

Determinação e avaliação da viscosidade plástica e da tensão crítica de concretos usando o ensaio do tronco de cone modificado

João Felipe A. Reis • *Mestre em Engenharia Mecânica FEIS/UNESP*
Mônica P. Barbosa • *Professora*
Geraldo F. Maciel • *Professor*
Departamento de Engenharia Civil-UNESP/Ilha Solteira

Resumo

Conhecer as propriedades reológicas do concreto no estado fresco, como tensão de escoamento e viscosidade plástica, são importantes, principalmente, no período em que o material é lançado nas fôrmas. O uso dos parâmetros reológicos para estudar a taxa de fluidez e a trabalhabilidade do concreto não são usualmente utilizados nos canteiros de obras de construção civil. Geralmente, o abatimento do concreto é o único parâmetro medido e, mesmo em laboratórios de pesquisa, os estudos raramente fornecem informações adicionais sobre o comportamento do escoamento desses materiais. O ensaio do tronco de cone modificado proposto por [1] permite avaliar a tensão de escoamento e a viscosidade plástica do concreto, de maneira simples e sem grandes custos, uma vez que reômetros de concreto são aparelhos sofisticados e relativamente caros. Este estudo avalia a tensão de escoamento e a viscosidade obtida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone modificado no concreto de alto desempenho (CAD) e o concreto convencional (CC), ambos elaborados com cimento CPV-ARI. Correlações entre o ensaio de abatimento de tronco de cone modificado e o ensaio de reometria clássica foram estabelecidos. Os resultados obtidos

mostraram-se bastante satisfatórios para o cálculo da tensão crítica e da viscosidade dos concretos avaliados.

Palavras-chave: Concreto fresco, reologia, viscosidade, slump, tensão de escoamento

Abstract

Knowing the concrete rheological properties in fresh state, viscosity and yield stress, are mainly important in the period that the material is thrown in the molds. The use of the rheology to study the fluidity rate or concrete workability is not very common. Usually, the slump is just an unique measured parameter and, even in laboratory, the studies rarely supply additional information about the flow behavior of those materials. The slump modified test proposed by [1] it allows to evaluate the critical tension and concrete plastic viscosity so simply and without significant costs, because rheometers of the laboratories are very sophisticated and relatively expensive apparatus. This study evaluates the yield stress and the viscosity obtained by the slump modified test for two different types of concrete, like to: the conventional fresh concrete (CC) and the concrete of high acting (CAD), elaborated with cement CPV ARI. And it

was done to test the correlation between slump modified test and test classical rheometer. For the concretes of high performed starting from the specific line the additive volume addition superplastificante was varied obtaining initial slumps that varied between 100mm and 260mm. The initial results obtained have proved very satisfactory in stress and viscosity calculus of the evaluated concretes.

Keywords: Fresh concrete, rheology, viscosity, slump, yield stress

Introdução

Do surgimento do concreto, no início do século XIX, até os dias de hoje, novas tecnologias e novos materiais para a construção civil foram desenvolvidos de maneira significativa. A descoberta, nos últimos anos, de aditivos químicos – superplastificantes – e a utilização de adições minerais – tais como a microssilica – permitiram que a indústria da construção civil de concreto evoluísse consideravelmente. Atualmente, é grande a variedade de tipos de aditivos químicos, que visam, em sua maioria, melhorar a trabalhabilidade do concreto e, conseqüentemente, sua durabilidade e resistência.

O concreto é um material compósito, entendido como uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido viscoso (pasta de cimento). A exigência por parâmetros que melhor definem suas propriedades no estado fresco, importante para a indústria da construção, fez com que se buscasse os conceitos da reologia para estudar seu comportamento.

A trabalhabilidade é uma propriedade composta de, pelo menos, dois componentes principais: fluidez, que descreve a facilidade de mobilidade do concreto fresco; e a coesão, que descreve a resistência à exsudação ou à segregação [2]. As normas técnicas especificam diferentes métodos de ensaio para sua avaliação, embora nenhum deles seja capaz de abranger a grande variação de trabalhabilidade utilizada na prática. Entre os métodos de ensaio existentes, figura o ensaio de abatimento de tronco de cone, especificado pela NBR NM 67/98[3].

