

Plano e Procedimento da Garantia de Qualidade para Projecto de Engenharia

Obras de Betão Armado

1. Generalidades e Campo de Aplicação

O betão armado é o elemento estrutural composto pelo betão e varões de aço, que após do endurecimento do betão, os dois materiais passam a actuar em conjunto. A classe da resistência para o betão e varões de aço dependem das exigências do projecto. Em geral, o elemento do betão armado pode ser dividido em betão betonado no local e betão pré-fabricado, onde os procedimentos de controlo da qualidade são praticamente iguais. O procedimento referido também se aplica para obras de betão armado pré-esforçado, de betão ordinário.

Os elementos estruturais devem estar de acordo com as exigências da supervisão e ensaio dos materiais no fim de garantir que estão em conformidade com o projecto e especificações relativas.

2. Requisitos dos Documentos de Garantia de Qualidade de Projecto de Engenharia

Os documentos abaixo referidos devem ser submetidos de acordo com as fases de obras do betão armado para fim de aprovação ou registo.

Antes da construção

[Material do Betão]

- ✓ Certificados de produção do cimento
O cimento deve estar de acordo com os requisitos do artigo 7 de “Norma de Cimento” (Decreto-Lei 63/96/M). O certificado de produção deve representar as seguintes informações:
 - Nome do fornecedor / Tipo do cimento / Classe;
 - Propriedades físicas (tempo de coagulação, resistência mecânica, expansibilidade);Análise química (incluindo determinação da perda ao rubro, do resíduo insolúvel, do teor em sulfatos (SO₃), do teor em cloretos e quantidade de pozolana). No caso de impossibilidade da entrega o certificado mencionado, deve proceder-se à recepção de acordo com os requisitos do controlo de recepção do artigo 9 da Norma de Cimento.

- ✓ Certificados de produção dos agregados
Os agregados incluem agregados grossos e finos, finos de areia/rocha, onde devem estar de acordo com o requisitos do Quadro 1 da “Norma de Betões” (Decreto-Lei 42/97/M). O certificado de produção dos agregados devem incluir as seguintes informações:
 - Origem do material;
 - Propriedades mecânicas;
 - Análise granulométrica;
 - Densidade relativa e teor de absorção de água;
 - Índice volumétrica;
 - Reactividade potencial com os álcalis;
 - Reactividade potencial com os sulfatos;
 - Quantidade dos materiais prejudiciais (partículas de argila, materiais orgânicas, etc);

- ✓ **Certificados de produção dos adjuvantes**
Os adjuvantes incluem a pastificante, superplastificante, retentor de água, acelerador de presa, acelerador de endurecimento, retardador de presa, hidrófugo, onde devem estar de acordo com os requisitos do Quadro 3 da “Norma de Betões” (Decreto-Lei 42/97/M). O certificado de produção dos adjuvantes devem incluir as seguintes informações:
 - Origem do material / Especificações do produto;
 - Densidade relativa;
 - Análise química;
 - Teor de cloretos.

- ✓ **Certificados de produção dos aditivos**
Os aditivos incluem cinzas da caldeira, partículas sílicas, cinzas vulcânicas, escória de alto forno, etc, onde devem estar de acordo com os requisitos da “Norma de Betões” (Decreto-Lei 42/97/M). O certificado de produção dos aditivos devem incluir as seguintes informações:
 - Origem dos aditivos;
 - Densidade relativa;
 - Índice de actividade;
 - Finura;
 - Expansibilidade;
 - Análise química.

- ✓ **Água de amassadura**
A água de amassadura deve estar de acordo com os requisitos da Quadro 2 da “Norma de Betões”. Geralmente, a água fornecida pelo SAAM não é necessária a inspecção, e no caso de água proveniente por outros meios ou no caso de dúvidas relativo a qualidade da água, deve ser seleccionada amostra para a devida verificação.

