

## FUNDAMENTOS PARA A PRODUÇÃO E CONTROLE DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO EM LABORATÓRIO<sup>1</sup>

**Eduardo Alves LIMA<sup>2</sup>**

Discente do Curso de Engenharia Civil  
IFSP/*Campus* São Paulo

**Luciano Luis Ribeiro DA SILVA<sup>3</sup>**

Mestre em Engenharia Civil/Poli-USP  
Docente do Dept<sup>o</sup>. de Construção Civil/IFSP-*Campus* São Paulo

### RESUMO

O concreto de alto desempenho, que é caracterizado por apresentar alta resistência e durabilidade, é um material em crescente utilização no mundo. Para o desenvolvimento desse concreto é fundamental a parte laboratorial. Este trabalho tem o objetivo de indicar as ações necessárias para capacitar o laboratório do Departamento de Construção Civil do Campus São Paulo do IFSP a produzir e controlar concreto de alto desempenho. A metodologia adotada teve as etapas de: levantamento do referencial teórico, realização de visita a um laboratório especializado, entrevistas com laboratoristas e análise das condições vigentes do Laboratório do IFSP. Como resultado, apresenta-se uma série de recomendações – da escolha dos materiais até os ensaios com o concreto endurecido. Essas recomendações servem para capacitar um laboratório a produzir e controlar concreto de alto desempenho.

**Palavras-chave:** Concreto de Alto Desempenho. Construção Civil. Ensaios Tecnológicos.

### Introdução

No Brasil, assim como no mundo, é crescente a utilização de Concreto de Alto Desempenho (CAD). Esse concreto caracteriza-se por apresentar maiores resistências

---

<sup>1</sup> Trabalho resultante de Iniciação Científica intitulada “Desenvolvimento de concreto de alto desempenho no *Campus* São Paulo – IFSP”, referente ao Edital 256/2015, sob orientação do Prof. Luciano L. R. SILVA.

<sup>2</sup> Endereço eletrônico: edugir@gmail.com

<sup>3</sup> Endereço eletrônico: lucianors@ifsp.edu.br

mecânicas, ser mais durável aos ataques de agentes agressivos e ser mais trabalhável em obra do que o concreto convencional (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para Tutikian *et al* (2011), o CAD não é uma material novo – revolucionário – é apenas uma evolução dos concretos convencionais, utilizando praticamente as mesmas matérias-primas, com os mesmos princípios básicos de resistência, de trabalhabilidade e de durabilidade. Porém, para superar os parâmetros anteriores, são necessários procedimentos especiais denominados de alto desempenho.

De acordo com Mendes (2002), no início dos anos 70, os concretos de alta resistência atingiam a barreira técnica dos 60 MPa. Durante os anos 80, com a utilização metódica da sílica ativa e com o advento dos superplastificantes, esta barreira foi ultrapassada.

O edifício mais alto do mundo até este momento, o Burj Khalifa, em Dubai, com 828m de altura e 160 pavimentos, tem parte de sua estrutura em CAD com resistência de até 80 MPa, como mostra a figura 1:



Figura 1 – Edifício Burj Khalifa construído com CAD  
Fonte: Tutikian *et al* (2011)

Segundo Tutikian *et al* (2011), o princípio básico para a produção do CAD está fundamentado na diminuição da porosidade do concreto, por meio da modificação da estrutura dos poros (tipos, tamanhos e distribuição). Nesse sentido, uma das ações

necessárias é a diminuição da relação água/aglomerante e da quantidade total de água por m<sup>3</sup>, isso por meio do uso de aditivos plastificantes e/ou superplastificantes.

Conforme Metha e Monteiro (2008), podemos dividir o concreto em três fases: a pasta de cimento hidratada, a zona de transição (ZT) e os agregados, apesar de a mistura ser um todo. Para que o concreto atue como material composto homogêneo, em que as três fases tenham aproximadamente o mesmo comportamento resistente, é necessário que a resistência da ZT, assim como do agregado, seja da mesma ordem de grandeza. A resistência da pasta pode ser controlada pela relação água/cimento, como indicam Tutikian *et al* (2011).

Desse modo, ao aumentar a resistência dos concretos, principalmente após melhorar a pasta de cimento hidratada e a ZT, os agregados tornam-se o elo fraco da mistura. Para o CAD, devem-se selecionar agregados de maior resistência, sendo necessário buscar o conhecimento da petrografia e da superfície de fratura da rocha, escolhendo as mais resistentes e sãs (TUTIKIAN *et al*, 2011).

Nesse aspecto, os concretos de alta resistência têm sido classificados em cinco classes, correspondendo a incrementos de 25 Mpa (AÏTCIN, 2000). A classe I representa um concreto de alto desempenho tendo a resistência à compressão entre 50 e 75 MPa, a classe II entre 75 e 100 MPa, a classe III entre 100 e 125 MPa, a classe IV entre 125 e 150 Mpa e a classe V acima de 150 MPa.