Fazer uso da reologia para estudar trabalhabilidade do concreto não é usual. Geralmente, o abatimento é o único parâmetro medido e está relacionado com a tensão de escoamento. São fornecidas, raramente, informações adicionais sobre o comportamento do escoamento da mistura, ou seja, sobre o comportamento do

concreto sob maiores taxas de cisalhamento. Além do mais, o ensaio de abatimento de tronco de cone é uma avaliação empírica.

Buscando um equipamento que suprisse a necessidade de se fornecer dois parâmetros reológicos que caracterizassem o comportamento de um concreto no estado fresco, foi proposto por [1] o ensaio de abatimento do tronco de cone modificado, que tem sido usado em alguns centros de pesquisa como um método alternativo de ensaio, capaz de determinar os dois parâmetros reológicos do concreto. Este ensaio permite avaliar a tensão de escoamento e a viscosidade plástica do concreto, de maneira simples e sem grandes custos, sobretudo sabendo que reômetros de concreto são aparelhos sofisticados e relativamente caros, cuja disponibilidade de uso é um tanto que restrita aos meios acadêmicos.

Neste trabalho foi avaliada a trabalhabilidade de concretos de alto desempenho (CAD) e de concretos convencionais (CC) a partir de conceitos reológicos, utilizando o ensaio de abatimento de tronco de cone modificado. Os resultados obtidos foram correlacionados com os ensaios via reometria clássica, reômetro de concreto, permitindo observar com maior precisão a influência dos componentes do concreto em suas propriedades reológicas.

Propriedades do concreto fresco

As principais propriedades do concreto no estado fresco são a trabalhabilidade, segregação, exsudação e tempo de pega. O concreto pode ser considerado um fluido homogêneo e incompressível, e pode ser estudado pela ciência da reologia, desde que obedeça aos critérios:

- ◆ Não segregue durante o escoamento;
- ◆ Seu volume permaneça constante durante o processo de cisalhamento, isto é, seja incompressível;
- ◆ Tenha abatimento maior que 100 mm (para uso da metodologia aqui proposta).

Para alguns autores, o termo trabalhabilidade é usado como forma de abranger todas as qualidades necessárias a uma mistura, o que pode incluir, sob a mesma denominação geral, o requisito estabilidade, que significa dizer que a mistura é capaz de resistir à segregação e à exsudação [4], sendo que o nível de trabalhabilidade exigido vai depender da situação para a qual o material será empregado.

A trabalhabilidade do concreto pode ser definida como a propriedade que deter-

mina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade, sendo considerada a propriedade referente à sua aptidão em ser facilmente misturado, transportado, colocado em fôrmas e compactado, mantendo a sua integridade e homogeneidade, ou seja, evitando a segregação. É uma definição relativa, pois depende também da influência das fôrmas, dimensões e armaduras das peças a serem moldadas, e se refere às propriedades do concreto no estado fresco, isto é, antes que se inicie a pega e seu endurecimento.

Independente do procedimento de dosagem do material, a trabalhabilidade do concreto é de extrema importância para a sua tecnologia, estando diretamente relacionada ao seu custo, uma vez que se torna trabalhoso e, às vezes, impossível a manipulação de concretos que não pode ser lançado com facilidade ou até mesmo adensado.

Reologia do concreto fresco

Sendo o concreto entendido como uma concentração de partículas sólidas em suspensão (agregados) em um líquido viscoso (pasta de cimento), sendo a pasta de cimento um líquido não homogêneo, composta por partículas (grãos de cimento) e um líquido (água), em termos reológicos, a exigência por parâmetros que melhor definam suas características fez com que novos estudos fossem iniciados.

A reologia, ciência voltada ao estudo da deformação e fluidez da matéria com relação direta entre tensão, deformação e tempo, é capaz de avaliar o comportamento do concreto no estado fresco, quando o mesmo se encontra no estado líquido, sendo considerado um líquido monofásico, ainda que tenhamos no início do processo fases distintas com a suspensão de agregados na matriz cimentícia (água + cimento).

