



1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO  
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

São Carlos, 03 - 04 de novembro de 2005

## CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO PARA ESTRUTURAS PRÉ- MOLDADAS

*Considerations on the production process of high-performance concretes for precast structures*

Alessandra Lorenzetti de Castro (1); Jefferson B. L. Liborio (2)

(1) *Doutoranda em Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais – EESC/IQSC/IFSC - USP*  
e-mail: [alcastro@sc.usp.br](mailto:alcastro@sc.usp.br)

(2) *Professor Doutor Coordenador do Laboratório de Materiais Avançados à Base de Cimento do Departamento de Engenharia de Estruturas – EESC/USP*  
e-mail: [liborioj@sc.usp.br](mailto:liborioj@sc.usp.br)

*Endereço para correspondência:*

*Laboratório de Materiais Avançados à Base de Cimento – SET/EESC/USP  
Av. Trabalhador Sancarlense, 400, Centro – São Carlos/SP – CEP: 13566-590*

### Resumo

Com o crescente aumento na demanda por concretos mais duráveis, tem-se dado uma importância significativa ao concreto de alto desempenho (CAD). Quando no estado fresco, o comportamento desse material tradicionalmente está relacionado com sua trabalhabilidade, que assume grande importância em termos de facilidade de lançamento, adensamento, durabilidade e resistência quando no estado endurecido. Ao considerar o concreto fresco como uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido (pasta de aglomerantes), relaciona-se sua trabalhabilidade às características dos agregados e dos aglomerantes utilizados (cimento Portland e sílica ativa), tornando o estudo da trabalhabilidade da pasta de aglomerantes fundamental para a produção de concretos com fluidez e consistência satisfatórias. Além disso, como a trabalhabilidade é uma propriedade relacionada ao tipo de construção e aos métodos de lançamento, adensamento e acabamento do concreto, essa propriedade é influenciada por diversos fatores. Dentre eles, o procedimento de mistura, uma vez que as propriedades reológicas do material são bastante sensíveis à seqüência e intensidade de mistura. Sendo assim, o presente trabalho visa apresentar um estudo completo do processo de produção de CAD, que envolve desde a etapa de otimização da pasta de aglomerantes a ser incorporada ao concreto até a avaliação da trabalhabilidade das misturas de alto desempenho ao longo do tempo. Inicialmente, o estudo envolveu a otimização das pastas para a determinação do teor ótimo de superplastificante e a avaliação da compatibilidade entre o cimento e o aditivo com o auxílio dos ensaios de cone de Marsh e de Kantro. Definida a matriz pasta, produziram-se misturas cujas trabalhabilidades e suas variações ao longo do tempo foram registradas pelo ensaio de abatimento de tronco de cone. Para verificação da influência do procedimento de mistura sobre o comportamento do material no estado fresco, foram utilizados seis procedimentos de mistura diferentes durante sua produção, nos quais a ordem de colocação dos materiais constituintes foi variada. A partir dos estudos desenvolvidos em laboratório, o processo de otimização da pasta permitiu a produção de concretos fluidos, cujas trabalhabilidades puderam ser mantidas por períodos de até uma hora após o primeiro contato entre o cimento e a água de amassamento.

*Palavras-Chave: Concreto de alto desempenho; Trabalhabilidade; Procedimento de mistura.*

## 1 Introdução

De uma maneira geral, o concreto é considerado um material composto sendo seus principais componentes o cimento, os agregados miúdo e graúdo e a água. No caso do concreto de alto desempenho (CAD), os tecnólogos de concreto incorporaram à mistura “tradicional” aditivos químicos e adições, minerais ou não, que possibilitam uma variedade de propriedades e características melhoradas.

Tradicionalmente, o comportamento do concreto no estado fresco é resumido em uma única palavra: **trabalhabilidade**, definida como “a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade”, sendo que, o termo manipular inclui todas as operações das primeiras idades como lançamento, adensamento e acabamento [ASTM C-125 (1993) *apud* MEHTA & MONTEIRO (1994)]<sup>1</sup>. É composta de pelo menos dois componentes principais: um relacionado com a facilidade de mobilidade do concreto (fluidez); e outro relacionado com a resistência à exsudação ou à segregação (coesão).

A trabalhabilidade de um concreto é influenciada por diversos fatores, como:

- o tempo decorrido desde a mistura;
- as propriedades do cimento e dos agregados (em particular a forma das partículas, a distribuição granulométrica e a porosidade);
- a presença de qualquer adição mineral em substituição ao cimento, como a escória de alto-forno, a cinza volante e a sílica ativa;
- a presença de qualquer adição química, como os aditivos superplastificantes, os retardadores de pega e os incorporadores de ar;
- as proporções relativas dos materiais constituintes da mistura;
- o procedimento de mistura empregado na produção do material (seqüência de colocação dos materiais constituintes da mistura no misturador).

