necessários antes de sua utilização. As águas do mar ou as águas salobras normalmente são adequadas para o fabrico de betão simples, mas em geral não são aptas para o fabrico de betão armado ou pré-esforçado. Outras fontes de fornecimento de água, tais como águas superficiais, subterrâneas e as águas residuais industriais podem ser utilizadas, desde que submetidas aos devidos ensaios antes da sua utilização. Já as águas residuais domésticas em geral não são adequadas à utilização para este fim.

No caso de suscitar dúvidas do estado da água para o fabrico de betões, deverá proceder-se a uma série de ensaios comparativos. O Anexo B da Norma apresenta um organograma de ensaios necessários à validação da conformidade da água de amassadura para betão, conforme reproduzido a seguir onde ressalta-se que todas as referências citadas são relativas à NP EN 1008 de 2003 [15].

Quadro 3.4 – Organograma dos ensaios para avaliar a conformidade da água de amassadura para betão [15]

TIPOS DE ÁGUA			
Aceitar a água	← Sim	1	Água potável
Rejeitar a água	← Sim	2	Água residual doméstica
Ver Anexo A	← Sim	3	- Água recuperada dos processos da indústria do betão - Água Combinada
Ir para 6	← Sim	4	- Água subterrânea - Água superficial natural ou água residual industrial
Usar só em betão simples	← Sim	5	Água do mar ou água salobra
Ver também a seção 4			
Avaliação preliminar			
Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	6	Óleos e gorduras: traços visíveis
Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	7	Detergentes: espuma estável
Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	8	Cor: mais escura do que amarelo pálido
Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	9	Resíduo em suspensão > 4ml
Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	10	Odor: cheiro forte diferente do da água potável
Ver também o Quadro 1			
Ver também o Quadro 1			
Ver também o Quadro 1			
Ver também o Quadro 1			
Se estiverem presentes escória, ver também a linha 5 do Quadro 1			

Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	11	Ácidos: pH < 4	
Ir para 28 ou rejeitar a água	← Sim	12	Matéria orgânica: cor mais escura do que castanho amarelado	
ENSAIOS QUÍMICOS				
Aceitar a água	← Sim	13	Resíduos dissolvidos < 100mg/l	
Rejeitar a água, a menos que o teor de cloretos no betão permitido não seja excedido	← Sim	14	Cloretos excedendo os valores do Quadro 2	A água pode ser usada se for mostrado que o teor de cloretos no betão não excederá o máximo da classe selecionada na seção 5.2.7 da EN 206-1
Rejeitar a água	← Sim	15	Sulfatos > 2.000 mg/l	
Aceitar a água, a menos que seja expectável usar agregados álcali- reativos no betão	← Sim	16	Óxido de sódio equivalente da água > 1.500 mg/l	Se este limite for excedido e se for expectável usar agregados álcali-reativos, a água só pode ser usada se tomadas medidas para evitar reações álcali-sílica deletérias.
Aceitar a água	← Sim	17	Resíduo dissolvido – NaCl ≤ 100 mg/l	A quantidade de NaCl é calculada supondo que a quantidade de Cl medida na água está presente como NaCl
Aceitar a água	← Sim	18	Resíduo dissolvido – NaCl – Na ₂ SO ₄ ≤ 100 mg/l	
Aceitar a água	← Sim	19	Resíduo dissolvido – NaCl – Na ₂ SO ₄ – Na ₂ CO ₃ ≤ 100 mg/l	As quantidades de Na ₂ SO ₄ e Na ₂ CO ₃ são calculadas supondo que os sulfatos e os carbonatos estão presentes como sais de sódio
Ir para 28	← a)	a) Ou determinar a influência no tempo de presa e na resistência b) Ou realizar análises químicas qualitativas		b) → Ir para 20
		20	Ensaaios qualitativos de: - Açúcares - Fosfatos - Nitratos - Chumbo - Zinco	
Aceitar a água	← Sim	21	Ensaaios qualitativos negativos	
Ir para 28	← a)	a) Ou determinar a influência no tempo de presa e na resistência b) Ou fazer análises químicas quantitativas		b) → Ir para 22
Rejeitar a água	← Sim	22	Açúcares > 100mg/l	
Rejeitar a água	← Sim	23	Fosfatos (expressos em P ₂ O ₅) > 100mg/l	
Rejeitar a água	← Sim	24	Nitratos (expressos em NO ₃) > 500mg/l	



Rejeitar a água	← Sim	25	Chumbos (expressos em Pb^{2+}) > 100mg/l	
Rejeitar a água	← Sim	26	Zinco (expressos em Zn^{2+}) > 100mg/l	
Aceitar a água	← Sim	27	Os ensaios quantitativos mostram que a contaminação é inferior aos níveis dados no Quadro 3	

TEMPOS DE PRESA E

RESISTÊNCIA

Rejeitar a água	← Sim	28	Os tempos de presa não satisfazem os requisitos da seção 4.4	Não → Ir para 29
Rejeitar a água	← Sim	29	A resistência não satisfaz os requisitos da seção 4.4	Não → Ir para 30
		30	Se a amostra não satisfizer um dos ensaios especificados na Avaliação preliminar – 6 a 12, inclusive – ir para Ensaio químicos e proceder aos ensaios indicados de 13 a 19, inclusive .	
ACEITAR A ÁGUA				

Uma das formas usadas para validar a utilização da água, é efetuar uma serie de ensaios comparativos, produzindo provetes de betão ou argamassa, uns com a água de que suspeitamos e outros com água destilada. A resistência média à compressão dos provetes fabricados, aos 7 dias, confeccionados com a água em estudo de que duvidamos deverá ser pelo menos 90% da resistência média à compressão dos provetes idênticos preparados com água destilada.