As equações usadas para materiais com partículas em suspensão, caso do concreto, relacionam a concentração das partículas em suspensão à viscosidade ou à tensão de cisalhamento ou à taxa de cisalhamento, assumindo que há apenas um valor para a viscosidade do sistema em suspensão. Diz-se, portanto, que a tensão necessária ao escoamento do material, denominada de tensão de cisalhamento (τ) é igual a à soma da tensão de escoamento (τ_0) e de outro termo proporcional à taxa de cisalha-

mento ($\dot{\gamma}$), denominado de viscosidade plástica (μ_p) (equação 1).

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma} \quad (1)$$

O concreto já foi submetido a vários testes reológicos e ajustado a diversos modelos; no entanto, o modelo que melhor descreve o comportamento reológico do concreto ao longo de sua fase no estado fresco é o modelo de Bingham (Tattersall [5]).

A reta de escoamento de Bingham corta o eixo da tensão conforme Figura 1. Isso vale dizer que o concreto precisa de uma tensão inicial de cisalhamento no ponto de tensão de escoamento ou crítica (yield stress) diferente de zero, para que o material mude do estado sólido para o estado líquido, onde ocorre o início do escoamento.

Uma explicação para o comportamento de um fluido binghamiano é de que o fluido, em repouso, contém uma estrutura tridimensional com rigidez suficiente para resistir qualquer tensão inferior à tensão de escoamento. Caso a tensão de escoamento seja excedida, a estrutura se desintegra e o sistema se comporta como um fluido newtoniano, sob uma determinada tensão de cisalhamento. Quando a tensão de cisalhamento que age sobre o sistema for reduzida e atingir valores inferiores à tensão de escoamento, a estrutura tridimensional é recuperada [6].

Se as propriedades do concreto no estado fresco se aproximam, em muito, de um fluido binghamiano, o material deve ser avaliado em termos de duas constantes: tensão de escoamento e viscosidade plás-

Figura 1 - Curva de escoamento para um fluido binghamiano. [4]

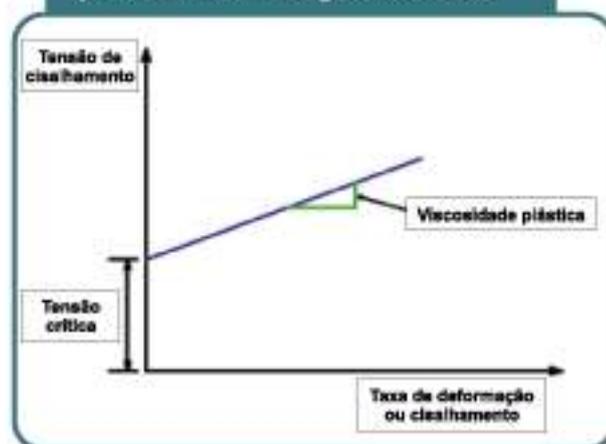
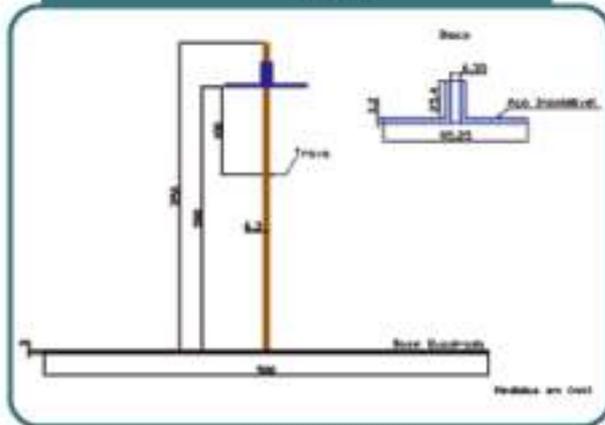


Figura 2 – Aparelho de abatimento de tronco de cone modificado. Haste no centro da base e disco deslizante, [1]



tica. O primeiro parâmetro reológico está relacionado com o abatimento, enquanto o segundo faz a diferença entre um concreto facilmente trabalhável e aquele de comportamento "pegajoso", difícil de ser bombeado e que apresenta vazios na superfície quando a forma é retirada.