Assim, existem diversos fatores a serem considerados e a situação é posteriormente complicada pelo fato de que existem interações entre eles, isto é, os fatores não são independentes um dos outros em seus efeitos. Do ponto de vista reológico, AITCIN (2000) considera o abatimento dependente essencialmente dos fatores relacionados ao esqueleto dos agregados e da quantidade e fluidez da pasta usada quando da mistura de concreto.

### 1.1 Influência da pasta de cimento e/ou de aglomerantes

O concreto pode ser entendido como sendo uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido (pasta de cimento e/ou de aglomerantes) (FERRARIS, 1999). Como a pasta de cimento envolve os agregados em um concreto, ao manter constante a dimensão máxima característica e a quantidade de agregados presentes na mistura, relacionam-se as propriedades reológicas do concreto às propriedades reológicas da pasta de cimento (GHIO, 1993), além do que a pasta é responsável pela maior parte da área superficial do concreto. AGULLÓ *et al.* (1999) consideram a pasta de cimento como a responsável pela fluidez e a coesão do concreto, fazendo com que a trabalhabilidade e outras propriedades reológicas do concreto se tornem dependentes das características da pasta.

Assim, ao verificar a grande influência que a pasta de cimento exerce sobre o comportamento reológico dos concretos no estado fresco, diversos autores utilizam o estudo da reologia das pastas com o objetivo de melhor compreender as propriedades empíricas determinadas ao longo do tempo. POWERS (1968), por exemplo, considera vantajoso conhecer as características reológicas da pasta de cimento antes de se discutir

---

<sup>1</sup> AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Definitions of terms relating to concrete and concrete aggregates*. ASTM C-125. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia, 1993 *apud* MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: PINI, 1994. 573p.

sobre as características reológicas do concreto, uma vez que as características da pasta dependem da natureza e extensão de algumas reações químicas com a água que ocorrem durante o período de mistura.

Com o estudo das propriedades reológicas das pastas de cimento no estado fresco é possível obter informações valiosas relacionadas ao comportamento reológico do concreto fresco, além de produzir misturas com fluidez e consistência satisfatórias.

## 1.2 Influência do procedimento de mistura

As propriedades das pastas de cimento e dos concretos são sensíveis à seqüência e intensidade de mistura. A seqüência usada para a incorporação dos vários materiais constituintes durante a mistura pode influenciar a trabalhabilidade de forma significativa, o que também pode ser observado na sua fluidez (AGULLÓ *et al*, 1999).

O grau de uniformidade em um lote de concreto não depende apenas do misturador empregado, mas também do método e da seqüência de incorporação dos materiais constituintes da mistura (TATTERSALL, 1991). Porém, mesmo quando todo o cuidado necessário é tomado, ainda assim poderá haver uma variabilidade da trabalhabilidade dentro do lote de concreto considerado.

## 1.3 Perda de abatimento

Segundo MEHTA & MONTEIRO (1994), a perda de abatimento pode ser definida como a perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo. Ela ocorre quando a água livre de um mistura de concreto é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção na superfície dos produtos de hidratação e por evaporação. A redução do abatimento é um fenômeno normal em todos os concretos porque resulta do enrijecimento gradual e pega da pasta de cimento hidratada, que está associada à formação de produtos de hidratação (etringita e C-S-H).

Sob condições normais, na primeira meia hora após o contato entre a água de mistura e o cimento, a perda de abatimento é insignificante em função do pequeno volume de produtos de hidratação formados no período (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Na seqüência, o concreto começa a perder abatimento sob uma taxa que é função da hidratação, da temperatura, da composição do cimento e dos aditivos presentes na mistura.

Porém, em algumas situações, é possível observar um rápido endurecimento do concreto fresco quando adições químicas são utilizadas em conjunto com o cimento Portland. Assim, a compatibilidade de um determinado par cimento-aditivo, em termos de perda de abatimento, pode e deve ser inicialmente estudada a partir de medidas de fluidez da pasta com auxílio de ensaios simples e fáceis de serem executados.

## 2 Programa experimental

O programa experimental envolvido no presente trabalho abrange um estudo completo do processo de produção de CAD, que envolve desde a etapa de otimização da pasta de aglomerantes a ser incorporada ao concreto até a avaliação da trabalhabilidade das misturas de alto desempenho ao longo do tempo.

Inicialmente, o estudo envolveu a otimização das pastas de aglomerantes para a verificação da compatibilidade entre o cimento e o aditivo utilizados e a determinação do teor ótimo de aditivo superplastificante através dos ensaios de miniabatimento e cone de Marsh, respectivamente.