Tutikian *et al* (2011) explicam que qualquer estudo de dosagem dos concretos tem fundamentos científicos e tecnológicos fortes, mas sempre envolve uma parte experimental em laboratório. Somente àqueles capazes de dominar essas duas características são conferidos os grandes benefícios econômicos e técnicos de um correto uso de um concreto bem dosado.

Assim, neste trabalho, objetivamos identificar as necessidades para capacitar o laboratório de Departamento de Construção Civil do *Campus* São Paulo do IFSP para produzir e controlar concreto de alto desempenho. Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente levantamos o referencial teórico sobre a produção de concreto de alto desempenho em laboratório. Em seguida, realizamos uma visita a um laboratório especializado em concreto de alto desempenho, verificando as condições necessárias. Após esses levantamentos, fizemos uma verificação da situação atual do laboratório do

Departamento de Construção Civil do *Campus* São Paulo e, por fim, elaboramos uma lista de recomendações para o Laboratório do *Campus* São Paulo do IFSP produzir e controlar concreto de alto desempenho.

### **Materiais constituintes do concreto de alto desempenho**

O concreto de alto desempenho é preparado por meio de cuidadosa seleção de cada um dos seus integrantes. O desempenho e a qualidade de cada integrante tornam-se cruciais à medida que a resistência almejada aumenta. O CAD é composto fundamentalmente por: cimento, água, agregado graúdo, agregado miúdo, sílica ativa e superplastificante.

#### **Cimento**

A escolha do cimento mais adequado para produção de CAD é extremamente importante, uma vez que este material influencia tanto a resistência da pasta quanto à aderência pasta-agregado. Muitas vezes, é obrigatório utilizar o cimento disponível comercialmente na região em que se está produzindo o concreto (TUTIKIAN *et al*, 2011).

Para a seleção final do cimento mais adequado, além de suas propriedades mecânicas, outras três características devem ser levadas em consideração: sua finura, sua composição química e sua compatibilidade com os aditivos.

Em termos de finura, quanto maior for a superfície específica, em contato com a água, mais rapidamente ocorrerá a hidratação do cimento, aumentando-se sua resistência à compressão, principalmente nas primeiras idades. Por outro lado, quanto mais fino o cimento maior a dosagem de superplastificante necessária para alcançar uma mesma trabalhabilidade, visto que a eficiência do aditivo é influenciada diretamente pela finura do cimento (AÏTCIN, 2000).

Tutikian *et al* (2011) recomendam escolher cimentos mais puros possíveis, até porque a quantidade de pozolanas a serem adicionadas na mistura será grande, porém de qualidade superior às incorporadas nos cimentos comerciais, como a cinza volante e a

escória alto-forno. Por isso, sem levar em conta o tamanho das partículas, cimentos CP I e CP V ARI são os mais recomendados.

Nos concretos de alto desempenho, o problema de compatibilidade cimento-aditivo é muito mais crítico do que no concreto convencional, sendo que alguns cimentos podem ser até rejeitados, não porque seja impossível atingir a resistência desejada, mas porque é impossível manter a trabalhabilidade (MENDES, 2002).

Para verificar a compatibilidade do cimento *versus* aditivo, são de grande importância ensaios de reologia como mini-slump ou cone de Marsh (AÏTCIN, 2000). No concreto convencional, a dosagem de cimento usualmente empregada está na faixa de 300 kg/m<sup>3</sup>. Para a fabricação de CAD, o consumo de cimento varia entre 400 e 550 kg/m<sup>3</sup> (MENDES, 2002).

Teores de cimento acima de 530 kg/m<sup>3</sup> podem levar a uma queda de resistência mecânica, em virtude da perda de aderência entre a pasta e o agregado, resultante da fissuração por tensões de retração. A solução para este problema pode ser conseguida com a substituição parcial do cimento por materiais cimentícios suplementares, como a sílica ativa e pelo aumento da eficiência do cimento no concreto, obtida com o auxílio dos aditivos superplastificantes (MENDES, 2002).

## **Água**

Os requisitos para a água utilizada na produção de concretos de alta resistência são os mesmos adotados para a água utilizada nos concretos convencionais. Em geral, as normas internacionais consideram a água potável, proveniente da rede normal de abastecimento público, adequada ao emprego no amassamento de concretos (MENDES, 2002).

## **Agregado graúdo**

A seleção do agregado graúdo adequado é condição fundamental para a produção de concretos de alto desempenho. A lavagem dos agregados graúdos é uma forma de minimizar a quantidade de pó e substâncias deletérias presentes na superfície

dos agregados e fortalecer a aderência na ligação agregado-pasta. A adoção deste procedimento conduz a ganhos de até 8% na resistência à compressão do CAD (MENDES, 2002).

Para Tutikian *et al* (2011), os agregados graúdos devem ter a dimensão máxima característica limitada, pois os de maior granulometria apresentam mais falhas na sua microestrutura e retêm mais água de exsudação, provocando uma ZT maior. É sabido, no entanto, que agregados de dimensão muito reduzida demandam quantidade maior de água de amassamento, devendo-se, novamente, encontrar o equilíbrio que proporcione as melhores propriedades nos estados frescos e endurecidos.