Hu & de Larrard [7] afirmam que o concreto exibe propriedades de um fluido tixotrópico, sendo que um efeito importante da tixotropia do concreto é o grande aumento da tensão de escoamento durante o repouso. Ele pode também apresentar um comportamento dilatante, onde a dilatação observada em um concreto deve ser relacionada principalmente ao método de ensaio utilizado [7].

Figura 3 – Aparelho de abatimento de tronco de cone modificado. Posicionamento do equipamento para realização do ensaio.

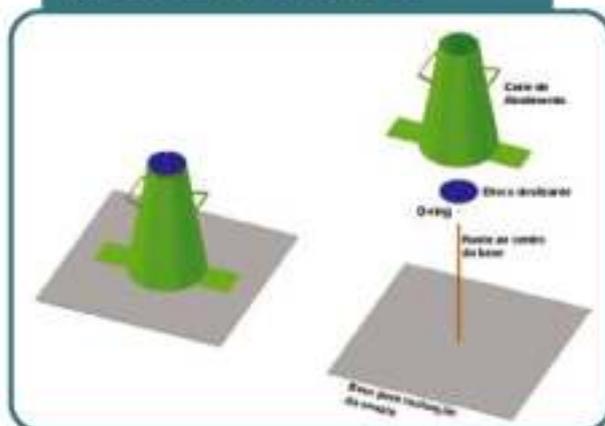
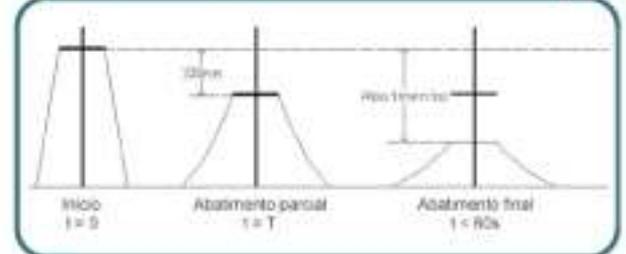


Figura 4 – Esquema de ensaio de abatimento de tronco de cone modificado, [1].



Ensaio de abatimento do tronco de cone modificado

O ensaio de abatimento de tronco de cone modificado proposto por [1] permite caracterizar a viscosidade plástica, baseado em uma taxa média de abatimento durante o ensaio. Dessa maneira, intervalos de tempo necessários para se alcançar uma altura intermediária entre os valores inicial e final de abatimento pareceram, a priori, uma boa maneira para descrever a viscosidade dos concretos [8].

Durante a escolha da altura intermediária de abatimento, dois problemas potenciais foram levados em consideração: primeiro, os abatimentos muito baixos poderiam levar a tempos de abatimento muito pequenos e, assim, resultariam em baixa precisão nas medidas; e um abatimento parcial que fosse muito alto poderia excluir todos os concretos com abatimentos finais menores. Assim, como a variação de abatimento dos concretos capazes de serem avaliados com reômetros é maior que 100 mm, foi adotado este valor para o abatimento parcial [1][12].

A tensão de escoamento do concreto está relacionada com o abatimento, já a viscosidade ao tempo de abatimento do material. A modificação ocorrida no aparelho de abatimento de tronco de cone padrão para o aparelho de abatimento de tronco de cone modificado foi a colocação de uma haste, que fica ao centro da base do cone, e o uso de um disco deslizante (Figuras 2 e 3).

Para a marcação do tempo, utiliza-se um disco que desliza pela haste por uma altura de 100 mm. Quando o disco chega à altura de 100 mm, ele é travado pela haste (Figura 4). O tempo é controlado por um operador que o mede usando um cronômetro ([1] e [12]), ou ainda, através de cinematografia da queda (captura e tratamento de imagens) associada a dispositivos eletrônicos, técnica esta explorada neste artigo. Para o cálculo da tensão de escoamento e da viscosidade plástica, foram utilizados o abatimento final e o tempo da queda do disco.

A tensão de escoamento é calculada pela Equação (2), que relaciona o abatimento do concreto com a tensão de escoamento [1].

$$\tau_0 = \frac{\rho}{347} (300 - S) + 212 \quad (2)$$

Onde ρ é a massa específica do concreto (Kg/m^3), τ_0 é a tensão de escoamento (Pa) e S é o abatimento do concreto (mm).