Definida a matriz pasta a ser incorporada ao concreto, produziram-se misturas cujas trabalhabilidades e suas variações ao longo do tempo foram registradas pelo ensaio de

abatimento de tronco de cone. Para a verificação da influência do procedimento de mistura sobre o comportamento do material no estado fresco, foram utilizados seis procedimentos diferentes durante sua produção, nos quais a ordem de colocação dos materiais constituintes foi variada.

## 2.1 Métodos de ensaio empregados

### 2.1.1 Ensaio de miniabatimento

Este ensaio, também conhecido como ensaio de Kantro, consiste em determinar o abatimento de pequenas quantidades de pasta de cimento utilizando o minitrhonco de cone apresentado na figura 1.

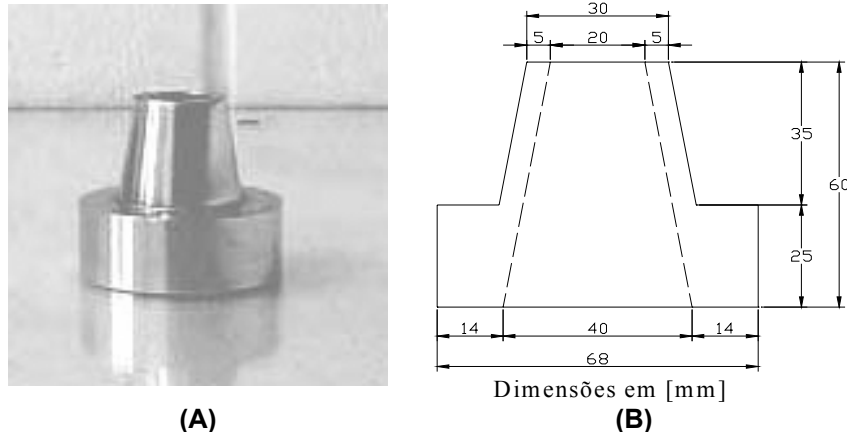


Figura 1 – Foto (A) e esquema com as dimensões (B) do minitrhonco de cone.

O procedimento de ensaio envolveu os seguintes passos:

- 1) preparação de uma base de vidro sem inclinação;
- 2) lubrificação da placa de vidro e do minitrhonco de cone metálico com óleo mineral puro;
- 3) preenchimento do molde com a amostra de pasta;
- 4) aplicação de dez leves toques no topo do minitrhonco de cone e nivelamento com o auxílio de uma pequena espátula. O material em excesso foi coletado pela borda ampliada do molde metálico;
- 5) retirada do minitrhonco de cone suavemente, mantendo-o na posição vertical;
- 6) finalmente, após 1 minuto, foi realizada a medida de dois diâmetros ortogonais do espalhamento da pasta de cimento.

### 2.1.2 Ensaio de cone de Marsh

O cone de Marsh é um ensaio bastante simples que tem sido usado no estudo da fluidez de pastas de cimento e argamassas e na determinação do teor de superplastificante para misturas de concreto de alta resistência.

O método é baseado na medida do tempo gasto para que um certo volume de material escoe através do cone. Assim, o tempo de escoamento é considerado como o inverso de uma medida relativa da fluidez dos grautes e pastas, isto é, quanto menor o tempo de escoamento, maior a fluidez do material.

O cone de Marsh (figura 2) consiste de um cone plástico ou metálico com cavidade invertida, aberto na parte superior e com uma pequena abertura variável na parte inferior. Um certo volume ( $V$ ) de material é colocado dentro do cone e o tempo gasto para que um volume pré-estabelecido ( $v$ ) escoe através do mesmo é monitorado. Na literatura, o diâmetro ( $d$ ) da abertura inferior pode variar entre 5 mm e 12,5 mm e o volume de pasta ou de argamassa inicial utilizado pode variar entre 800 ml e 2000 ml.

No Brasil, este ensaio é regulamentado pela *NBR 7682/83 – Calda de cimento para injeção - Determinação do índice de fluidez*.

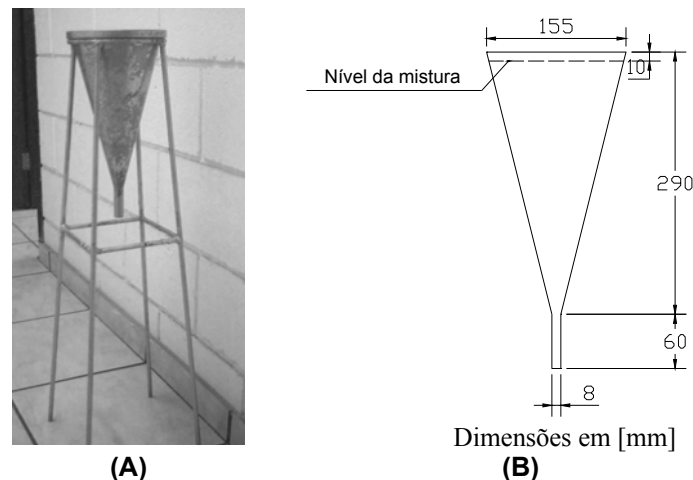


Figura 2 – Foto do equipamento completo (A) e esquema detalhado do funil (B) do ensaio do cone de Marsh empregado na presente pesquisa.