Aitcin (2000) atesta que os diâmetros máximos característicos recomendados são: 25 mm para CAD classes I e II (Brita 2), 19 mm para classe III (Brita 1) e 12mm para Classes IV e V (Brita 0). Sempre que possível devem ser escolhidos os agregados de menores diâmetros disponíveis economicamente na região.

Em relação à distribuição granulométrica, Tutikian *et al* (2011) recomendam buscar o empacotamento de todos os agregados, seguindo uma distribuição contínua que apresente o menor volume de vazios possível. Para isso, pode ser usado o Método de O'Reilly. Para Aitcin (2000), os agregados graúdos devem apresentar a forma mais cúbica possível, podendo ser utilizadas rochas calcárias, dolomíticas, graníticas e diabásicas.

### **Agregado miúdo**

A escolha do agregado miúdo é determinada tanto pelo seu efeito na demanda de água como pelo seu empacotamento físico. Desse modo, quanto à forma, são preferíveis as partículas arredondadas e lisas, pois exigem menos água de amassamento (MENDES, 2002).

Em relação à procedência dos agregados miúdos, tanto as areias naturais de rios, quanto as artificiais, obtidas por britamento de rocha, podem ser utilizadas. Contudo, recomendam o uso de areia natural de rio para evitar uma demanda excessiva de água.

Conforme Aitcin (2000), o agregado miúdo deve possuir, de preferência, módulo de finura entre 2,7 e 3,0, sem partículas finas. Com relação à resistência à compressão

do agregado miúdo, o autor adverte que a areia natural deve conter uma quantidade mínima de partículas maiores que 4,8 mm porque, em alguns casos, estas partículas não são muito fortes e podem se tornar o elo mais fraco no concreto.

Por fim, Mendes (2002) recomenda que o agregado miúdo seja proveniente de rio, com quantidade mínima de finos, limpo, e livre de impurezas orgânicas, argila e silte.

#### **Adição mineral: sílica ativa**

Entre as adições minerais, a sílica ativa é a mais empregada para a produção de CAD. Para Aïtcin (2000), sempre que a sílica ativa estiver disponível a preços competitivos, seu uso é recomendado, pois será então mais fácil atingir a reologia e a resistência.

A sílica ativa é um pó fino cuja cor varia de cinza claro a cinza escuro. A cor da sílica ativa é determinada pelo teor de carbono e de óxido de ferro presentes. Do ponto de vista físico, as partículas de sílica ativa são esféricas, extremamente pequenas, com diâmetro médio entre 0,1 $\mu$ m e 0,2 $\mu$ m, sendo 50 a 100 vezes menores que as do cimento (MENDES, 2002).

A sílica ativa possui duas formas de atuação no concreto: uma física – o denominado efeito de filler (ou efeito de preenchimento de vazios) – que atua no aumento da coesão e da compacidade; e outra química, que é a reação pozolânica de transformação do hidróxido de cálcio no silicato de cálcio hidratado (ALMEIDA, 2005).

A dosagem de sílica ativa é expressa como percentagem da massa de cimento utilizada no traço em questão, representando a relação entre a massa de sílica ativa e a massa de cimento. Normalmente, a sílica ativa tem sido usada no CAD com uma dosagem entre 3% e 10%, sendo recomendada uma dosagem entre 8% e 10% (AÏTCIN, 2000).

### **Aditivo superplastificante**

O uso de aditivo superplastificante é considerado um dos mais importantes avanços na tecnologia de concreto, uma vez que tem permitido, entre outros, a produção de concretos duráveis, de alta resistência e de concretos fluidos (HARTMANN, 2003).

Esses aditivos são também conhecidos como superfluidificantes ou aditivos redutores de água de alta eficiência (MENDES, 2002). Segundo IBI (2013), os primeiros aditivos redutores de água desenvolvidos, chamados de plastificantes, apresentavam uma capacidade de redução de água (maior que 5%) com relação ao concreto sem aditivo. Com o avanço da indústria química, surgiu a primeira geração de aditivos redutores de água de alta eficiência, os classificados como superplastificantes tipo I, que permitem maior redução da quantidade de água (maior que 12 %). A última geração de aditivos superplastificantes são os classificados de superplastificantes tipo II. Dentre outras vantagens, oferecem altas taxas de redução de água (maior que 20%) e, dependendo das características da base química do aditivo e da dosagem utilizada, oferecem grande manutenção de trabalhabilidade, sem o comprometimento de pega e até favorecendo significativamente as resistências mecânicas.

Aïtcin (2000) sugere que, com os atuais cimentos Portland na produção dos CAD, é mais fácil chegar à resistência pretendida do que controlar a reologia, ressaltando o ponto onde a compatibilidade cimento-aditivo superplastificante é de vital importância para se obter a consistência desejada.

