

Agosto 2005  
AC05108LIS/ENG

## ESTRUTURAS DESTINADAS A CONTER LÍQUIDOS RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO

Luís Viegas Mendonça



# ESTRUTURAS DESTINADAS A CONTER LÍQUIDOS RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO

Luís Viegas Mendonça\*

## Sumário

---

O presente artigo tem por objectivo fornecer algumas indicações sobre os materiais e métodos de construção recomendados para a execução de estruturas em betão armado não projectado, enterradas, destinadas a conter líquidos.



São referidos aspectos fundamentais, tais como qualidade e propriedades dos materiais a exigir, processos construtivos, exigências funcionais e acabamento desse tipo de estruturas.

## GENERALIDADES

---

A qualidade de funcionamento tem a ver com o controlo dos estados limites de fendilhação e deformação, e a durabilidade tem a ver com o controlo da eficácia da estrutura, com a deterioração do betão e/ou das armaduras, e com a impermeabilidade.

Na fase de concepção, a qualidade depende essencialmente da correcção das hipóteses de cálculo adoptadas e da pormenorização. Na fase de execução depende da qualidade dos materiais e, muito especialmente, da composição, colocação, compactação e cura do betão e do recobrimento das armaduras.

A principal característica que uma estrutura destinada a conter líquidos deve possuir, além da resistência, é, obviamente, a impermeabilidade.

Para se assegurar a impermeabilidade do betão, os elementos de construção devem apresentar-se não fissurados.

Por outro lado, para que o betão permaneça ao longo do tempo com o meio básico inicial capaz de impedir a corrosão das armaduras e, assim, evitar a fendilhação, é necessário evitar a sua carbonatação e evitar a entrada de elementos acidificantes.

A maior ou menor facilidade de transporte de agentes agressivos dissolvidos na água depende basicamente da porosidade e das condições ambientais na superfície do betão.



O meio mais eficaz para evitar esse transporte é a execução de betões compactos.

## BETÃO

---

### RESISTÊNCIA DO BETÃO

Devido ao atrás exposto e, mais particularmente, devido ao valor da relação água/cimento, o betão impermeável corresponde a uma classe de resistência não inferior a C25/30, referindo mesmo alguns autores, que a classe mínima de betão a utilizar neste tipo de estruturas deverá ser C30/35. Isto é válido mesmo quando se utilizam adjuvantes.

Note-se que da análise dos resultados de ensaios em cubos realizados com betão hidrófugo, concluiu-se que a resistência à compressão obtida para um C25/30 é sempre significativamente superior a 30 MPa. Daqui se pode concluir que não é rentável, nem exequível, a correcta construção destas estruturas com betões de baixa resistência.

### AGREGADOS

Só deverão ser utilizados agregados isentos de matérias nocivas e de elementos com forte tendência a absorver água.

Os agregados deverão corresponder ao indicado nas Normas Portuguesas ou Europeias e nas Especificações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Uma vez que o betão será sempre vibrado, deverá utilizar-se uma granulometria descontínua, a qual permite uma melhor compactação.

O calibre máximo dos agregados é função da armadura e das dimensões dos elementos estruturais da obra. Em geral não deve ultrapassar 1/5 da espessura das paredes. Se o espaço livre entre varões for pequeno ou se o recobrimento for reduzido, há que ter cuidado para que a maior parte dos elementos granulares seja inferior à distância entre varões e à distância armadura – cofragem.

## **RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO**

A relação a/c (em que a parcela “água” compreende a água de amassadura e a água de constituição) condiciona a impermeabilidade do betão. Esta relação deverá ter um valor máximo próximo de 0,5.

A permeabilidade do betão é considerada aceitável quando a resistência à penetração de água, determinada em ensaio de acordo com a ISO 7031, tiver valores máximos de penetração inferiores a 50 mm e valores médios de penetração inferiores a 20 mm.

Por outro lado, a carbonatação do betão atinge apenas poucos milímetros caso a relação água/cimento seja reduzida. Se este valor for muito elevado a profundidade carbonatada, em 1 a 2 anos, pode atingir facilmente valores superiores a 2 cm. O seu aumento será exponencial ao longo do tempo.

## **CIMENTO**

Na presença de águas não agressivas poder-se-ão utilizar todos os cimentos normalizados. No caso de águas sulfatadas, com um teor de SO<sub>4</sub> superior a 400 mg/l, terá que se utilizar um cimento SRC (segundo CEM Bureau) com uma boa resistência aos sulfatos.

Recomenda-se a utilização de cimento com fraca libertação de calor, afim de reduzir a fendilhação por retracção.

Preconiza-se a adição de cinzas volantes, em substituição de parte do cimento, afim de baixar o calor de hidratação.