Para a determinação do ponto de saturação ou dosagem ótima de um aditivo superplastificante, o método escolhido e empregado no presente estudo foi o proposto por DE LARRARD *et al.* (1997) – método AFREM.

Neste método, o ponto de saturação do aditivo é considerado como o teor de aditivo onde uma reta com inclinação de 2:5 tangencia a curva do logaritmo do tempo de escoamento *versus* teor de superplastificante (figura 3). A escolha da inclinação de 2:5 é arbitrária, porém foi adotada em função das proporções adequadas de superplastificantes determinadas a partir da mesma.

A vantagem de se usar o logaritmo do tempo de escoamento está relacionada ao fato de que este critério depende das características intrínsecas do material. Em estudos desenvolvidos pelos autores foi possível, por meio de ajustes de outros modelos matemáticos, relacionar o critério de inclinação do logaritmo do tempo de escoamento diretamente com o critério de inclinação em termos do logaritmo da viscosidade do concreto.

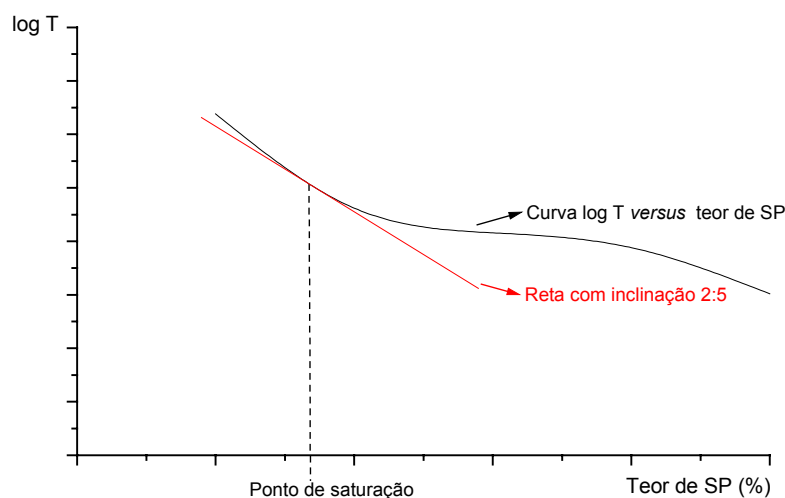


Figura 3 – Determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante pelo método AFREM desenvolvido por DE LARRARD *et al.* (1997).

### 2.1.3 Ensaio de abatimento de tronco de cone

O ensaio de abatimento de tronco de cone é bastante usado no cotidiano devido a sua simplicidade de execução. Ele é usado como uma boa ferramenta de controle de

qualidade do concreto, pois pode detectar mudanças na composição do concreto distribuído, isto é, se o teor de água foi modificado a partir da especificação original.

O equipamento utilizado consiste, basicamente, de um tronco de cone metálico aberto em ambas as extremidades (altura de 300 mm, diâmetro inferior de 200 mm e diâmetro superior de 100 mm), que é mantido firmemente apoiado sobre uma placa metálica não-absorvente (de 500 mm x 500 mm) por meio do posicionamento do operador sobre os apoios laterais fixados ao molde metálico. Ele é preenchido com concreto seguindo um procedimento padrão e, em seguida, levantado verticalmente (de forma lenta e cuidadosa durante um intervalo de tempo de aproximadamente 10 segundos). Com isso, o concreto sofre um abatimento, o qual é medido.

No Brasil, este ensaio é regulamentado pela *NBR NM 67/98 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*.