Dentre as características do cimento que mais afetam a compatibilidade cimento-aditivo, destacam-se a finura e o teor de C3A. Cimentos de maior finura e com elevadas quantidades de C3A apresentam redução na fluidez e rápida perda de trabalhabilidade (MENDES, 2002).

O momento de colocação e a maneira como o aditivo é adicionado à mistura são fundamentais para sua eficiência e também para a melhoria da consistência (MENDES, 2002). Normalmente, a dosagem de superplastificante utilizada em CAD varia entre 0,5 a 2,5 % do teor de sólidos do aditivo em relação à massa de cimento, sendo que a parte sólida do aditivo é geralmente em torno de 40% da solução (AÏTCIN, 2000). Isto

corresponde à faixa usualmente empregada de 1 a 4 % de solução de aditivo (sólidos mais água) em relação à massa de cimento.

Para Mendes (2002), a seleção do superplastificante é determinada, principalmente, em função de sua compatibilidade com o cimento, desempenho, dosagem e custo. Em alguns casos, por razões técnicas e/ou econômicas, podem ser usados em conjunto com plastificantes, com retardadores de pega ou ainda com aceleradores de pega.

### **Estocagem dos materiais**

A estocagem dos materiais constituintes do concreto de alto desempenho deve ser feita de forma adequada, independentemente do material em questão. Geralmente, observa-se um armazenamento correto do cimento, aditivos e adições minerais, sendo o mesmo não observado para os agregados (BACCIN, 1998).

O cimento, caso esteja em sacos, deve ser armazenado em local ventilado e protegido, tanto das intempéries como da umidade do solo e paredes. A sílica ativa deve ser armazenada de acordo com as especificações do fabricante, sempre protegida da umidade ambiente e em local seco e ventilado. O superplastificante deve ficar armazenado em recipiente próprio conforme as indicações dos fabricantes. A estocagem de cada fração de agregado que será utilizado no traço do concreto de alto desempenho deverá ser feita em caixas ou compartimentos independentes.

É desaconselhável a estocagem dos agregados em silos que incorporem um elevado conteúdo de umidade, em função da distribuição irregular que a mesma imporá à massa de material, em um tempo relativamente curto de armazenamento. Para a areia, pode ocorrer uma variação na umidade do material situado na parte superior com relação à areia situada na parte inferior de 5% (BACCIN, 1998).

### **Método de dosagem do concreto de alto desempenho**

A produção do CAD é mais complexa e sensível do que para outros concretos, devido às propriedades superiores deste material. Após a seleção dos materiais

constituintes, seguindo os cuidados descritos, deve-se partir para a etapa de dosagem dos concretos.

O objetivo de qualquer método de dosagem é determinar uma proporção adequada e econômica dos materiais constituintes do concreto, com o propósito de produzir, ao menor custo possível, um concreto com desempenho que atenda a certos requisitos previamente estabelecidos, tais como resistência, durabilidade e consistência adequadas (MENDES, 2002).

Para muitos, a dosagem é mais uma arte que uma ciência, entretanto, é indiscutível que alguns princípios científicos básicos podem ser usados para o proporcionamento dos materiais do concreto (AİTCIN, 2000).

Segundo Tutikian *et al* (2011), os métodos para dosagens de CAD mais utilizados são: Mehta e Aİtcin – 1990, Aİtcin – 2000, Nawy – 1996, além do método IBRACON.

De acordo com Alves (2000), existem diferenças significativas entre produzir CAD por métodos de dosagem específicos e por métodos de dosagem para concreto convencional. Do ponto de vista técnico e econômico, os métodos específicos para CAD apresentam consumo de cimento por m<sup>3</sup> significativamente menor.

Mendes (2002) esclarece que, quanto ao método de dosagem mais apropriado para CAD, em função dos resultados apresentados por Alves (2000), ambos os métodos Mehta e Aİtcin e Aİtcin apresentaram desempenhos satisfatórios.

### **Produção do concreto**

Com respeito ao processo de produção, as medidas que devem ser adotadas para se obter um bom concreto de alto desempenho são: um controle rigoroso da quantidade de água, principalmente, à relação água/cimento sobre a qual incide a umidade e a absorção dos agregados, conhecimento prévio da eficiência do misturador, sequência de mistura adequada ao tipo de misturador e método de cura adequado à mistura e às condições ambientes (MENDES, 2002).

### **Consistência do concreto de alto desempenho**

Para Baccin (1998), na maioria dos casos, o concreto de alto desempenho é utilizado em elementos estruturais com elevada taxa de armadura, o que implica a necessidade de se obter concretos de elevada resistência com abatimento de tronco de cone igual ou superior a 200mm. No método de dosagem de concreto de alto desempenho proposto por Aïtcin (2000), é adotada a consistência de tronco de cone (*slump*) de 200mm.

### **Medição dos componentes do CAD**

A medição dos componentes do CAD deve ser feita em massa, com exceção da água e dos aditivos líquidos que poderão ser medidos em volume. Os agregados também devem ser dosados em massa, tendo-se o cuidado de se fazerem as correções de umidade, de acordo com a umidade em que esses materiais se encontram, já que as quantidades foram definidas supondo o material em estado seco (BACCIN, 1998).