Em relação ao tempo de início de presa, adquirido em provetes fabricados com a água em estudo, não deve ser inferior a 1 hora e não deve diferir mais do que 25 % do tempo de início de presa, obtido em provetes fabricados com água destilada, quanto ao tempo de fim de presa este não deve exceder 12 horas e não deve aumentar mais do que 25 % do tempo de fim de presa alcançado em provetes produzidos com água destilada.

No geral a água de amassadura influência nas propriedades do betão através das substâncias dissolvidas e em suspensão. As substâncias dissolvidas, possivelmente afetam as resistências mecânicas e químicas do betão e das armaduras, em relação às substâncias em suspensão, assim como argila e o silte, podem facilitar o crescimento cristalino dos produtos da hidratação do cimento.

3.4 ADJUVANTES E ADIÇÕES

Em situações específicas, é comum a utilização de adjuvantes e adições no fabrico do betão. Tais produtos têm por finalidade realizar modificação na mistura, ou mesmo agregar uma qualidade específica, podendo alterar o comportamento e as propriedades do betão.

3.4.1. ADJUVANTES

A NP EN 206-1 de 2007 [11] refere que a aptidão geral está estabelecida para os adjuvantes conformes com a NP EN 934-2 de 2012 [16].

Por definição, o adjuvante é um produto incorporado durante o processo de amassadura do betão, em pequena quantidade em relação à massa de cimento, devendo respeitar o limite de até 5% da massa de cimento, com a finalidade de modificar as propriedades do betão, seja no estado fresco ou no endurecido.

Quadro 3.5 – Requisitos de desempenho para tipos específicos de adjuvantes [16]

Definição	Nome do adjuvante	Requisitos de desempenho
3.2.2	Plastificante/redutor de água	Quadro 2
3.2.3	Superplastificante/forte redutor de água	Quadros 3.1 e 3.2
3.2.4	Retentor de água	Quadro 4
3.2.5	Introdutor de ar	Quadro 5
3.2.6	Acelerador de presa	Quadro 6
3.2.7	Acelerador de endurecimento	Quadro 7
3.2.8	Retardador de presa	Quadro 8
3.2.9	Hidrófugo	Quadro 9
3.2.10	Plastificante/redutor de água/retardador de presa	Quadro 10
3.2.11	Superplastificante/forte redutor de água/retardador de presa	Quadros 11.1 e 11.2
3.2.12	Plastificante/redutor de água/acelerador de presa	Quadro 12
3.2.13	Adjuvante modificador da viscosidade	Quadro 13

A mistura de betão no qual será utilizado a pequena quantidade adjuvante, deverá ser homogénea, caso contrário ficamos com uma zona que contém todo o adjuvante e outra sem qualquer adjuvante, originando assim a uma mistura de betão com propriedades heterogéneas.

Os adjuvantes são classificados consoante a sua função, conforme apresentados a seguir, em quadro retirado da Norma, com devida referência sobre requisitos de desempenho.



3.4.2. ADIÇÕES

Adições são materiais finamente divididos, utilizados no betão com a finalidade de melhorar certas propriedades ou alcançar propriedades especiais, em geral relacionadas ao desempenho, aperfeiçoando certas características, por exemplo, aumentando a resistência, dando cor ao betão, diminuindo o calor de hidratação, reduzindo fissuras, entre outros.

De acordo com a NP EN 206-1 de 2007 [11] são considerados dois tipos de adições inorgânicas:

- Tipo I: Adições quase inertes, isto é, sem propriedades hidráulicas latentes ou sem propriedades pozolânicas, como os fileres;
- Tipo II: Adições pozolânicas ou hidráulicas latentes, com propriedades pozolânicas, como as pozolanas em geral, as cinzas volantes ou a sílica de fumo, ou ainda com propriedades hidráulicas latentes, como a escória granulada de alto-forno moída.

Relativamente à conformidade das adições, a NP EN 206-1 de 2007 [11] indica que a sua aptidão geral está estabelecida para:

- Fileres conformes com a NP EN 12620 de 2010;
- Pigmentos conformes com a EN 12878 de 2014;
- Cinzas volantes conformes com a NP EN 450-1 de 2012;
- Sílica de fumo conforme com a NP EN 13263-1 de 2009;
- Pozolanas conformes com a NP 4220 de 2010 (enquanto não for publicada uma Norma Europeia harmonizada para pozolanas).

4 - COMPOSIÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO

4.1 COMPOSIÇÃO DO BETÃO

A composição do betão, que está diretamente relacionada aos materiais constituintes, tanto para betões de comportamento especificado ou de composição prescrita devem ser escolhidos de forma a satisfazer os requisitos especificados pela NP EN 206-1 de 2007 [11] para o betão fresco e endurecido, tendo em conta o processo de produção e o método previsto para a execução das obras em betão.