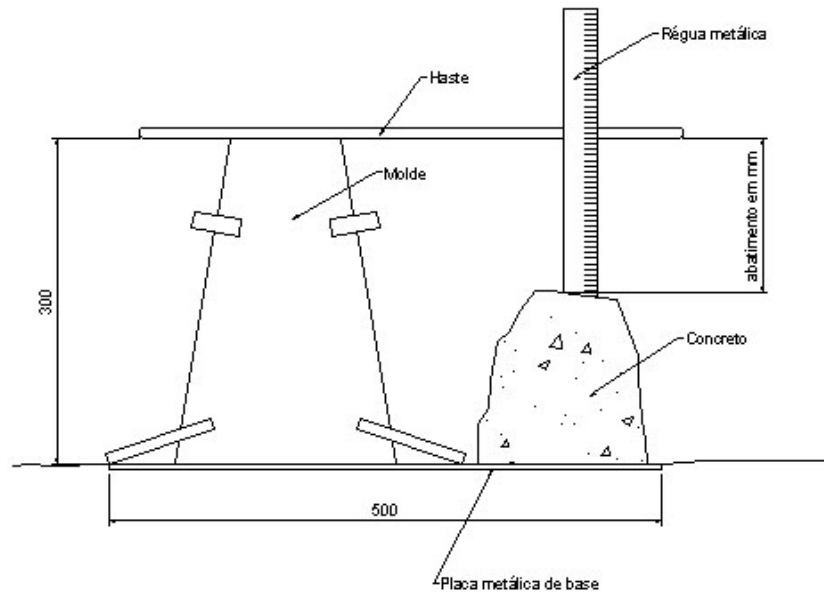


Figura 4 – Ensaio de abatimento de tronco de cone.

## 2.2 Materiais e procedimentos de mistura

Para a produção dos CAD avaliados neste trabalho, os seguintes materiais foram utilizados: cimentos Portland de alta resistência inicial (CPV ARI Plus) e resistente a sulfatos (CPV ARI RS), cujas massas específicas são de  $3,12 \text{ g/cm}^3$  e  $3,08 \text{ g/cm}^3$ , respectivamente, e as composições químicas são as apresentadas na tabela 1; areia quartzosa de cava com módulo de finura e diâmetro máximo característico de 2,34 e 4,8mm, respectivamente; brita de origem basáltica com diâmetro máximo característico de 9,5 mm; aditivo superplastificante (SP) à base de policarboxilato, com teor igual ao determinado pelo ensaio de cone de Marsh/método AFREM; sílica ativa obtida a partir da produção de silício metálico ou ligas de Fe-Si e comercialmente disponível – SFS – no teor de 10% em substituição volumétrica ao cimento; e água de amassamento correspondendo a uma relação água/aglomerante (a/agl) de 0,40.

Para o traço adotado ( $1:m = 3,5$ ), sendo  $m$  o total de agregados, o consumo dos materiais constituintes das misturas são apresentados na tabela 2.

Tabela 1 – Composição química e de Bogue dos cimentos usados.

Composição química		
Material constituinte	CPV ARI Plus	CPV ARI RS
	Massa de cimento (%)	Massa de cimento (%)
SiO <sub>2</sub>	21,16	22,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,89	1,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,71	5,50
TiO <sub>2</sub>	0,15	0,17
CaO	68,08	63,61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,19
MgO	0,48	1,45
Na <sub>2</sub> O	0,29	0,25
K <sub>2</sub> O	0,56	0,63
Perda ao fogo	2,39	4,15

Composição de Bogue		
C <sub>3</sub> S	74,28	42,74
C <sub>2</sub> S	5,02	32,00
C <sub>3</sub> A	9,29	11,67
C <sub>4</sub> AF	5,75	5,23

Tabela 2 – Proporções da mistura e propriedades do concreto fresco.

Consumo de materiais (kg/m <sup>3</sup> de concreto)	Concreto	
	CAD Plus	CAD RS
Cimento	458	454
Sílica ativa	31	31
Água de amassamento	193	192
Superplastificante	2,98	2,43
Areia	855	849
Brita 0	855	849
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	2,395	2,377
Abatimento desejado (mm)	160 ± 20	160 ± 20

Os procedimentos de mistura avaliados no presente estudo são apresentados na figura 5. Eles diferem entre si pela ordem de colocação dos materiais constituintes no misturador.