### **TEOR EM “FINOS”**

O teor em “finos” é, a par da relação água/cimento, um factor particularmente importante para a obtenção de um betão impermeável. Por “finos” entende-se a quantidade de cimento adicionada bem como a proporção da granulometria 0-0,25 mm dos elementos granulares, por metro cúbico de betão.

Para o teor em “finos” apresentam-se valores indicativos em função do calibre máximo dos elementos granulares:

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| 8 mm  | 525 Kg/m <sup>3</sup> |
| 16 mm | 450 Kg/m <sup>3</sup> |
| 32 mm | 400 Kg/m <sup>3</sup> |

Estes valores demonstram que, à medida que a dimensão máxima dos inertes aumenta, o teor em “finos” diminui (em peso por metro cúbico).

### **ADJUVANTES**

Os adjuvantes não deverão ser considerados a não ser como “uma ajuda” na perspectiva da preparação de um betão impermeável.

Os hidrófugos existentes no mercado reduzem as necessidades em água, aumentando a densidade, a resistência e, por conseguinte, a impermeabilidade do betão. Nunca deverá ser utilizado um produto recomendado unicamente para rebocos e argamassas para alvenarias, nem se deverão utilizar produtos que não sejam de marcas consagradas, pois certos hidrófugos poderão dar origem a uma retração elevada ou à formação de uma quantidade elevada de bolhas de ar. Os hidrófugos diminuem a capilaridade aumentando por isso a estanqueidade.

Os retardadores de presa permitem construir as estruturas sem juntas de construção, uma vez que é possível – em função da dosagem – betonar “fresco sobre fresco”, após uma curta interrupção dos trabalhos. À medida que a betonagem avança, o peso do betão que vai sendo posto em obra deforma os moldes que contêm o betão colocado, o qual, se já estiver no estado sólido, pode fissurar. No entanto, se ainda não tiver feito presa, suportará a deformação sem fendilhação. Permitem a vibração retardada aumentando assim a tensão de rotura e a densidade, diminuindo a quantidade de ar incluído depois de endurecido.

Os plastificantes reduzem a quantidade de água de amassadura entre 5 a 15%, mantendo a trabalhabilidade constante. A tensão de rotura à flexão e à compressão aumenta e a permeabilidade diminui.

Nunca se deverão utilizar adjuvantes não homologados e mesmo estes só deverão ser utilizados após a realização de ensaios de qualidade.

Quando se utiliza “betão-pronto”, deverão especificar-se no projecto e caderno de encargos as características pretendidas para o betão, de acordo com a EN 206.

## **CONSISTÊNCIA**

A consistência do betão deverá ser adaptada às características da obra e aos métodos construtivos. Armaduras pouco espaçadas e elementos de construção de

pequena espessura exigem um betão fluido Este betão contém mais água e mais cimento do que um betão mais rápido. Para as lajes de fundo, na maioria dos casos poder-se-á utilizar um betão plástico.

Recomenda-se, sempre que possível, utilizar um betão com trabalhabilidade semi-fluída a plástica.

## **COLOCAÇÃO DO BETÃO EM OBRA**

A espessura das camadas de betão posto em obra em cada betonagem não deverá exceder 40 cm. Após vibração, a superfície não deverá apresentar nenhuma película de água.

Para alturas de “despejo” do betão superiores a 1,5 – 2 m deverão ser utilizadas “caleiras”, para evitar a segregação.

## **COMPACTAÇÃO**

Um betão fluído, com uma curva granulométrica contínua, não deve ser compactado por muito tempo devido à sua tendência a segregar. No entanto, é sempre conveniente pós-compactar o betão, ou seja, compactá-lo outra vez, o mais tarde possível, tendo em conta que o vibrador deverá penetrar no betão e que o buraco criado neste deverá fechar-se após extracção do vibrador.

Para evitar a segregação do betão, bem como os locais não estanques, concomitantes ao nível das ancoragens de aperto da cofragem, é também necessário prever nova compactação. Uma vez que não existe sobrecarga aplicada na parte superior da parede torna-se, também, conveniente pós-compactá-la.



Um betão com uma granulometria descontínua é mais fácil de compactar que um betão com uma granulometria contínua. Uma granulometria descontínua evitará também a segregação a seguir a uma compactação demasiado longa ou irregular.

## **CURA DO BETÃO**

A cura do betão influi grandemente na sua estanqueidade uma vez que a velocidade de saída de água condiciona a dimensão dos canais criados por esta no interior do betão. Assim, os betões devem ser protegidos contra uma secagem demasiado rápida através de pulverização com água, ou de outro método com o mesmo efeito, durante um determinado período de tempo.

O tempo de cura depende directamente da relação  $a/c$ . Se  $a/c$  for de 0,5 o tempo de cura é de, aproximadamente, uma semana, caso seja de 0,6 esse período poderá chegar a 40 dias.