- ✓ **Mistura inicial do betão e especificações relativas**
Devem incluir as seguintes informações:
 - Classe de resistência;
 - Tipo do cimento, quantidade e razão de água-cimento;
 - Quantidade e máxima dimensão dos agregados;
 - Reactividade potencial de álcalis;
 - Abaixamento;
 - Tipo e quantidade dos adjuvantes;
 - Tipo e quantidade dos aditivos;
 - Teste de resistência ao íon cloreto (Adequado para estruturas offshore, estruturas expostas a ambientes com alto teor de íons cloreto ou estruturas com vida útil superior a 50 anos);
 - Condições de exposição aos ambientes exteriores.

- ✓ **Método da construção da betonagem do betão;**

- ✓ **Método de cura após da betonagem do betão.**

[Material dos Varões de Aço]

- ✓ **Certificados de produção dos varões de aço**
Deve submeter certificado de produção/ certificado de origem da malha metálica de acordo com cada lote, classe de aço e tamanho, incluindo análise química, propriedades mecânicas (tamanho, tensão de rotura, tensão de cedência, extensão e dobragem, etc), identificação do material (referência do forno e identificação do fornecedor, etc);

- ✓ **Informações e comprovativos do armazenamento e transporte;**

- ✓ **Método da ligação dos varões de aço, incluindo ligação mecânica, soldadura de ponta a ponta e ligação de soldadura por sobreposição.** Devem ainda submeter relativos certificados de produção

dos acopladores, informações de soldadura, certificados do pessoal de soldadura, etc;

- ✓ Plano de monitorização.

[Produto Pré-fabricado do Betão Armado]

No caso da utilização dos produtos pré-fabricados do betão armado, deve submeter as seguintes informações para fim de aprovação ou de registo:

- ✓ Especificações do produto pré-fabricado do betão armado;
- ✓ Informações do sistema de controlo de produção do fornecedor, incluindo:
 - Manuais de controlo da qualidade e documentos relativos;
 - Registo de inspecção interna do fornecedor, incluindo informações técnicas da origem de matéria-prima (últimos seis meses);
 - Resultados e plano de ensaio dos produtos;
 - Equipamentos de ensaio do departamento de ensaio do fornecedor, relativos procedimentos de ensaio e registo da calibração dos equipamentos;
 - Análise de estatística dos resultados do ensaio da resistência à compressão do betão, da resistência à tracção dos varões de aço e relatórios das propriedades mecânicas dos outros produtos relativos (últimos seis meses);
 - Resultados do ensaio do teor de álcalis do cimento e reactividade potencial de álcalis nos agregados e cimento (últimos seis meses).
- ✓ Informações e comprovativos do armazenamento e transporte;
- ✓ Método de sobreposição e construção do produto pré-fabricado do betão armado

Durante o processo da construção ou durante a recepção

- ✓ Registos da betonagem do betão, incluindo registo de cada camião de entrega do betão, tempo de mistura, tempo do início e conclusão da betonagem, registo do ensaio de abaixamento, área da betonagem (com identificação no desenho), quantidade total do betão e referências relativas das amostras do betão;
- ✓ Relatórios do ensaio de resistência à compressão do betão;
- ✓ Registos da chegada dos varões de aço (quantidade para cada entrega, relativos certificados de produção);
- ✓ Relatórios do ensaio de resistência à tracção dos varões de aço;
- ✓ Registos da chegada dos produtos pré-fabricados de betão armado (quantidade para cada entrega, relativos certificados de produção).