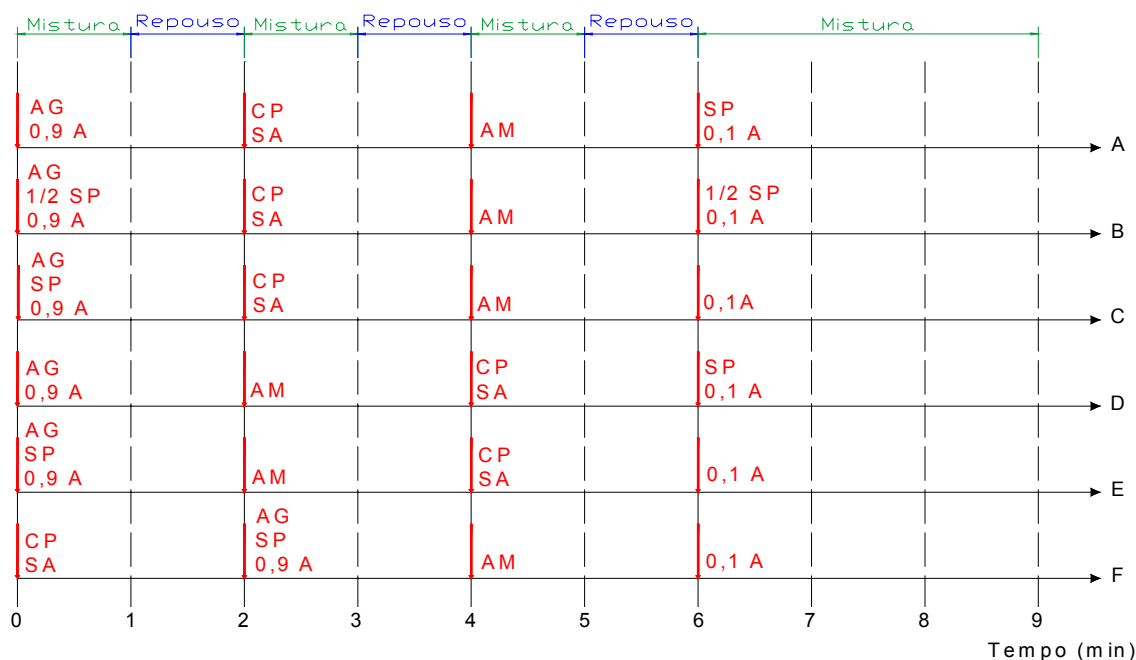


Figura 5 – Procedimentos de mistura avaliados, onde: A = água de amassamento; AG = agregado graúdo; AM = agregado miúdo; CP = cimento; SA = sílica ativa; SP = aditivo superplastificante.

### 3 Resultados e discussões

Como dito anteriormente, os ensaios em misturas de alto desempenho seguiram uma ordem crescente das etapas que definem o concreto, isto é, o estudo iniciou pela otimização da pasta de aglomerantes, seguido de estudos em CAD.

A fim de se manter a temperatura das pastas e dos concretos no final da mistura entre 20°C e 23°C (valores recomendados por AITCIN (2000) para se produzir as condições normais de hidratação inicial do cimento), foi utilizada água gelada para a produção de todas as misturas. Além disso, as condições de ensaio foram mantidas constantes: umidade relativa do ar superior a 65% e temperatura ambiente de 23°C ± 3°C.

A fase de otimização da pasta de cimento, que posteriormente faria parte das argamassas e dos concretos, consistiu no estudo da compatibilidade entre o cimento e o aditivo superplastificante utilizados e na determinação do ponto de saturação do aditivo (teor considerado ótimo).

A compatibilidade dos pares cimento-aditivo pode ser verificada a partir da figura 6. Como as pastas não apresentaram qualquer perda acentuada da trabalhabilidade durante os primeiros trinta minutos de ensaio, diz-se que há compatibilidade entre esses dois materiais.

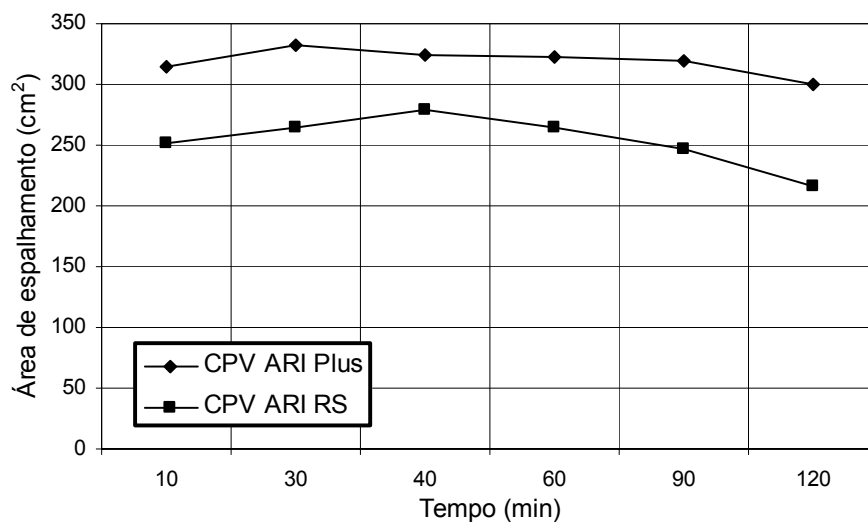


Figura 6 - Curvas da área de espalhamento *versus* tempo para pastas de aglomerantes.