### **Equipamento de mistura**

O tempo de mistura para CAD é superior ao tempo utilizado para concretos convencionais, devido ao comportamento tixotrópico deste concreto que demanda uma maior energia de amassamento, implicando misturar o concreto por mais tempo (MENDES, 2002). A tixotropia é a propriedade que alguns materiais apresentam, quando no estado plástico, de adquirirem uma consistência gelatinosa quando deixados em repouso, contudo, ao serem solicitados ou agitados por esforços externos, retornam a um estado fluido – viscoso. A mistura do concreto deve ser realizada em betoneira. Em laboratório, pode ser utilizada betoneira de eixo inclinado ou planetária.

### **Ordem de colocação de materiais para mistura**

Conforme Mendes (2002), antes de iniciar o processo de mistura, é importante o interior da betoneira ser molhado, a fim de evitar que a água da mistura seja absorvida pelas paredes internas, anteriormente secas.

Tutikian e Helene (2011) indicam a seguinte ordem preferencial para colocação dos materiais na betoneira: água (80%), agregado graúdo (100%), cimento (100%), adições minerais (100%), aditivo plastificante (100%) e agregado miúdo (100%).

Mendes (2002) indica a seguinte ordem de mistura: 100% da brita mais 25% da água, 100% do cimento e 100% da sílica (previamente misturados), 75% restantes da água (mistura por 1 minuto), 80% do aditivo (mistura por 1 minuto), 100% da areia (mistura por 2 minutos; parada por 2 minutos), 20% do aditivo (permitindo ajustes finais no traço) e mistura por 2 minutos.

A ordem apresentada por Mendes (2002) é mais condizente com o método de dosagem proposto por Aïtcin (2000).

### **Moldagem dos corpos de prova**

Para ensaios de concreto de alto desempenho, normalmente, utilizam-se corpos de prova de dimensões reduzidas (cilindros de 10 x 20 cm), em função da capacidade limite da maioria das prensas. Os valores obtidos com estes corpos de prova são em média 5% maiores que os obtidos com cilindros de 15 x 30 cm, para resistências na faixa de 72 MPa a 126 MPa (AÏTCIN, 2000). Esse autor comenta que o grau de confiabilidade é o mesmo para ensaios com corpos de prova de 15 x 30 cm ou 10 x 20 cm, não havendo, portanto, a necessidade de aumentar o número de corpos de prova quando ensaiar concretos de alto desempenho com corpos de prova de 10 x 20 cm.

Na moldagem dos corpos de prova, é indicado o adensamento mecânico do concreto, utilizando vibrador de imersão elétrico com agulha de 25 mm (MENDES, 2002). Após a moldagem, o autor indica cobrir os corpos de prova com filme de PVC, assim evitando a perda de água do concreto. Os corpos de prova devem ser mantidos no

ambiente de laboratório por aproximadamente 24 horas, quando serão colocados no procedimento de cura.

### **Procedimento de cura**

O procedimento de cura é fundamental, pois é responsável por manter a água necessária à hidratação do cimento durante o endurecimento do concreto, visto que uma perda muito rápida desta água, que já é pouca devido à baixa relação água/aglomerante, pode afetar a resistência mecânica e causar grande retração (AİTCIN, 2000).

Embora exista ainda um debate científico sobre a maneira de proceder à cura sobre corpos de prova, para melhor simular um CAD em uma estrutura real, a maneira mais convencional é a imersão deles em água (AİTCIN, 2000). Quanto à duração da cura úmida, recomenda-se um período de 7 dias consecutivos como suficientes para que os concretos com sílica ativa desenvolvam a resistência e durabilidade esperadas.

### **Regularização do corpo de prova**

Outro fator importante, especialmente para determinação da resistência à compressão de CAD, é o tipo de regularização do corpo de prova. Se a resistência à compressão e o módulo de elasticidade do material de regularização for menor que o do corpo de prova de concreto, as cargas aplicadas não serão transmitidas uniformemente para o corpo de prova, acarretando uma grande dispersão nos resultados.

Nesse sentido, Mendes (2011) alerta que as regularizações convencionais feitas de enxofre, largamente utilizadas em concretos de baixa e média resistência, não são adequadas para concretos com resistências acima de 70 MPa.

Para CAD, algumas soluções viáveis são: capeamentos com compostos de alta resistência, com espessura na faixa de 3 mm; regularização dos topos dos corpos de prova com aplicação de fina camada de pasta de cimento de menor relação a/c; uso de almofadas de poliuretano ou neoprene com anéis de restrição; anel metálico preenchido com areia – “caixa de areia”; sistema de capeamento confinado; e o método de

retificação de ambas as extremidades dos corpos de prova, muito utilizado na engenharia de rochas.