Quando não se encontrarem definidas na especificação informações suficientes no que diz respeito a composição do betão, o produtor deve seleccionar os tipos e as classes de materiais constituintes entre os de aptidão estabelecida para as condições ambientais para as quais a obra se aplica.

Para betão fresco, segundo a NP EN 206-1 de 2007 [11], devem ser considerados os requisitos com relação a:

- Consistência;
- Dosagem de cimento e razão água/cimento;
- Teor de ar;
- Máxima dimensão do agregado.

Enquanto para o betão endurecido, ainda de acordo com a Norma, devem ser respeitados requisitos referentes a:

- Resistência à compressão;
- Resistência à tração por compressão diametral;
- Massa volúmica;
- Resistência à penetração de água;
- Reação ao fogo.

4.2 ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO

A especificação do betão deve contemplar todos os requisitos relevantes, referentes às propriedades do betão, e devem ser fornecidas ao produtor. Além dos requisitos para a produção, devem ainda definidos todo e qualquer requisito para as propriedades do betão que sejam necessárias para o transporte, lançamento, compactação, cura ou outro tratamento adicional. Quando necessário, a especificação deve incluir qualquer requisito especial.

De acordo com a NP EN 206-1 de 2007 [11], entre os requisitos a serem contemplados pela especificação, encontram-se:

- A utilização do betão fresco e endurecido;



- As condições de cura;
- As dimensões da estrutura (desenvolvimento de calor);
- As ações ambientais às quais a estrutura ficará exposta;
- Qualquer requisito para agregados expostos ou acabamento superficial;
- Qualquer requisito relacionado com o recobrimento das armaduras ou com a largura mínima da seção, tal como máxima dimensão do agregado mais grosso;
- Quaisquer restrições à utilização de materiais constituintes com aptidão estabelecida.

A especificação do comportamento ou a prescrição da composição do betão deve resultar de ensaios iniciais ou de informação acumulada por uma experiência de longa duração com um betão comparável, tendo em consideração os requisitos básicos para os materiais constituintes e para a composição do betão.

ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO DE COMPORTAMENTO ESPECIFICADO

Betão cujas propriedades e características adicionais são especificadas ao produtor, que é responsável por fornecer um betão que satisfaça aquelas propriedades e características, tais que devem contemplar em sua especificação requisitos fundamentais, incluindo:

- Um requisito de conformidade com a NP EN 206-1 de 2007 [11];
- Classe de resistência à compressão;
- Classes de exposição;
- Máxima dimensão do agregado mais grosso;
- Classe de teor de cloretos.

Adicionalmente, para betão leve:

- Classe de massa volúmica ou massa volúmica pretendida.

Adicionalmente, para betão pesado:

- Massa volúmica pretendida;
- Adicionalmente, para betão pronto e betão fabricado no local;

- Classe de consistência ou, em casos especiais, valor pretendido para a consistência.

Em adicional, podem especificar-se os seguintes aspetos através de requisitos de desempenho e de métodos de ensaio, quando apropriados:

- Tipos ou classes especiais de cimento (p.e., cimento com baixo calor de hidratação);
- Tipos ou classes especiais de agregados;
- Características requeridas para a resistência ao ataque pelo gelo/degelo, tal como teor de ar;
- Requisito para a temperatura do betão fresco;
- Desenvolvimento da resistência;
- Desenvolvimento de calor durante a hidratação;
- Endurecimento retardado;
- Resistência à penetração de água;
- Resistência à abrasão;
- Resistência à tração por compressão diametral;
- Outros requisitos técnicos, tal como requisitos relacionados com a obtenção de um acabamento particular ou com um método especial de colocação.

ESPECIFICAÇÃO DO BETÃO DE COMPOSIÇÃO PRESCRITA

Betão cuja composição e materiais constituintes são especificados ao produtor, que é o responsável por fornecer um betão com a composição especificada, que deve contemplar em sua especificação requisitos fundamentais, incluindo:

- Requisito de conformidade com a NP EN 206-1 de 2007 [11];
- Dosagem de cimento;
- Tipo e classe de resistência do cimento;
- Razão água/cimento ou consistência, através de uma classe ou, em casos especiais, de um valor pretendido (este deverá ser inferior em 0,02 a qualquer valor limite requerido);



- Tipo, categorias e teor máximo de cloretos dos agregados; no caso de betão leve ou pesado, a massa volúmica máxima ou mínima dos agregados, conforme o caso;
- Máxima dimensão do agregado mais grosso e quaisquer limitações para a granulometria;
- Tipo e quantidade de adjuvantes ou adições, se utilizados;
- As origens dos adjuvantes ou adições, se utilizados, e do cimento, em substituição das características impossíveis de definir por outros meios.

Em adicional, podem especificar-se os seguintes aspetos através de requisitos de desempenho e de métodos de ensaio, quando apropriados:

- As origens de alguns, ou de todo os constituintes do betão, em substituição das características impossíveis de definir por outros meios;
- Requisitos adicionais para agregados;
- Requisito para a temperatura do betão fresco;
- Outros requisitos técnicos.