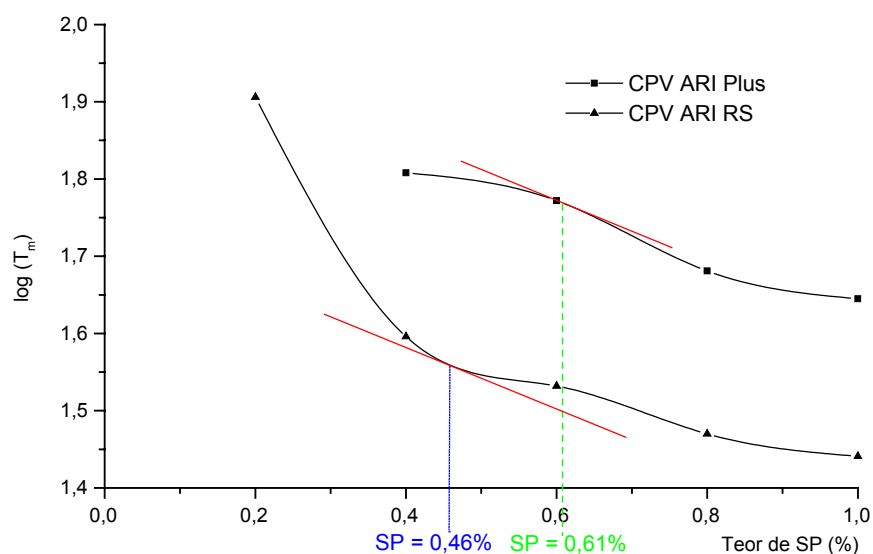


Figura 7 - Curvas  $\log(T_m)$  *versus* teor de SP para pasta de aglomerantes.

Na figura 7 são apresentadas as curvas do logaritmo dos tempos de escoamento medidos pelo ensaio de cone de Marsh *versus* teor de SP. Observa-se que o teor ótimo

de SP variou em função do tipo de cimento: para o CPV ARI Plus, o teor determinado foi de 0,61%, enquanto que para o CPV ARI RS o teor foi de 0,46%.

Uma vez otimizada a matriz pasta que constituirá cada concreto, deu-se início ao estudo da trabalhabilidade. Para isso, seis misturas foram produzidas com cada cimento – cada um segundo um procedimento de mistura. Assim, a trabalhabilidade e sua perda ao longo do tempo (durante até 120 minutos após o contato entre a água de amassamento e o cimento) foram avaliadas através do ensaio de abatimento de tronco de cone.

Na tabela 3 e figuras 8 e 9 são apresentados os valores encontrados e a evolução desse comportamento com o tempo.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone para os CAD estudados.

Cimento	Concreto	CAD/A	CAD/B	CAD/C	CAD/D	CAD/E	CAD/F
CPV ARI Plus	10 min	190	175	190	210	225	205
	30 min	135	125	165	175	190	150
	60 min	80	100	110	120	130	90
	90 min	60	50	55	75	70	50
	120 min	15	0	10	45	50	15
CPV ARI RS	10 min	210	195	180	200	190	175
	30 min	165	155	145	145	140	140
	60 min	135	130	110	115	120	120
	90 min	100	105	90	65	75	90
	120 min	55	80	65	40	35	55

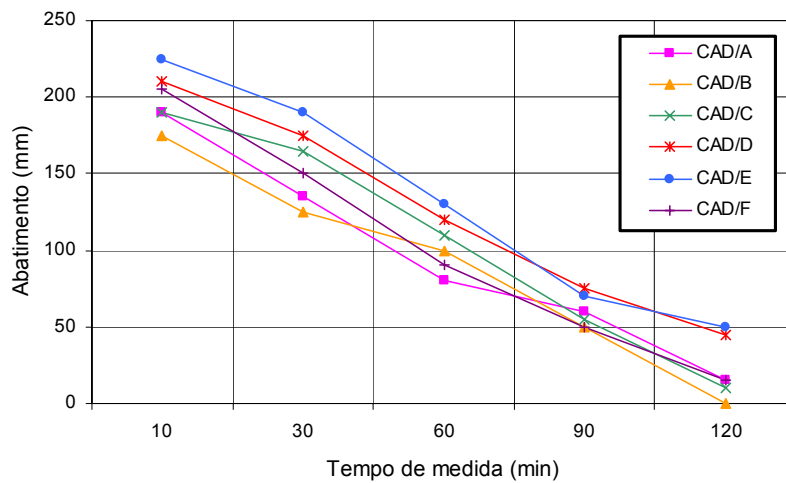


Figura 8 – Curvas do abatimento *versus* tempo para os CAD produzidos com CPV ARI Plus.