O neoprene pode ser usado para ensaios de resistência à compressão do concreto até 80 MPa (MENEZES, 2002), ou seja, o neoprene é indicado para CAD da classe I. Segundo Aïtcin (2000), dentre os métodos citados, o processo de retificação apresenta duas vantagens: em média as resistências à compressão são mais altas e os desvios padrão são menores, além de poder ser executado a qualquer momento antes do ensaio, desde que os corpos de prova sejam colocados nas mesmas condições de cura antes da retificação.

### **Período para ensaio de resistência à compressão**

O mais significativo objetivo dos ensaios à compressão são os resultados aos 28 dias, idade mais importante para se obter a resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ), mas informações sobre a evolução da resistência à compressão com a idade também são obrigatórias para um CAD (FREITAS, 2005).

Para concretos de alto desempenho, tem-se tornado comum determinar a resistência à compressão aos 56 dias ou mesmo aos 90 dias. A justificativa para isso é a de que dificilmente, nas estruturas, o concreto será carregado com a carga especificada em projeto, antes de aproximadamente 3 meses de construção.

### **Ensaio para a produção e controle de concreto de alto desempenho**

Para a produção e o controle do concreto de alto desempenho, são necessários vários ensaios desde a caracterização dos materiais até ensaios com o concreto endurecido. Na Tabela 1, apresentam-se os ensaios fundamentais para produção e controle de concreto de alto desempenho.

Material	Ensaio	Norma
Agregado graúdo	Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água	NBR NM 53
Agregado graúdo	Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro	NBR 7809
Agregado miúdo	Determinação da absorção de água	NBR NM 30
Agregados	Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248

Agregados	Determinação da massa unitária e do volume de vazios	NBR NM 45
Agregados	Determinação do teor de materiais pulverulentos	NBR 7219
Concreto	Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão deformação	NBR 8522
Concreto	Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto	NBR 5739
Concreto fresco	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	NBR NM 67
Concreto fresco	Determinação da massa específica e teor de ar pelo método gravimétrico	NBR 9833
Concreto fresco	Determinação do teor de ar no concreto fresco	NBR NM 47

Tabela 1 – Ensaios fundamentais na produção e controle de CAD

### Visita a laboratório externo: ABCP

Após o levantamento de referencial teórico sobre concreto de alto desempenho, foi realizada uma visita a um laboratório externo e entrevistas com laboratoristas. Por ser reconhecido como referência na produção e controle de concreto de alto desempenho, foi escolhido o laboratório da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

O Laboratório da ABCP possui uma estrutura completa para as diversas etapas da produção do concreto de alto desempenho, sendo um bom referencial para a adequação do Laboratório do IFSP. Tal laboratório possui equipamentos para ensaios desde a caracterização dos materiais (balança hidrostática – Figura 2), equipamentos de mistura (betoneira de eixo planetário – Figura 3), máquina para retificação de topo de corpo de prova (Figura 4) e equipamentos para ensaios do concreto endurecido (Figura 5), como ilustrado abaixo:



Figura 2 – Balança hidrostática



Figura 3 – Betoneira de eixo planetário e equipamento



Figura 4 – Retificadora de topo de corpo de prova



Figura 5 – Equipamento para ensaio de retração do concreto

### **Avaliação do Laboratório de Construção Civil do *Campus* São Paulo do IFSP**

O Laboratório do Departamento de Construção Civil do *Campus* São Paulo foi construído em 1995, porém possui equipamentos que são muito mais antigos. Alguns equipamentos têm mais de 50 anos. Esses equipamentos antigos são remanescentes de um laboratório anteriormente localizado no subsolo do *Campus* São Paulo.

O laboratório tem uma área específica para a produção de concreto, sendo composta por equipamento de mistura (betoneira de eixo inclinado com capacidade de 250 litros) e local para despejo de resíduos líquidos. Sobre os materiais, ele tem estocado: cimento, brita 0, brita 1 e areia de rio de granulometria média. As britas estocadas são de origem graníticas. O laboratório não possui estoque de sílica ativa e de superplastificante.

Os materiais do laboratório são adquiridos por meio de licitações, o que dificulta muito uma boa aquisição de materiais para CAD. Em razão da licitação, é preciso comprar uma quantidade relativamente grande dos materiais. Para o cimento, por exemplo, isso acaba sendo a causa de o material ultrapassar o prazo de validade. O cimento estocado no laboratório é do tipo CPII-E, não indicado para a produção de CAD.

Conforme relatado por Baccin (1998), verificou-se que o cimento possui armazenamento correto, entretanto os agregados possuem uma situação oposta. A areia e as britas são estocadas em péssimas condições, estando em contato com solo e desprotegidas da chuva (Figuras 6 e 7).



Figura 6 – Armazenamento de areia



Figura 7 – Armazenamento de brita 0

O laboratório conta apenas com alguns dos equipamentos necessários para a realização dos ensaios de caracterização dos materiais. O laboratório possui uma balança hidrostática, contudo não possui a cesta correta para pesagem dos materiais nessa balança; além disso, não possui funil de Marsh para ensaio de compatibilidade de superplastificante e não possui o molde tronco-cônico para ensaio de absorção de água da areia.