5 - EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO

No que concerne à execução de estruturas em betão a Norma NP EN 13670 de 2011 [17] estabelece o procedimentos e verificações necessárias para os diversos processos envolvidos na execução das estruturas, envolvendo elementos como o betão fresco, as armaduras, elementos prefabricados de betão, etc. Os procedimentos devem ser cuidadosamente verificados com o objetivo de que a estrutura possa atingir o nível de resistência mecânica e estabilidade pretendido.

A Norma fornece requisitos básicos para a execução de estruturas de betão que podem ser aplicadas tanto às construções no estaleiro da obra como às que utilizem elementos de betão prefabricados, sendo ainda aplicável a estruturas de betão, tanto provisórias como definitivas.

Considera-se que a NP EN 13670 de 2011 [17] tem basicamente três funções:

- Veicular para o construtor o conjunto dos requisitos estabelecidos pelo projetista durante a conceção, isto é, estabelecer a ligação entre o projeto e a execução;

- Disponibilizar um conjunto de requisitos técnicos normalizados para a execução quando da contratação de uma estrutura de betão;
- Servir o projetista com uma lista de verificações de forma a assegurar que este fornece ao construtor toda a informação técnica necessária para a execução da estrutura.

Para a execução de estruturas em betão em conformidade com a NP EN 13670 de 2011 [17], pressupõe-se que exista durante a execução de estruturas em betão:

- A disponibilidade de um projeto completo da estrutura;
- Gestão do projeto a cargo do responsável pela supervisão das obras que permita a execução de uma estrutura conforme;
- Devida gestão do estaleiro, devendo se encarregar da organização das obras e que permita a utilização correta e segura do equipamento e da maquinaria, a qualidade requerida dos materiais, a execução de uma estrutura conforme e a sua utilização segura até à entrega das obras.

Quando da utilização de elementos prefabricados, pressupõe ainda:

- A disponibilidade de um projeto específico dos elementos prefabricados em conformidade com as normas correspondentes;
- A disponibilidade de uma coordenação entre o projeto dos elementos prefabricados fora do local da obra e o dos fabricados no local da obra;
- A existência duma especificação técnica da estrutura prefabricada e das instruções para a sua montagem;
- A existência de um responsável pela montagem e pelo pessoal que a faz.

Ressalta-se a importância de que em ambos os casos, tanto para estruturas executadas in situ, quanto para estruturas prefabricadas, os elementos devem seguir projetos que estejam de acordo com o estabelecido na NP EN 1990 de 2009 [18], NP EN 1992 de 2012 [19] e na NP EN 1994 de 2011 [20].

Deverão ser considerados requisitos adicionais ou diferentes, se requerido, e constar da especificação de execução, quando se utilizar: betão leve, outros materiais (p. ex., fibras) ou outros materiais constituintes ou ainda tecnologias especiais ou projetos inovadores.



5.1 GESTÃO DA EXECUÇÃO

5.1.1 DOCUMENTAÇÃO

Relativo à documentação, a norma ressalta a importância da inclusão de documentos relativos à especificação de execução, e ao registo da execução, nomeadamente documentação de execução.

Sobre a especificação da execução existe orientação sobre a realização das seguintes disposições:

- Referência à presente Norma e, se publicado, ao seu Anexo Nacional;
- Referência a outras Normas Europeias e ETA's;
- Referência às regulamentações e normas nacionais;
- Informação e requisitos para o projeto em causa que complemente e qualifique os requisitos dos documentos acima listados;
- Desenhos e outros documentos técnicos que sejam necessários para a execução.

* Consultar Anexo A da norma para verificar lista de verificações.

Sobre a documentação de execução, a norma ressalta a importância da inclusão dos seguintes elementos na documentação de registo da execução (Livro de Obra):

- Origem dos materiais, relatórios de ensaios de materiais ou declaração de conformidade do fornecedor;
- Pedidos de aprovação de variantes e sua aprovação;
- Telas finais ou informação suficiente para permitir executar telas finais para a totalidade da estrutura incluindo elementos prefabricados;
- Descrição de não conformidades e, nos casos aplicáveis, as ações corretivas que foram tomadas;
Registo das alterações à especificação de projeto aceites;
- Registos de quaisquer verificações dimensionais na receção da construção;
- Documentação das inspeções;

- Eventos com significado para as propriedades da estrutura concluída;
- Condições atmosféricas durante a betonagem e a cura.

5.1.2 VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE

A supervisão e a inspeção das obras devem verificar se a construção é executada de acordo com a especificação de execução. Neste contexto, de acordo com a NP EN 13670 de 2011 [17], por inspeção entende-se a verificação da conformidade das propriedades dos produtos e materiais a utilizar bem como a inspeção da execução das obras

Os requisitos para a gestão da qualidade devem ser estabelecidos de acordo com 3 classes, sendo:

- Classe de Execução 1;
- Classe de Execução 2;
- Classe de Execução 3.

As Classes de Execução a empregar deverão estar de acordo com disposições válidas no local da construção e deverão ser estabelecidas nas especificações de projeto, podendo referir-se à estrutura completa, a componentes da estrutura ou a certos materiais/tecnologias utilizadas na execução.