## **ARMADURAS**

---

Todas as armaduras a utilizar deverão ser nervuradas (alta aderência). No referente ao espaçamento e distribuição das armaduras, dado que a fendilhação não é aceitável neste tipo de construção, mesmo que existam zonas onde não sejam necessárias armaduras por razões de resistência, deverão colocar-se varões em ambas as faces com um afastamento que não ultrapasse os 20 cm. Sempre que possível, recomenda-se mesmo um afastamento máximo de 15 cm e um afastamento mínimo de 10 cm. Há que ter especial atenção com as zonas de empalmes, pois o espaço ocupado pelos varões será o dobro.

As armaduras aplicadas não deverão apresentar oxidação na altura da betonagem, pois caso isso se verifique ela continuará a evoluir no interior do betão e poderá provocar o “descasque” da camada de revestimento.

## **COFRAGEM**

---

A cofragem a utilizar na construção deste tipo de estruturas deve ser bastante sólida uma vez que a estabilidade do betão é particularmente importante. A cofragem deve ser absolutamente estanque. Caso isto não se verifique devem utilizar-se bandas de material não permeável aplicadas nas juntas.

A betonagem contínua do fundo e das paredes é bastante favorável à obtenção de uma estrutura impermeável. Para este efeito, a cofragem interior é fixada à cofragem exterior.

Se a armadura da laje de fundo for significativa pode apoiar-se aí a cofragem interior. O sulco que daí resultará deverá ser posteriormente colmatado com argamassa à base de resina epoxídica e nunca com argamassa de cimento. As escoras atravessando o fundo deverão ser totalmente abolidas.

A cofragem de madeira é a mais indicada a este tipo de construção. O melhor pré-tratamento desta cofragem é a água. Se não for possível saturar os moldes antes da betonagem, deverá ser utilizado um óleo descofrante adequado (o que implicará a limpeza do betão após descofragem).

Sempre que um óleo deste tipo for aplicado, a superfície do betão deve ser limpa com jacto de areia antes da aplicação do revestimento.

Relativamente aos prazos de descofragem, de uma maneira geral, serão respeitados os prazos estipulados no Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado.

## CONSTRUÇÃO

---

### GENERALIDADES

Ao contrário do que se poderá supor, a corrosão das armaduras não é condicionada pela fendilhação normal do betão (0,1 a 0,3 mm). O perigo de corrosão só se verifica se a estanqueidade e/ou o recobrimento do betão forem insuficientes, pelo que há que ter grande cuidado na execução. Note-se que, quer a betonagem e vibração, quer a cura, têm grande influência na compacidade e assim na estanqueidade do betão.

Recomenda-se a utilização de espaçadores suficientes entre as armaduras e a cofragem, e o aumento do recobrimento regulamentar, no mínimo de 4 cm, aconselhando-se 5 cm. Note-se que, para esta espessura de recobrimento, não se poderão realizar elementos com espessura inferior a 20 cm, sendo este um valor considerado, ainda assim, reduzido para se garantir uma boa execução. Recomenda-se um mínimo de 25 cm de espessura, para que seja possível realizar uma execução com a qualidade pretendida.

### BETÃO DE FUNDAÇÃO

Antes da betonagem do fundo deve colocar-se uma camada granular inferior de enrocamento e proceder à sua compactação. Deverá colocar-se sobre esta última uma camada de betão de limpeza. Como orientação, a camada granular deverá ter

uma espessura não inferior a 15 cm e a camada de betão deverá ter uma espessura próxima dos 10 cm.

## **BETÃO ESTRUTURAL**

O fundo deverá ser cheio simultâneamente em toda a sua espessura e deverá ser bem compactado. Nunca se deverá nivelar o fundo à custa da aplicação de uma camada de cimento. As paredes devem ser realizadas de tal forma que não seja necessário rebocá-las.

## **JUNTAS**

Recomenda-se que, quer a concepção estrutural, quer a execução, preveja uma estrutura monolítica (sem juntas). Se se tornar necessária a existência de uma junta de construção entre a laje e as paredes, será necessário utilizar uma resina para ligação entre betões, devendo colocar-se “water-stops” ou perfis hidro-expansivos nestas ligações.



As estruturas contendo líquidos devem ser separadas de outros elementos de construção através da utilização de juntas de dilatação, para garantir que não se gerem esforços não previstos em projecto.

## **TUBAGENS**

As tubagens que atravessam a estrutura deverão ser colocadas antes da betonagem afim de evitar zonas reparadas, de fraca impermeabilidade. Caso seja necessária, qualquer reparação junto a estas zonas, deverá utilizar-se uma resina apropriada.



## **REVESTIMENTO**

Todas as estruturas destinadas a conter líquidos deverão ter uma camada de revestimento impermeável, que evite o contacto do betão com qualquer eventual agente agressivo.