A betoneira do laboratório é antiga e apresenta problemas ocasionados por falhas na manutenção. O principal problema é uma grande quantidade de concreto seco aderido na parte interna do tambor da betoneira (Figura 8).



Figura 8 - Betoneira do IFSP com material aderido no tambor

O laboratório possui doze moldes plásticos de corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm. Para a compactação do concreto, há um vibrador de imersão elétrico, mas se encontra quebrado; também há uma câmara úmida para a cura dos corpos de prova, porém esta câmara também está quebrada e sem previsão de conserto<sup>4</sup>.

Para a regularização dos corpos de prova, os técnicos do laboratório utilizam a aplicação de uma fina camada de pasta de cimento de menor relação a/c, todavia os concretos normalmente produzidos no laboratório apresentam baixa resistência (em torno de 10 MPa).

O laboratório possui uma máquina universal para ensaios mecânicos de tração, compressão, flexão *etc* (Figura 9). A máquina foi adquirida recentemente (agosto/2014). Ela é controlada por meio de computador e tem capacidade para 30.000 kgf totalmente compatível para uso nos ensaios de CAD.



Figura 9 – Máquina universal de ensaios

## Resultados

Este trabalho apresenta como resultado várias recomendações para que o Laboratório do Departamento de Construção Civil do *Campus* São Paulo do IFSP tenha capacidade de produzir e controlar Concreto de Alto Desempenho. Essas

---

<sup>4</sup> O levantamento foi realizado em setembro de 2015.

recomendações são com base na revisão da literatura, apresentada anteriormente, e na visita a um laboratório de referência em CAD.

Os agregados graúdos de origem granítica disponíveis no estoque do laboratório do IFSP podem ser usados para a produção de CAD (brita 0 e brita 1), porém, como indicado por Mendes (2002), é importante lavá-los. Após a lavagem, o material deverá ser armazenado em recipientes apropriados. Será preciso realizar ensaios para determinação do índice de forma, da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

Conforme recomendação de Aitcin (2000), a Brita 1 poderá ser utilizada para concreto com resistência de até 125 MPa. Para concretos com resistência acima de 125 MPa, deverá ser utilizada somente a Brita 0. Caso se opte pela mistura das duas britas, deve-se buscar o empacotamento desses agregados objetivando o menor volume de vazios possível. Para isso, é indicado o Método de O'Reilly.

A areia armazenada no IFSP, de origem fluvial, também poderá ser utilizada, sendo indicada a lavagem desse material e armazenamento em recipiente apropriado que reduza a possibilidade de variação na umidade. Para a realização do ensaio de absorção de água, será necessária a aquisição de molde tronco-cônico. O indicado é a areia ter o módulo de finura entre 2,7 e 3,0, não apresentar partículas finas e ter a menor quantidade possível de partículas maiores que 4,8 mm.

O cimento disponível no laboratório não poderá ser utilizado por dois motivos: é de um tipo não indicado para CAD (CPII) e pode estar com prazo de validade vencido (o que causa significativa redução de sua qualidade). Para a produção do CAD, deverá ser adquirido cimento do tipo CP-V que é indicado para CAD. Este tipo de cimento é encontrado em lojas especializadas e pode ser adquirido em pequena quantidade (um saco de 50 kg custa em torno de R\$ 25,00). O consumo de cimento deverá ficar entre 400 e 550 kg/m<sup>3</sup>.

Já a sílica ativa e os superplastificantes não são facilmente encontrados para se comprar em pequenas quantidades e possuem valores elevados. O superplastificante é vendido em tambores de 200 litros e custa em torno de R\$ 2.000,00. A sílica ativa e o superplastificantes, em pequenas quantidades, poderão ser obtidos por meio de doação

dos fornecedores ao IFSP com o objetivo de colaborarem no desenvolvimento de futuras pesquisas sobre CAD.

Após a definição e a aquisição do cimento, será preciso o desenvolvimento de um estudo específico sobre a dosagem ótima de sílica ativa. Esse estudo deverá levar em conta fatores econômicos, avaliando o custo do concreto em relação a ganhos de resistência (R\$/MPa). Segundo Aïtcin (2000), a dosagem de sílica ativa deve ficar entre 8% e 10%.

Depois de estudada a dosagem da sílica ativa, deverá ser realizado um estudo sobre o uso de superplastificantes. Diferentemente da sílica ativa, que poderá ter apenas um tipo analisado, deverão ser avaliados diferentes tipos de superplastificantes, analisando a compatibilidade ao cimento disponível. Conforme indicado por Aïtcin (2000), o estudo da superplastificante deverá ser feito por meio do Método do Funil de Marsh, tal equipamento terá de ser adquirido pelo laboratório.

Para a dosagem do CAD, indica-se o uso do método proposto por Aïtcin (2000). Esse método é específico para CAD e por isso apresenta vantagens econômicas comparadas a outros métodos. Aïtcin (2000) e Baccin (1998), entre outros autores, indicam que a consistência do concreto deverá ser estabelecida em 200 mm.