De acordo com a Norma em questão, as Classes de Execução podem ser definidas de acordo com o Quadro 5.1 apresentado a seguir.

Quadro 5.1 – Guia para seleção de Classe de Execução [17]

Parâmetro	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Tipo de construção	- Edifícios até 2 andares	- Pontes correntes com vão < 40 m - Edifícios 12 > andares > 2	- Pontes especiais - Edifícios com mais de 12 andares - Grandes barragens - Edifícios para centrais nucleares - Reservatórios



Tipo de elementos estruturais	– Lajes e vigas em betão armado com vãos < 10 m – Pilares e paredes simples – Estruturas de fundações simples	– Lajes e vigas em betão armado com vãos > 10 m – Pilares e paredes esbeltos – Maciços de encabeçamento de estacas – Arcos < 10 m	– Arcos e abóbadas em betão armado – Elementos fortemente comprimidos – Fundações delicadas e complicadas – Arcos > 10 m
Tipo de construção /tecnologias usadas	– Estruturas com elementos prefabricados	– Estruturas com elementos prefabricados	– Estruturas com elementos prefabricados – Tolerâncias especiais
Tipo de material Betão conforme NP EN 206-1			
- Classe de resistência	Até C25/30 inclusive	Qualquer classe de resistência	Qualquer classe de resistência
- Classe de exposição	X0; XC1, XC2, XA1, XF1	Qualquer classe de exposição	Qualquer classe de exposição
- Armaduras	Passivas	Passivas e de pré-esforço	Passivas e de pré-esforço

Referente a responsabilidade pela inspeção, considera-se que:

- **Classe de Execução 1:** pode ser conduzida por quem constrói a obra. Tal implica que a inspeção seja realizada sobre todo o trabalho feito – autoinspeção.
- **Classe de Execução 2:** além da autoinspeção, deverá haver uma inspeção sistemática e regular com rotinas fixadas dentro da empresa que constrói a obra – inspeção interna sistemática.
- **Classe de Execução 3:** além da autoinspeção e da inspeção interna sistemática pelos próprios construtores, poderá ser requerida uma inspeção especial de acordo com as regulamentações nacionais ou a especificação de execução. Esta inspeção especial poderá ser realizada por outra empresa – inspeção independente.

No que diz respeito aos materiais e produtos a serem utilizados na composição do betão, os requisitos da inspeção para verificar a conformidade com a especificação de execução são estabelecidos no Quadro 5.2, apresentado a seguir, que remete em parte para algumas secções da NP EN 13670 de 2011 [17].

Quadro 5.2 – Inspeção de Materiais e Produtos [17]

Objeto	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Materiais para andaimes, cofragens e cimbrês ^a	De acordo com 5.1 e 5.2		
Aço para armaduras ^a	De acordo com 6.2		
Componentes do sistema de pré-esforço ^a	Não utilizados nesta classe	De acordo com 7.2	
Betão fresco ^{a, c} , pronto ou amassado no estaleiro	De acordo com 8.1 e 8.3 Na receção do betão pronto, deve ser apresentada a guia de remessa		
Outros itens ^{a, b}	De acordo com a especificação da execução		
Elementos prefabricados ^a	De acordo com 9.2 e 9.3		
Relatório de inspeção	Não requerido	Requerido	
a) Os produtos portadores da marcação CE ou certificados por um organismo de certificação aprovado devem ser verificados contra a guia de remessa e, em caso de dúvida, inspecionados visualmente, devendo ser objeto de ulterior inspeção para verificar que o produto está conforme com a sua especificação. Outros produtos devem ser submetidos a inspeção e ensaios de receção conforme definido nas especificações de projeto b) Por exemplo, elementos metálicos embebidos, etc. c) Se for utilizado betão de composição prescrita, as propriedades relevantes devem ser verificadas com ensaios			

Sobre a inspeção da execução, procedimentos diversificados devem ser realizados de acordo com os elementos a serem inspecionados.

ANDAIMES, COFRAGENS E CIMBRES

Devem ser realizadas inspeções e verificações no que diz respeito a:

- Geometria das cofragens;
- Estabilidade dos cimbrês, das cofragens e das suas fundações;
- Impermeabilidade das cofragens e dos seus constituintes;
- Remoção de detritos (tais como poeiras, neve ou gelo e resíduos de arame de amarração na secção a betonar);
- Tratamento das faces das juntas de construção;



- Remoção da água da base dos moldes exceto quando se seguirem procedimentos para betonagem debaixo de água ou procedimentos para deslocação da água sem que esta se misture com o betão;
- Preparação da superfície das cofragens;
- Aberturas e caixas salientes.

ARMADURAS

Devem ser realizadas inspeções com a finalidade de verificar se:

- As armaduras indicadas nos desenhos estão na posição e com o espaçamento especificados;
- O recobrimento está de acordo com as especificações;
- As armaduras não estão contaminadas por óleo, gordura, tinta ou outras substâncias prejudiciais;
- As armaduras estão adequadamente amarradas e fixadas de forma a evitar o seu deslocamento durante a betonagem;
- O espaçamento é suficiente para permitir a colocação e compactação do betão.