3. Inspeção, Ensaio e Recepção

Os itens para a inspeção do betão armado representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Inspeção do Betão Armado							
Itens para Inspeção \ Objectivos	Trabalhabilidade	Qualidade	Precisão	Controlo de Execução	Frequência da Inspeção	Norma a Cumprir	Nota
Varões de Aço – Transporte e Armazenamento		✓		✓	Cada Lote	c, d	
Varões de Aço – Cofragens e Escoramento ¹		✓	✓	✓	100% Inspeção Antes da Betonagem	c, d	
Varões de Aço – Instalação e Sobreposição ²		✓	✓	✓		a, c, d	
Betão – Transporte ³	✓	✓		✓		b, c, d	
Betão – Uniformidade	✓	✓		✓	100% Inspeção Durante a Betonagem	b, d	
Betão – Betonagem ⁴		✓		✓		b, c, d, f	
Betão – Cura ⁵		✓		✓	100% Inspeção	b, c, d	
Produto Pré-Fabricado – Transporte e Armazenamento	✓	✓		✓	100% Inspeção	d, e	
Produto Pré-Fabricado – Dimensão		✓	✓	✓	Cada Lote	d, e	
Produto Pré-Fabricado – Qualidade Visual		✓	✓	✓		d, e	
Produto Pré-Fabricado – Integridade		✓	✓	✓		d, e	

Nota: Itens para Inspeção

1 – Cofragens e Escoramento

Inclui o material das cofragens, dimensão, localização, limpeza, resistência a água, tratamento da superfície e remoção das cofragens e do escoramento.

2 – Instalação e Sobreposição dos Varões de Aço

Inclui amarração, mínima distância, mínimo recobrimento, máxima curvatura, corte e dobragem, ancoragem, sobreposição, instalação e fixação dos varões de aço.

3 – Transporte do Betão

Inclui inspeção dos equipamentos do transporte do betão e verificação da guia de remessa.

4 – Betonagem do Betão

Inclui método de betonagem, de compactação, o tratamento das juntas de construção e a deteção de temperatura do betão. Em geral, à chegada do betão à obra, a sua temperatura não deve ser superior a 35 °C. No caso de betão de grande volume (a dimensão mínima do elemento estrutural não deve ser inferior a 1 metro), devem ser adoptadas medidas de modo que a diferença de temperatura entre as diversas partes do betão já

betonado não exceda 20 °C, e que a temperatura máxima não ultrapasse 70 °C. Antes da betonagem, deverá ser planeada a instalação de dispositivos de medição de temperatura em locais adequados, de forma a permitir, após a execução da betonagem, a monitorização da diferença de temperatura entre o interior e a superfície do elemento de betão, da velocidade de arrefecimento e da temperatura ambiente.

5 – Cura do Betão

Inclui método da cura, tempo mínimo da cura. No caso de betão de grande volume, o período de cura húmida deve ser, no mínimo, de 14 dias.

Norma a Cumprir

- a – Norma de Aço para Armaduras Ordinárias [1]
- b – Norma de Betões [2]
- c – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado [3]
- d – Especificações Técnicas / Cadernos de Encargos
- e – Código de Prática da Construção do Betão Pré-Fabricado [13]
- f – 大體積混凝土施工標準 [18]

Inspeção, Ensaio e Recepção (Continuação)

Os itens para o ensaio e recepção de obras de betão armado representam-se no quadro seguinte:

Quadro dos Itens para Ensaio e Recepção de Obras do Betão Armado								
Itens para Inspeção	Objectivos	Propriedade do Material	Comportamento Estrutural	Norma do Ensaio	Frequência Recomendada do Ensaio	Norma a Cumprir	CrITÉrio de Aceitação	Nota
Betão	Mistura Inicial do Betão ¹	✓		BS 1881 [5] ISO 2736 [6] ISO 4012 [7] ISO 7031 [8]	No caso de betão sem certificado, para cada tipo de mistura e especificações do betão antes da betonagem	b, d, f		
	Ensaio de Abaixamento	✓		ISO 4109 [9]	Cada 15m ³	b, d, f	i	
	Ensaio de Resist. à Compressão do Betão ²	✓	✓	ISO 4012 [7]	Cada 30m ³ ❶	b, d, f	i	
	Ensaio de Resist. à Compressão do Carote ³	✓	✓	BS 1881 [5]	Detalhes em ❷	b, d, f	i	
	Ensaio de Impermeabilidade	✓	✓	ISO 7031 [8]	Cada lote ❸	b, d, f	i	
	Determinação do Teor de Cloretos		✓		Se Necessário ❹	b, d, f	i, v	
	Teste de resistência à penetração do ião cloreto ⁴		✓	DB44/T 556 [15] GB/T 50476[16]	Cada lote ❺	b, d, f	i, vi	
Varões de Aço	Determinação da Dimensão e Massa	✓			Para cada Lote (mesmo forno e classe), a amostragem deve ser	a, d	ii	
	Ensaio de Resist. à Tracção dos Varões de Aço	✓		EN 10002-1 [10] BS 4449 [11]	<10 t - 3 >10 e <30t - 6 >30 t - 9	a, d	ii	
	Ensaio de Resist. à Tracção na Ligação ⁵	✓	✓	EN 10002-1 [10] BS 4449 [11]	Cada Lote; Detalhes em ❻	a, c, d	iii	
	Ensaio de Resist. à Tracção de Ancoragens no Local ⁶		✓	BS 5080 [14]	Cada Lote ❼	a, d	iv	

	Análise Química	✓		-	Se Necessário ⑤	a, d	ii	
	Ensaio de Dobragem e Desdobragem	✓		BS 4449 [11]		a, d	ii	
	Ensaio de Fadiga		✓	BS 4449 [11]		a, d	ii	
Produto Pré-Fabricado de Betão Armado	Ensaio de Perfuração	✓	✓	BS 1881[5]	Se Necessário ⑤	b, d, e	iii	
	Ensaio de Penetração de Água		✓	ASTM E331-96 ASTM E547-96		d, e	iii	
	Ensaio da Propriedade Estrutural ⁷		✓			d, e	iii	

Nota: Método de Inspeção

1 – Mistura Inicial do Betão

Inclui ensaio de abaixamento, ensaio de resistência à compressão, determinação de uniformidade, análise granulométrica e análise de outras propriedades do betão (nomeadamente para caso necessário, deve ser realizado ensaio de absorção de água e de impermeabilidade. Para estruturas offshore ou concreto estrutural expostos a ambientes com alto teor de íons cloreto, a determinação da resistência ao íon cloreto deve ser considerada.)

2 – Ensaio de Resistência à Compressão do Betão

Para cada amostragem deve ser coleccionado um conjunto de amostras, com três ou mais provetes para realização do ensaio de resistência à compressão. A média dos resultados aos 28 dias deve ser considerado como resultado final. Se necessário, pode ser realizado ensaio de resistência aos dias antecipados ou atrasados para fim da referência.

3 – Ensaio de Resistência à Compressão do Carote

No caso do resultado final dos carotes não está de acordo com os requisitos do critério de aceitação, ou o número dos resultados de amostras existentes não estão de acordo com o plano de amostragem das especificações ou dos cadernos de encargos, ou erro durante a execução, ou por condições climáticas que afectam a resistência, a durabilidade, a segurança da estrutura, deve se realizado carotes adicionais para a verificação a resistência.

4 – Teste de resistência à penetração do íon cloreto

Incluindo a penetrabilidade de íons cloreto no betão e a resistência do betão ao índice de migração de íons cloreto.

5 – Ensaio de Resistência à Tracção na Ligação

Inclui ligação proveniente dos acopladores mecânicas, soldadura ponta a ponta e soldadura de sobreposição, etc.

6 – Ensaio de Resistência à Tracção de Ancoragens no Local

O ensaio de resistência à tracção de ancoragens no local deve ser realizado em diferentes localizações de ancoragens no betão, para determinar a estabilidade e fiabilidade de ancoragens. Deve ser seleccionado na zona do ensaio, três varões de ancoragens para o ensaio. O método de ensaio consiste, principalmente, em utilização de equipamentos para aumento de carga de acordo com as recomendações da equipa de projectista, no fim de garantir que as ancoragens não tivessem sinais de estragos, movimentos ou deformações.