Para avaliar a viscosidade plástica foi assumido um abatimento final, massa específica do concreto e do tempo do abatimento. As Equações (3) e (4), propostas por [1] calculam a viscosidade para o concreto com abatimento entre 100 mm e 260 mm.

$$\mu = 1,08 \times 10^{-3} (S - 175) \rho T \quad (3)$$

para $200 \text{ mm} < S < 260 \text{ mm}$

$$\mu = 25 \times 10^{-3} \rho T \quad (4)$$

para $S < 200 \text{ mm}$

Onde $\mu = \mu_b$ é a viscosidade plástica [Pa.s] e T é o tempo do abatimento parcial (s).

Procedimento experimental

O comportamento reológico do concreto no estado fresco realizado através do ensaio de tronco de cone modificado, que fornece os dois parâmetros reológicos, viscosidade e tensão de escoamento, necessários para a avaliação das propriedades reológicas do concreto fresco, foi feito variando-se o tempo de descanso do

concreto. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos via reometria clássica (reômetro UFSCar), onde em função da limitação existente do reômetro utilizado, que permite ensaios com agregados graúdos de diâmetro nominal de até 9,5mm, fez-se necessário desenvolver uma composição de concreto com agregados nesse diâmetro.

Os concretos de alto desempenho, denominados CAD, foram elaborados com cimento do tipo CPV-ARI, brita de origem basáltica de 16 mm, sílica ativa, aditivo superplastificante à base de policarboxilato e areia média proveniente da região de Castilho-SP. Suas composições se diferenciaram apenas na quantidade de superplastificante, variando em 0,1% a 0,2% a dose de superplastificante por traço. O concreto de alto desempenho denominado de MCAD teve os mesmos tipos de materiais, porém com brita de granulometria menor (9,5 mm) e teor de aditivo de 1,1% em relação à massa dos aglomerantes. O traço denominado de CC é de um concreto convencional cuja composição não contém aditivo superplastificante e sílica. Os aspectos relacionados ao desempenho mecânico e durabilidade foram avaliados aos 7 e 28 dias. As composições estão apresentadas na Tabela 1.

O procedimento de mistura influencia, de maneira acentuada, as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido. Para o concreto convencional, foi adotado o procedimento padrão de mistura, conforme mostrado na Figura 5. Já, para os CAD's, a diferença para o procedimento padrão se dá na adição de aditivo superplastificante ao final do repouso do concreto (Figura 6). Ambos tiveram tempo total de mistura de 10 minutos. Já, para o MCAD, o procedimento se diferenciou desde a seqüência de mistura dos materiais até o tempo total de produção do concreto (Figura 7) e o tempo total de mistura foi de 12 minutos para a produção do concreto.

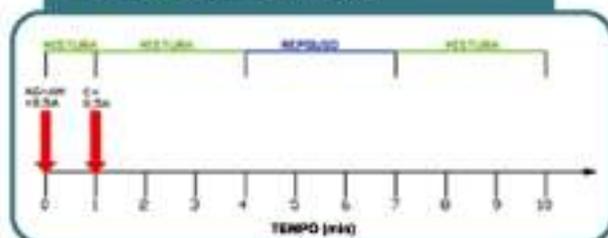
Nos ensaios de abatimento de tronco de cone modificado, foi adotado um único procedi-

Tabela 1 – Composições dos concretos

Tipos de concreto	Relação A/C	Água (Kg/m^3)	Cimento (Kg/m^3)	Sílica (Kg/m^3)	Agregado Graúdo (Kg/m^3)	Agregado Miúdo (Kg/m^3)	Aditivo (Kg/m^3)
CAD 1	0,3	160,1	466,7	51,8	1088,6	763,1	4,644
CAD 3	0,3	160,1	466,7	51,8	1088,6	763,1	5,160
CAD 5	0,3	160,1	466,7	51,8	1088,6	763,1	5,676
MCAD	0,3	160,1	466,7	51,8	957,1	848,7	5,767
CC	0,64	221,7	357	-	1088,6	763,1	-

Figura 5 – Procedimento de mistura adotado para o concreto convencional.