PRÉ-ESFORÇO

Devem ser realizadas inspeções e verificações no que diz respeito a:

- Posição das armaduras, bainhas, purgas, drenos, ancoragens e acopladores em relação às especificações de projeto, incluindo o recobrimento e o espaçamento das armaduras;
- Fixação das armaduras e bainhas, incluindo as disposições para assegurar a conveniente resistência contra a flutuação e a estabilidade dos seus apoios;
- Verificação de que bainhas, purgas, ancoragens, acopladores e a correspondente selagem não estão danificados;
- Verificação de que armaduras, ancoragens e acopladores não estão corroídos;
- Verificação da limpeza das bainhas, ancoragens e acopladores.

BETONAGEM

Sobre as operações relacionadas à betonagem, o Anexo F da NP EN 13670 de 2011 [17], intitulado “Guia para betonagem”, apresenta quadros referentes a:

- Inspeção da produção de betão;
- Inspeção do betão fresco;
- Inspeção das operações anteriores à betonagem;
- Inspeção da colocação e da compactação;
- Inspeção da proteção e cura;
- Inspeção das operações pós betonagem.

5.1.3 CASO DE NÃO CONFORMIDADE

No caso de não conformidade, devem ser investigados pela ordem indicada os seguintes aspetos:

- I. Implicações da não conformidade na continuação da execução e na aptidão para preencher a função pretendida;
- II. Medidas necessárias para tornar o elemento aceitável;
- III. Necessidade de rejeição e substituição do elemento não reparável.

Se requerido na especificação de execução, a retificação da não conformidade deve ser feita de acordo com o procedimento estabelecido na especificação de execução ou como acordado.

5.2 BETONAGEM

Sobre as operações relacionadas à betonagem, o Anexo F da NP EN 13670 de 2011 [17], intitulado “Guia para betonagem” apresenta orientações e procedimentos indicados para a realização das atividades relacionadas às diversas etapas do processo, conforme quadros apresentados a seguir.



Quadro 5.3 – Inspeção das operações anteriores à betonagem [17]

Item	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Planeamento da inspeção		Resultados de betonagens de ensaio se existirem. Acordo acerca de Controlo da Qualidade Plano de inspeção Lista de equipamento	Resultados de betonagens de ensaio se existirem. Acordo acerca de Controlo da Qualidade Plano de inspeção Lista de equipamento Lista de operadores
Inspeção	Inspeção corrente Inspeção em caso de dúvida	Inspeção corrente e aleatória Estabilidade dos cimbres e das cofragens Exame visual de: – esticadores – estanquidade do molde – limpeza do molde – quantidade de agente descofrante – saturação do molde – junta de construção – sequência de betonagem planeada – acesso – fornecimento planeado – recobrimento Dimensões das medidas	Exame antes de cada betonagem Estabilidade dos cimbres e das cofragens Exame visual de: – esticadores – estanquidade do molde – limpeza do molde – quantidade de agente descofrante – saturação do molde – junta de construção – sequência de betonagem planeada – acesso – fornecimento planeado – recobrimento Dimensões das medidas

Quadro 5.4 – Inspeção da produção de betão [17]

Item	Método	Requisito	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Especificação do betão	Visual	NP EN 206-1	Antes do início da produção	Antes do início da produção	Antes do início da produção
Inspeção da produção de betão	Exame dos certificados quando disponíveis	Certificado de controlo da produção emitido por um organismo de certificação autorizado	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida
	Inspeção visual quando não houver inspeção por entidade independente	Em alternativa, inspeção da central de produção (de acordo com o NP EN 206-1)	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida	Novo fornecedor e em caso de dúvida
Planeamento da produção	Inspeção visual	Informação dizendo respeito à produção		Informação escrita	Informação escrita

Quadro 5.5 – Inspeção da colocação e da compactação [17]

Item	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
------	----------------------	----------------------	----------------------

Planeamento da inspeção		Instruções para os operadores Cadência de colocação Sequência de colocação Espessura da camada	Instruções para os operadores Cadência de colocação Sequência de colocação Espessura da camada Desenho ou diagrama de processo
Inspeção das superfícies moldadas	Inspeção de base	inspeção de base e aleatória: – condições atmosféricas – cadência de colocação – sequência de colocação – espessura da camada – segregação – consistência – número de vibradores de agulha – diâmetro dos vibradores de agulha – distância de penetração – profundidade de penetração – revibração – vibradores aplicados a cofragens – vibradores de superfície – movimentos do betão – deformação do molde – fixação de peças embebidas	inspeção da totalidade da betonagem: – condições atmosféricas – cadência de colocação – sequência de colocação – espessura da camada – segregação – consistência – número de vibradores de agulha – diâmetro dos vibradores de agulha – distância de penetração – profundidade de penetração – revibração – vibradores aplicados a cofragens – vibradores de superfície – movimentos do betão – deformação do molde – fixação de peças embebidas
Inspeção das superfícies livres	Inspeção de base	Inspeção de base e aleatória: – leitada superficial – uniformidade da superfície – formação de crosta – momento do fim da compactação – momento do acabamento – proteção da superfície Medição dos desvios da superfície de acordo com as especificações de projeto	Inspeção da totalidade da betonagem: – leitada superficial – uniformidade da superfície – formação de crosta – momento do fim da compactação – momento do acabamento – proteção da superfície Medição dos desvios da superfície de acordo com as especificações de projeto