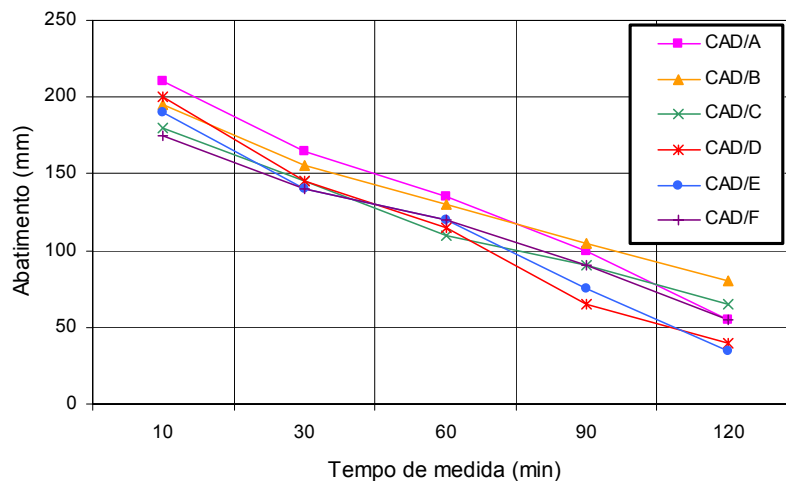


Figura 9 – Curvas do abatimento *versus* tempo para os CAD produzidos com CPV ARI RS.

Em função dos abatimentos determinados, as misturas são consideradas como fluidas, com abatimentos variando entre 175 mm e 225 mm. A otimização da pasta de aglomerantes permitiu que todas as misturas, produzidas com o teor ótimo de SP determinado através do ensaio de cone de Marsh e com o auxílio do método AFREM, apresentassem abatimentos dentro, ou até mesmo acima, do limite inicialmente estabelecido de  $160 \pm 20$  mm.

Em termos de abatimento de tronco de cone, pode-se observar que todas as misturas apresentaram abatimentos cada vez menores com o decorrer do tempo, indicando perda de suas trabalhabilidades. Essa perda foi completa e ocorreu de maneira contínua e gradual durante as duas horas de duração do ensaio.

Comparando os procedimentos de mistura avaliados, pode-se observar que o desempenho variou com o tipo de cimento. No caso das misturas produzidas com CPV ARI Plus, o procedimento de mistura E foi o que permitiu manter uma maior trabalhabilidade durante o ensaio, enquanto que para o cimento CPV ARI RS, o procedimento que melhor se adaptou foi o B.

## 4 Conclusões

A otimização das pastas de cimento e/ou de aglomerantes – estudo da compatibilidade do par cimento-aditivo e determinação do teor ótimo de aditivo superplastificante – permitiu a produção de concretos com fluidez e consistência satisfatórias, com valores dentro dos limites inicialmente estabelecidos. Até uma hora após o início do ensaio, praticamente todas as misturas ainda apresentavam abatimentos maiores que 100 mm.

Quanto ao estudo da trabalhabilidade dos concretos de alto desempenho, observou-se que todas as misturas perderam totalmente suas trabalhabilidades de maneira contínua e gradual durante o ensaio e que o procedimento de mistura influenciou bastante no desempenho desses materiais com o decorrer do tempo. O desempenho observado variou de acordo com o tipo de cimento.

## 5 Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela bolsa de estudo e demais apoios concedidos. Às empresas Holcim S/A, Grace Brasil Ltda. e Elkem Microssílica pela doação dos materiais empregados na pesquisa.

## 6 Referências

- AGULLÓ, L. *et al.* (1999) **Fluidity of cement pastes with mineral admixtures and superplasticizer – a study based on the Marsh cone test.** *Materials and Structures*, v. 32, n. 221, p. 479-485, Aug.-Sep.
- AÏTCIN, P.-C. (2000) **Concreto de alto desempenho.** Tradução Geraldo G. Serra. São Paulo: PINI, 667p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983) **NBR 7682 – Calda de cimento para injeção - Determinação do índice de fluidez.**
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998) **NBR NM 67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.**

- de LARRARD, F. *et al.* (1997) **The AFREM method for the mix-design of high performance concrete.** *Materials and Structures*, v. 30, p. 439-446, Aug.-Sep.
- FERRARIS, C.F. (1999) **Measurement of rheological properties of high performance concrete: state of the art report.** *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, v.104, n. 5, p. 461-478, Sep.-Oct.
- GHIO, V.A. (1993) **The rheology of fresh concrete and its effect on the shotcrete process.** Tese (Doutorado) em Engenharia Civil pela Divisão de Graduação da Universidade da Califórnia em Berkeley.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. (1994) **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 573p.
- POWERS, T.C. (1968) **The properties of fresh concrete.** New York: John Wiley & Sons, 664p.
- TATTERSALL, G.H. (1991) **Workability and quality control of concrete.** London: E & FN SPON, 262p.