AG = agregado graúdo,
AM = agregado miúdo,
A = água, C = cimento



mento. Após o término da mistura, o concreto ficou em descanso por 5 minutos e, em seguida, uma amostra do material foi ensaiada. Durante os ensaios, o restante do concreto permaneceu dentro do misturador, sendo que a abertura do equipamento foi protegida com um pano úmido para se evitar a perda de água por evaporação.

A aquisição do tempo de abatimento parcial foi feita com a filmadora JVC DV500 de alta resolução, posicionada acima do aparelho de abatimento modificado, de forma que fosse possível manter constante a visualização do disco, desde o início até ao fim da sua queda de 100 mm (Figura 8). Para a edição das imagens capturadas, foi utilizado o software Ulead Video Studio 8 específico para este fim, tendo sido possível, com precisão, a visualização do início e do fim do abatimento parcial do concreto, dado necessário para a obtenção do tempo de duração da queda do disco.

A Figura 9 ilustra as várias fases do abatimento parcial, assim como o percurso do disco colocado na haste localizada no centro do aparelho de tronco de cone modificado, cujas imagens foram obtidas através do aparato de vídeo acima mencionado.

Figura 6 – Procedimento de mistura adotado para os concretos alto desempenho.

AG = agregado graúdo,
AM = agregado miúdo,
A = água, C = cimento,
SA = sílica ativa,
SP = superplastificante.

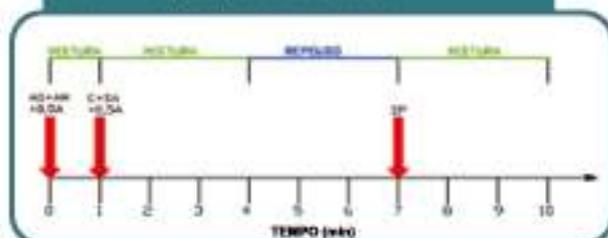
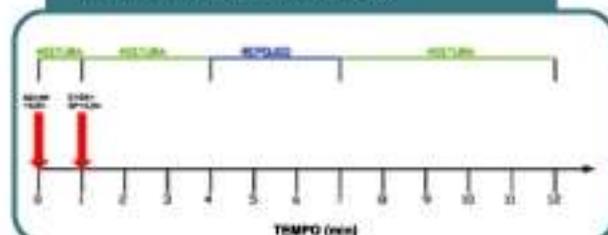


Figura 7 – Procedimento de mistura adotado para o Micro concreto Alto Desempenho (MCAD).

AG = agregado graúdo,
AM = agregado miúdo,
A = água, C = cimento,
SA = sílica ativa,
SP = superplastificante.



Nos ensaios reométricos foi adotado procedimento igual ao utilizado no ensaio de tronco de cone modificado, evitando-se possíveis variações nos resultados a serem comparados. Sendo o reômetro utilizado automatizado, seu manuseio para a realização do ensaio fica facilitada e fornece um resultado confiável e próximo do comportamento real da amostra ensaiada. Adotou-se nos ensaios uma programação dos torques aplicados e dos tempos de descanso do concreto, simulando o realizado no tronco de cone modificado.

Resultados

ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE MODIFICADO

Os valores das tensões cisalhamento com escoamento dos concretos avaliados

Figura 8 – Esquema de montagem do aparato de filmagem



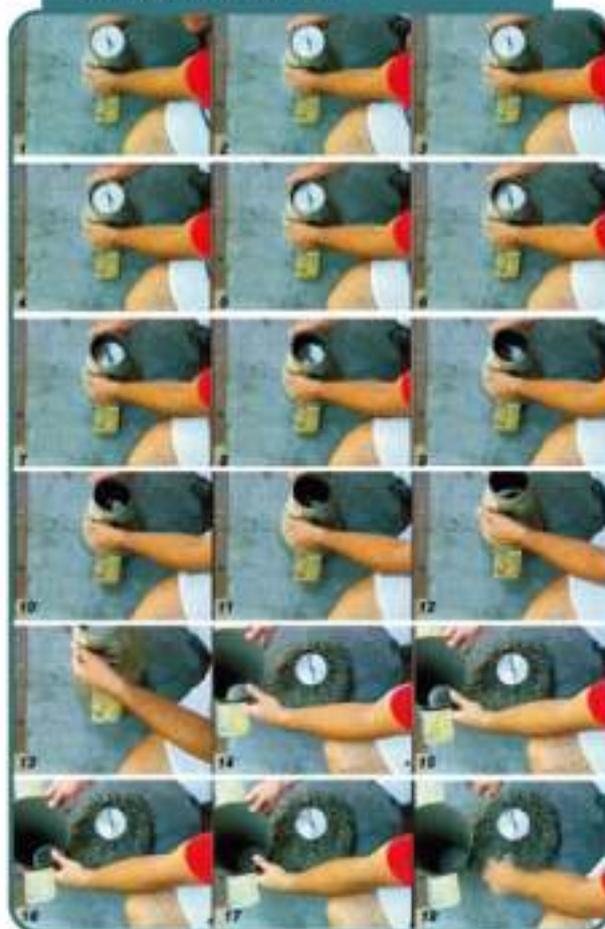
são apresentados na Tabela 2. Na Figura 10 são ilustrados o desenvolvimento da tensão de escoamento versus tempo.