Quadro 5.6 – Inspeção da proteção e cura [17]

Item	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Planeamento da inspeção		Procedimento para a proteção contra a secagem prematura e a congelação Procedimento para o controlo da temperatura Sistema de monitorização da temperatura e registo da maturidade	Procedimento para a proteção contra a secagem prematura e a congelação Procedimento para o controlo da temperatura Sistema de monitorização da temperatura e registo da maturidade Cálculo do desenvolvimento e distribuição da temperatura de acordo com as especificações de projeto



Inspeção	Inspeção de base	Inspeção de base e aleatória: – proteção contra a secagem prematura, maturidade – proteção contra a congelção – tempo de descofragem, maturidade – diferenças de temperatura	Inspeção da totalidade da betonagem: – proteção contra a secagem prematura, maturidade – proteção contra a congelção – tempo de descofragem, maturidade – diferenças de temperatura
----------	------------------	--	---

Quadro 5.7 – Inspeção das operações pós betonagem [17]

Item	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Planeamento da inspeção		Instruções para inspeção de acordo com as especificações de projeto	
Inspeção	Verificação geométrica Inspeção de base	Verificação geométrica Resistência e maturidade na idade de descofragem Aspecto da superfície: – buracos – ninhos de brita – perda de leitada – bolhas – fissuras – abertura de fissuras Ligações: – varões de espera – parafusos ou varões roscados – inserções – acessórios Recobrimento: – verificação com medidor de recobrimento se requerido pelas especificações de projeto	

Quadro 5.8 – Inspeção do betão fresco [17]

Assunto	Método	Requisito	Classe de Execução 1	Classe de Execução 2	Classe de Execução 3
Guia de remessa quando aplicável	Inspeção visual	Conformidade com a especificação	A cada entrega	A cada entrega	A cada entrega
Consistência do betão	Inspeção visual	Consistência conforme exigido	Aleatória	A cada entrega	A cada entrega
	Usando um ensaio de consistência adequado ¹	Conformidade com a classe de consistência	Só em caso de dúvida	Quando se colherem amostras para ensaios de betão endurecido e em	Quando se colherem amostras para ensaios de betão endurecido e em

				caso de dúvida	caso de dúvida
Homogeneidade do betão	Inspeção visual Ensaio por comparação de propriedades de amostras individuais colhidas de partes diferentes de uma mesma amassadura ³	Aspecto homogéneo As amostras individuais devem ter as mesmas propriedades ⁴	Em caso de dúvida	A cada entrega Em caso de dúvida	A cada entrega Em caso de dúvida
Ensaio de identidade para a resistência à compressão	Ensaio de acordo com o NP EN 206-1 ²	Conformidade com a classe de resistência à compressão	Para betão sem Marcação CE ou qualquer outra certificação por entidade independente Em caso de dúvida	Para betão sem Marcação CE ou outra certificação por entidade independente De acordo com as especificações de projeto Em caso de dúvida	Para betão sem Marcação CE ou outra certificação por entidade independente De acordo com as especificações de projeto Em caso de dúvida
Teor de ar	Ensaio no estaleiro de acordo com o NP EN 206-1 ¹	Conformidade com a especificação	Aleatória De acordo com as especificações de projeto Em caso de dúvida	Aleatória De acordo com as especificações de projeto Em caso de dúvida	De acordo com as especificações de projeto Em caso de dúvida
Outras características:	³	³			
Redoseamento	Registo	Dosagem e tipo de agente ⁵	A cada entrega	A cada entrega	A cada entrega
Hora de chegada	Registo	⁵	Quando requerido	Quando requerido	Quando requerido
Hora de colocação	Registo	⁵	Quando requerido	Quando requerido	Quando requerido
Temperatura	Registo	⁵	Quando requerido	Quando requerido	Quando requerido

NOTA:

- 1) O critério do ensaio de identidade deve ser o estabelecido na NP EN 206-1 para uma amostra individual.
- 2) Ensaio de identidade de resistência, quando requerido.
- 3) De acordo com normas especificadas ou acordadas.
- 4) Dentro da fidelidade do ensaio e variabilidade acordada das tolerâncias.
- 5) De acordo com a NP EN 206-1 e as especificações de execução

5.3 PROTEÇÃO E CURA

O betão nas idades jovens deve ser objeto de cura e de proteção com o objetivo de:



- Minimizar a retração plástica;
- Assegurar uma resistência superficial adequada;
- Assegurar uma durabilidade adequada da zona superficial;
- Proteção contra condições meteorológicas adversas;
- Proteção contra congelamento;
- Proteção contra as vibrações prejudiciais, impacto ou danos.

Sobre a cura, de acordo com a NP EN 13670 de 2011 [17], os seguintes procedimentos devem ser realizados separadamente, ou em sequência:

- Manutenção das cofragens no seu lugar;
- Cobertura do betão com capas impermeáveis ao vapor, fixadas nos extremos e nas juntas para evitar dissecação por correntes de ar;
- Colocação de coberturas húmidas sobre a superfície e sua proteção contra a secagem;
- Manutenção da superfície do betão visivelmente húmida com água apropriada;
- Aplicação de uma membrana de cura de aptidão estabelecida.