Para a mistura do concreto, não poderá ser adotada a betoneira do laboratório, pois poderá prejudicar a qualidade do concreto. A indicação é a aquisição de uma betoneira de eixo inclinado de pequeno porte (150 litros). Deverá ser seguida uma ordem pré-definida de colocação dos materiais na betoneira, que pode ser a ordem indicada por Mendes (2002).

Para os corpos de prova, poderão ser utilizados os moldes disponíveis no laboratório (doze moldes plásticos de corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm). O adensamento do concreto deverá ser feito com o uso de vibrador de imersão elétrico, com agulha de 25 mm. Esse equipamento terá de ser adquirido ou alugado.

Os corpos de provas, após moldados, deverão ser cobertos por filme de PVC por 24 horas. Após esse período, os corpos de provas irão passar pelo procedimento de cura. Em razão de a câmara úmida do laboratório estar quebrada, deverá ser adotada a cura por imersão, conforme indicação de Aïtcin (2000).

Para a produção de concreto até 80 MPa, poderá ser adotada a regularização do corpo de prova por neoprene, sendo necessária a aquisição de, no mínimo, dois discos de neoprene de dureza 70 (shore) e a aquisição de um par de pratos de aço para acondicionamento do neoprene.

Para concretos acima de 80 Mpa, deverá ser utilizada a regularização dos corpos de prova por retificação, sendo necessária a aquisição de uma máquina retificadora de corpo de prova. Os ensaios com o concreto endurecido poderão ser realizados na máquina universal presente no laboratório. Deverão ser realizados ensaios de resistência à compressão e módulo de elasticidade, de preferência aos 28 dias após a moldagem dos corpos de prova.

## **Conclusão**

No desenvolvimento de concretos de alto desempenho, é fundamental a parte laboratorial. Este trabalho teve como objetivo identificar as necessidades para capacitar o Laboratório do Departamento de Construção Civil do *Campus* São Paulo do IFSP. Como resultado, apresentou uma série de recomendações para um laboratório produzir e controlar o concreto de alto desempenho.

As recomendações foram levantadas com base em pesquisa bibliográfica, em uma visita a um laboratório de referência, em entrevista com laboratorista e, após essas etapas, na análise da situação vigente do laboratório do IFSP.

As recomendações sobre produzir e controlar o concreto de alto desempenho são referentes a: indicações de materiais, ensaios de caracterização desses materiais, forma de armazenamento dos materiais, método de dosagem, modo de produção, consistência do concreto, forma de medição dos materiais, equipamentos de mistura do concreto, ordem de colocação dos materiais, forma de moldagem de corpos de prova, procedimentos de cura, regularização do corpo de prova e ensaios com o concreto endurecido.

De maneira geral, as recomendações listadas neste trabalho servem como uma maneira de capacitar qualquer laboratório que queira produzir e controlar um concreto

de alto desempenho – material de grande importância e de uso crescente no atual cenário mundial da Construção Civil.

## Referências

- AITCIN, P. C. *Concreto de Alto Desempenho*. São Paulo: Pini, 2000. p. 667.
- ALMEIDA, I. R. de. Concretos de Alto Desempenho. *In* ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: ensino, pesquisa e realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, Cap. 38, p. 1159-1193.
- ALVES, M. F. *Estudo comparativo de métodos de dosagem para concretos de alta resistência*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. 137p.
- BACCIN, A. G. C. *Fundamentos do concreto de alto desempenho e sua aplicação no projeto de pilares*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 1998.
- HARTMANN, C. T. *Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland*. São Paulo: EPUSP, 2003. 22p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/330).
- FREITAS, J. A. *Estudo comparativo de métodos de dosagem para concretos de alta resistência com o uso de materiais disponíveis na região metropolitana de Curitiba*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- IBI - INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. *Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central*. São Paulo, 2013.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedade e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2008.
- MENDES, S. E. S. *Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002.
- TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. *In* ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 36.
- TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. Concreto de alto e ultra-alto desempenho. *In* ISAIA, Geraldo Cechella. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON, 2011. Cap. 36.

## ***FUNDAMENTALS FOR THE PRODUCTION AND CONTROL OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE IN LABORATORY***

### **ABSTRACT**

*High performance concrete, which has high strength and great durability, is a material in increasing use in the world. For the development of this concrete the laboratory part is fundamental. The objective of this work is to indicate the actions required to enable the Civil Construction Department's laboratory of the IFSP to produce and control high performance concrete. The methodology adopted included the following steps: theory review, visit to a specialized laboratory, interviews with laboratory specialist and analysis of the current conditions of the IFSP's laboratory. As a result, some recommendations are presented - from the choice of materials to the hardened concrete tests. These recommendations serve to enable a laboratory to produce and control high performance concrete.*

**Key words:** High Performance Concrete. Construction. Technological tests.

**Envio: dezembro/2016**  
**Aceito para publicação: janeiro/2017**

REGRASP (ISSN 2526-1045), v. 2, n. 1, fev.2017, p. 18-41