A tensão crítica do concreto é uma função decrescente do seu abatimento. O concreto convencional apresenta uma curva de tensão bem definida, com acentuado ganho de tensão de escoamento ao longo do tempo. Entretanto, depois de decorridos 55 minutos do seu tempo inicial, não foi mais possível obter esta tensão. No caso do CC, o material que mais influencia no comportamento reológico é o cimento, sendo ele responsável pelo processo de hidratação que, juntamente com as propriedades dos agregados, definem o processo da pega do concreto.

A adição de superplastificante nos concretos de alto desempenho (CAD's) proporcionou menores índices de tensão de escoamento. As curvas de tensão dos três concretos – CAD 1, CAD 3 e CAD 5 – são proporcionais, porém estão em níveis diferentes de tensão. Segundo [9] e [10], esse fato está relacionado com a defloculação das partículas de cimento, tendo sido também observado por [8].

Embora o MCAD e o CAD 5 tenham a

Figura 9 – Diversas fases do ensaio de abatimento dos concretos ensaiados



mesma dosagem do superplastificante, os níveis de tensão apresentados foram diferentes, devido à mudança da granulometria do agregado graúdo utilizado no MCAD e do teor de argamassa, o que levou a um aumento da superfície específica dos agregados, ocasionando um concreto com tensão de escoamento superior. O comportamento do MCAD nos primeiros 15 minutos foi diferente do comportamento dos CAD's, isso por que o método de mistura do concreto foi diferente, sendo um método mais eficiente para a dispersão das moléculas de superplastificante.

Nota-se que as perdas de trabalhabilidade do concreto, associadas com o ganho da tensão de escoamento, estão relacionadas com o processo de pega do concreto, passando o concreto a enrijecer com o tempo devido às reações de hidratação do cimento.

A Figura 11 apresenta as curvas obtidas para a viscosidade plástica dos concretos em função do tempo. Elas indicam que o CC apresentou um ganho de viscosidade contínuo ao longo do tempo, porém pouco expressivo. Devido à limitação da proposta do ensaio de abatimento mínimo de 100 mm, a partir do

Tabela 2 – Resultados da tensão de escoamento dos quatro concretos ensaiados

Concretos	Tempo de medida (minutos)										
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105
	Tensão de Escoamento [Pa]										
CAD 1	1087,5	1009,0	1143,7	1244,7	1401,8	1581,4	-	-	-	-	-
CAD 3	872,0	791,2	905,7	1013,4	1148,1	1269,4	1377,1	1505,1	-	-	-
CAD 5	708,7	675,0	725,5	767,6	826,6	860,2	1003,3	1146,5	1298,0	1500,0	1592,6
MCAD	1121,2	1278,4	1525,3	1660,0	-	-	-	-	-	-	-
CC	941,6	1110,0	1289,6	1458,0	1559,0	1592,6	-	-	-	-	-

Figura 10 – Curva tensão de cisalhamento versus tempo para os concretos ensaiados