Os quadros de Quadro 5.9 a Quadro 5.11 apresentados a seguir apresentam informações relevantes sobre as classes de cura e o período mínimo de cura a ser utilizado.

Quadro 5.9 – Classes de cura [17]

	Classe de cura 1	Classe de cura 2	Classe de cura 3	Classe de cura 4
Período (h)	12 ^a	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
% da resistência característica à compressão aos 28 d	Não aplicável	35%	50%	70%
a) Desde que a presa não ultrapasse 5h e a superfície do betão tenha uma temperatura igual ou superior a 5 °C.				

Quadro 5.10 – Classes de cura a utilizar [17]

Classe de exposição	XC0	XC1, XC2, XF1, XF2	XS3, XD3, XA3 ^a	Outras ^b
Classe de cura	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
a) Ou com abrasão forte (classe XM2) ou muito forte (XM3)				
b) Ou com abrasão moderada (XM1)				

Quadro 5.11 – Período mínimo de cura para as classes de cura 2, 3 e 4 [17]

	Período mínimo de cura em dias ¹
--	---

Temperatura do betão superficial (t), em °C	Desenvolvimento da resistência do betão ^{3, 4} $(f_{cm2}/f_{cm28}) = r$								
	Rápido $r \geq 0,50$			Médio $r = 0,30$			Lento $r = 0,15$		
Classe de cura	2	3	4	2	3	4	2	3	4
$t \geq 25$	1,0	1,5	3,0	1,5	2,5	5,0	2,5	3,5	6,0
$25 > t \geq 15$	1,0	2,0	5,0	2,5	4,0	9,0	5,0	7,0	12
$15 > t \geq 10$	1,5	2,5	7,0	4,0	7,0	13	8,0	12	21
$10 > t \geq 5$ ³⁾	2,0	3,5	9,0	5,0	9,0	18	11	18	30

NOTA

- 1) Mais o tempo de presa que exceder 5 h.
- 2) Para temperaturas abaixo de 5 °C, a duração deverá ser estendida por um período igual ao tempo em que esteve abaixo de 5 °C.
- 3) O desenvolvimento de resistência do betão, r, é a razão entre a resistência média à compressão aos 2 d e a resistência média à compressão aos 28 d determinadas por ensaios prévios ou baseadas em comportamento conhecido de betões de composição comparável (ver EN 206-1).
- 4) Para betões com desenvolvimento muito lento, deverão ser estabelecidos requisitos especiais na especificação da execução



REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] B. ROTHERY, ISO 9000, São Paulo: Makron Books, 1993.
- [2] J. LOBOS, Qualidade através das pessoas, São Paulo, 1991.
- [3] L. MONTEIRO, Fundamentos da Qualidade, São Paulo: INMETRO, 2010.
- [4] IPQ - Instituto Português de Qualidade, “Dados Oficiais,” [Online]. Available: <http://www1.ipq.pt/PT/Normalizacao/Pages/Normalizacao.aspx>. [Acedido em 2018].
- [5] R. MOURA, O Concreto como Material de Construção, Sergipe, 2013.
- [6] EEN - Enterprise Europe Network, “Dados Oficiais do Portal Eletrônico,” [Online]. Available: <https://www.een-portugal.pt/info/mercadounico/Paginas/marcacaoce.aspx>. [Acedido em 2018].
- [7] CE – Comissão Europeia, “A Marcação CE dos Produtos de Construção, Passo a Passo.,” COSME Programme of the European Union.
- [8] APCMC – Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção, “Regulamento Materiais de Construção - Marcação CE,” Portugal, 2013.
- [9] JOUE – Jornal Oficial da União Europeia, “Publicação dos títulos e das referências das normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União,” 2018.
- [10] J. B. AGUIAR, Qualidade de Betões, Guimarães: Universidade do Minho, 2015.
- [11] NP EN 206-1, Betão, Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade, Caparica: Instituto Português de Qualidade, 2007.
- [12] NP EN 197-1, Cimento, Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2012.

- [13] NP EN 196-3, Métodos de ensaio de cimentos: Determinação do tempo de presa e da expansibilidade., Caparica: Instituto Português de Qualidade, 2009.
- [14] NP EN 12620, Agregados para betão, Caparica: Instituto Português de Qualidade, 2010.
- [15] NP EN 1008, Água de amassadura para betão, Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria do betão, para o fabrico do betão, Caparica: Instituti Português de Qualidade, 2003.
- [16] NP EN 934-2, Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção, Parte 2: Adjuvantes para betão, Definições, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem, Caparica: Instituto Português de Qualidade, 2012.
- [17] NP EN 13670-1, Execução de Estruturas em Betão, Parte 1: Regras Gerais, Caparica: Instituto Português de Qualidade, 2011.
- [18] NP EN 1990, Eurocódigo Bases para o projeto de estruturas, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [19] NP EN 1992, Eurocódigo 2, Projeto de estruturas de betão, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2012.
- [20] NP EN 1994, Eurocódigo 4, Projeto de estruturas mistas aço-betão, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2011.