7 – Ensaio da Propriedade Estrutural do Produto Pré-Fabricado do Betão Armado

Inclui ensaio de carga, de flexão, de resistência do acabamento final, etc, de acordo com diferentes tipos de produto pré-fabricado do betão armado.

Norma a Cumprir

- a – Norma de Aço para Armaduras Ordinárias [1]
- b – Norma de Betões [2]
- c – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado [3]
- d – Especificações Técnicas / Cadernos de Encargos
- e – Código de Prática da Construção do Betão Pré-Fabricado [13]
- f – 預製節段梁批核及驗收程序 – 澳門輕軌工程預製節段梁項目 [17]

Frequência Recomendada do Ensaio

- ❶ – Os detalhes da amostragem para ensaio de resistência à compressão pode ser consultado no artigo 9 de “Norma de Betões” e requisitos das especificações técnicas.
- ❷ – No caso de verificação de imperfeição ou incerteza relativo ao resultado de ensaio numa zona particular, deve ser realizado três carotes adicionais com diâmetro de 70 ou 100mm para a devida verificação.
- ❸ – No caso em que os resultados tenham relevantes interesses relativos aos requisitos do projecto ou da construção; ou os resultados / parâmetros tenham grande influência no projecto ou qualidade, deve ter especial consideração.
- ❹ – Para a mesma classe, especificações, e mesmo tipo de ligação dos varões de aço, um conjunto de três amostras deve ser realizado ensaio de resistência à tracção. Quantidade máxima por lote é de 500 peças.
- ❺ – No que se refere a recepção de ancoragens, recomenda-se o ensaio de resist. à tracção de ancoragens no local para cada lote. Sendo a lote considerada ancoragens realizadas ao mesmo tempo na mesma área de construção.
- ❻ – Com base nas considerações de projeto, a frequência de amostragem deve ser determinada antes da construção. Um conjunto de amostras (3 amostras) deve ser retirado de cada lote de aceitação para teste de permeabilidade à água.
- ❼ – Quando a vida útil projetada da estrutura de betão exceder 50 anos, cada lote de concreto (não superior a 1500m³ ou a cada três meses) deverá ser considerado.

Critério de Aceitação

- i – No que se refere aos requisitos da resistência do betão e controlo de qualidade, pode ser consultado na “Norma de Betões” (Decreto-Lei 42/97/M) e nas especificações técnicas.

Relativamente à verificação da resistência dos provetes cúbicos resultantes das misturas de ensaio, a avaliação deve cumprir as disposições constantes das Especificações Técnicas do Projecto/Caderno de Encargos e/ou dos requisitos definidos pela Entidade Projetista. Na ausência de indicadores ou critérios técnicos aplicáveis, a avaliação pode ser efectuada de acordo com os requisitos abaixo indicados:

$$f_{cum} \geq f_{ck} + 1.645 S_n$$

$$f_{cu,min} \geq f_{ck} + 5 \text{ MPa}$$

onde:

f_{cum} - resistência média do conjunto dos cubos ensaiados

$f_{cu,min}$ - menor valor individual de resistência dos cubos ensaiados

f_{ck} - resistência característica especificada para o betão

S_n - desvio padrão das resistências dos cubos ensaiados (obtido ou pelo valor estatístico do mesmo tipo de betão com não menos de 30 conjuntos de amostras e o valor mínimo não inferior a 3.0 MPa, ou não havendo informação estatística será considerado o valor de 5.0 MPa)