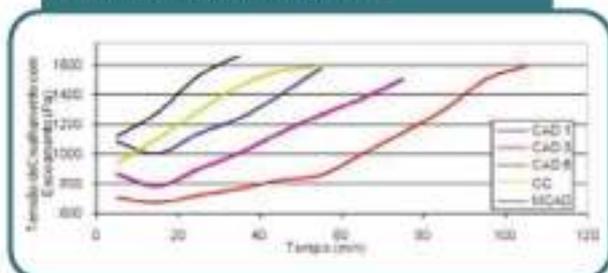
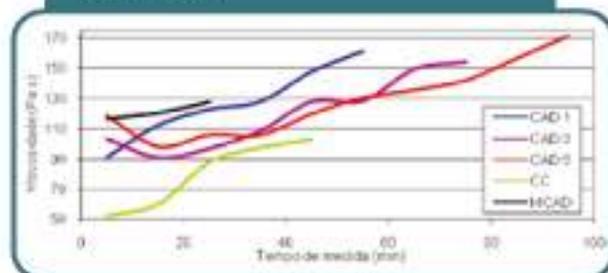


Figura 11 – Curva viscosidade versus tempo para os concretos ensaiados



tempo de 55 minutos, não mais foi possível sua avaliação.

No gráfico da Figura 11, pode-se observar que a adição de superplastificante ao concreto pouco influenciou na sua viscosidade, embora na bibliografia consultada exista ressalva de que a variação da viscosidade do concreto dependa das proporções de materiais empregados na sua composição e do seu tempo de pega.

Literalmente, o CAD é um concreto mais viscoso que o CC, sendo chamado de “pegajoso”. Isto se deve à relação água/aglomerante e a proporção de aditivos adicionados ao mesmo. Essa diferença no comportamento inicial da viscosidade do CAD e do CC pode ser observada na Figura 11.

Conclusões

Através dos resultados e comparações, verifica-se que o ensaio de tronco de cone

modificado é uma alternativa muito boa para a obtenção de parâmetros reológicos do concreto. Ainda existe necessidade dessa técnica ser mais aprimorada, de forma que os valores obtidos para a tensão e viscosidade tenham maior precisão, reproduzindo maior fidelidade à realidade e que seja divulgada como sendo uma alternativa de baixo custo, quando comparada ao investimento feito para a aquisição de um reômetro.

Constatou-se também que a viscosidade do concreto, independente do seu tipo, CC ou CAD, pouco variou durante o ensaio e que a influência do superplastificante na viscosidade do concreto é pouco significativa, quando comparada com a influência da tensão e torque de escoamento.

O esquema de filmagem utilizado para captura do tempo de abatimento foi de grande valia, uma vez que as incertezas, que foram mensuradas ao final do levantamento de dados dos ensaios, foram minimizadas devido à tecnologia utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] FERRARIS, C. F.; De LARRARD, F. Modified slump test to measure rheological parameters of fresh concrete. *Cement, Concrete and Aggregates*, v. 20, n. 2, p. 241-247, Dec. 1998b.
- [02] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: PINI, 2008.
- [03] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Guia básico de utilização do cimento portland*. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106)
- _____. *NBR NM 67: concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.
- [04] TATTERSALL, G. H.; BANFILL, P. F. G. *The rheology of fresh concrete*. London: Pitman, 1983. 347p.
- [05] TATTERSALL, G. H. Effect of vibration on the rheological properties of fresh cement pastes and concretes. In: *RHEOLOGY OF FRESH CEMENT AND CONCRETE*, 1990, London. Proceedings... London: E & FN Spon, 1991a. p. 323-338.
- [06] TANNER, R. I. *Engineering rheology*. ed. rev. New York: Oxford University Press, 1988. 451p.
- [07] HU, C.; De LARRARD, F. The rheology of fresh high-performance concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 26, n. 2, p. 283-294, Feb. 1996.
- [08] CASTRO, Alessandra L.; *Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho*. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais). EESC-USP, São Carlos, 2007.
- [09] PETROU, M. F. et al. Influence of mortar rheology on aggregate settlement. *ACI Materials Journal*, v. 97, n. 4, p. 479-485, July-Aug. 2000b.
- [10] TATTERSALL, G. H. Effect of vibration on the rheological properties of fresh cement pastes and concretes. In: *RHEOLOGY OF FRESH CEMENT AND CONCRETE*, 1990, London. Proceedings... London: E & FN Spon, 1991a. p. 323-338. ●