- ii- No caso de amostra não está de acordo com os requisitos da dimensão e propriedades físicas consta no Quadro 4 de "Normas de Aços para Armaduras Ordinárias" (Decreto-Lei 64/96/M), a relativa lote deve ser considerado insatisfeita. No caso de amostra não verificar uma das condições referidas, deve ser realizado outra amostragem para a devida verificação. No caso de uma das amostras do conjunto da re-amostragem não verificar uma das condições, a relativa lote deve ser considerado insatisfeita.
- iii- No caso dos resultados do ensaio não estão de acordo com os requisitos, deve ser realizado o dobro da quantidade para a devida verificação.
- iv- No caso dos resultados do ensaio não estão de acordo com os requisitos das relativas especificações técnicas, recomenda-se uma outra amostragem de três amostras de ancoragens pertencentes a mesma zona de recepção para a devida verificação. Para as ancoragens que não estão de acordo com os requisitos do ensaio, devem ser submetidos proposta remediável para o adequado trabalho de reforço.
- v- A determinação do teor de íons cloreto no betão deve atender aos requisitos da tabela a seguir.

Teor máximo de cloreto na mistura de betão

Uso final do betão	Máximo teor de cloretos (em relação à massa de materiais cimentíticos)
Betão simples	1.00%
Betão armado (ou contendo outros dispositivos de metal incorporados)	0.20% (classe de exposição 1 & 2) 0.10% (classe de exposição 3)
Betão pré-esforçado	0.06% (classe de exposição 1, 2 & 3)

Máximo teor de cloreto no betão endurecido

Uso final do betão	Máximo teor de cloretos (em relação à massa de betão)
Betão simples	0.15%
Betão armado (ou contendo outros dispositivos de metal incorporados)	0.03% (classe de exposição 1 & 2) 0.015% (classe de exposição 3)
Betão pré-esforçado	0.009% (classe de exposição 1, 2 & 3)

- vi- A determinação da penetrabilidade de íons cloreto no betão deve atender aos requisitos da tabela a seguir

Penetrabilidade de iões cloreto no betão com base na carga passada (na idade de 56d, C)

Período de serviço do projecto	100 anos		70 anos		50 anos	
Classe de exposição	Moderada, severa	Muito severa, extremo	Moderada, severa	Muito grave, extremo	Moderada, grave	Muito grave, extremo
Carga passada em 6 horas	<950	<800	<1100	<800	<1350	<950

Resistência do betão ao índice de migração do ião cloreto, DRCM (na idade de 28 dias, 10-12m²/s)

Período de serviço do projecto	100 anos		70 anos		50 anos	
Classe de exposição	Moderada, grave	Muito grave, extremo	Moderada, grave	Muito grave, extremo	Moderada, grave	Muito grave, extremo
Índice de migração do ião cloreto	≤ 6	≤ 4	≤ 7	≤ 4	≤ 10	≤ 6

4. Referências

- [1] Norma de Aço para Armaduras Ordinárias, DECREE-LAW no 64/96/M.
- [2] Norma de Betões, DECREE-LAW no 42/97/M.
- [3] Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, DECREE-LAW no 60/96/M.
- [4] Norma de Cimentos, DECREE-LAW no 63/96/M.
- [5] BS1881, Testing concrete. Methods for analysis of hardened concrete
- [6] ISO2736-1, Concrete tests -- Test specimens -- Part 1: Sampling of fresh concrete
- [7] ISO4012, Concrete -- Determination of compressive strength of test specimens
- [8] ISO7031, Concrete, hardened – Determination of penetration depth, under pressure
- [9] ISO4109, Fresh concrete -- Determination of the consistency -- Slump test
- [10] EN10002, Tensile testing of metallic materials
- [11] BS4449, Specification for carbon steel bars for the reinforcement of concrete
- [12] 混凝土工程施工規範與解說, 科技圖書
- [13] Code of Practice for Precast Concrete Construction, HK SAR Government Buildings Department
- [14] BS5080: Part 1, Structural fixings in concrete and masonry, Method of test for tensile loading
- [15] 抗海水腐蝕混凝土應用技術導則, DB44/T 566
- [16] 混凝土結構耐久性設計規範, GB/T 50476
- [17] 預製節段梁批核及驗收程序 – 澳門輕軌工程預製節段梁項目
- [18] 大體積混凝土施工標準, GB 50496