



## Aplicação dos Conceitos de Reologia no Estudo de Pastas Cimentícias

### *Application of Rheology Concepts in the Study of Cement Pastes*

V. Y. Sato (1) ; L. G. Azolin (2); J. E. S. L. Teixeira; G. L. Vieira (3); F. A. Tristão (3); Y. Dietrich (1)

(1) *Aluno de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFES)*

(2) *Aluno de Graduação, Departamento de Engenharia Civil (DEC/UFES)*

(3) *Professor Doutor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFES)*

*UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514 - Goiabeiras, Vitória - ES  
- CEP 29075-910 - Tel. (27) 3335-2054*

## Resumo

O concreto, em seu estado fresco, possui características de fluidez que são determinantes para seu correto lançamento e adensamento. Estas características são geralmente medidas através de ensaios empíricos como o abatimento de tronco de cone, porém este ensaio não quantifica totalmente o comportamento do material. Sendo o material caracterizado como fluido binghamiano, é fundamental o estudo de seu comportamento reológico para a verificação de suas propriedades ainda no estado fresco. O uso da reologia clássica tem sido empregado pela comunidade científica de forma a obter parâmetros reológicos determinantes na caracterização deste material, tais como a tensão de escoamento, viscosidade plástica e evolução da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo verificar o comportamento reológico de diferentes pastas cimentícias produzidas com o cimento CP III 40 RS e variando-se entre elas o tempo de hidratação (20 e 60 min), a relação água-cimento (0,40; 0,45 e 0,50) e com e sem incorporação de aditivo. Amostras foram ensaiadas através de ensaios de fluxo para determinação dos parâmetros reológicos, mostrando o efeito das variáveis acima mencionadas nestes parâmetros.

*Palavras chave: Reologia; Pasta de cimento; Viscosidade, Tensão de cisalhamento; Construção civil.*

## Abstract

The concrete in its fresh state, has flow characteristics that are crucial to its proper launch and densification. These characteristics are usually measured through empirical testing as the slump test, but this test does not quantify completely the material behavior. The material being characterized as a Bingham fluid, is essential the study of their rheological behavior to verify their properties even in the fresh state. The use of classical rheology has been employed by the scientific community to obtain rheological parameters determinants to characterize this material, such as yield stress, plastic viscosity and evolution of shear stress to shear rate. Thus, this present study aims to determine the rheological behavior of different cement pastes produced with cement CP III 40 RS and varying between them the hydration periods (20 and 60 min), the water-cement relationship (0.40, 0.45 and 0.50) and with and without addition of additive. Samples were assayed by flow test to determine the rheological parameters showing the effect of the variables mentioned above in these parameters.

*Keywords: Rheology; Cement paste, Viscosity, Shear stress; Civil construction.*



## 1 Introdução

É sabido que o concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo. Sua aplicação abrange diversas áreas da construção civil, como na construção de casas e edifícios, pontes, viadutos, túneis, em obras de contenção, entre outras aplicações. Basicamente, pode-se definir o concreto como um material compósito formado pela mistura de um aglomerante (cimento), agregados miúdos, agregados graúdos, água e ar, podendo conter adições e aditivos químicos para melhorar ou modificar algumas de suas propriedades. As propriedades desse material compósito são influenciadas pelas propriedades de seus constituintes e o estudo destas é de grande importância para a determinação das características ideais do concreto a ser utilizado em obra.

Para a utilização do concreto é desejável que este tenha, entre outras características, trabalhabilidade adequada. Essa característica é dependente de vários fatores, tais como do projeto de misturas, dos equipamentos a serem utilizados no lançamento do material, do acabamento a se realizar e das condições locais. O concreto deve ter coesão e viscosidade adequada, para que seja possível realizar seu transporte sem que ocorram situações indesejadas que prejudiquem sua qualidade, como a segregação de seus constituintes.

Assim, o concreto é um material que exige atenção especial, desde a fase de especificação até a cura, pois muitas vezes possui função estrutural. A norma NBR 7212 (ABNT, 1984) determina que o tempo limite para executar o lançamento do concreto é de 150 minutos a partir da sua mistura. Caso esse tempo seja ultrapassado, o concreto poderá apresentar perda de trabalhabilidade por perda de água por evaporação e início da pega devido às reações de hidratação do cimento.

Para o controle tecnológico do concreto e a verificação da sua trabalhabilidade no seu estado fresco, um ensaio comumente utilizado em campo é o teste de abatimento de tronco de cone (*Slump test*), normatizado na NBR NM 67 (ABNT, 1998). Contudo, algumas propriedades reológicas do concreto, tais como viscosidade, tensão de cisalhamento, tensão de escoamento, entre outras, não são possíveis de se obter através desse ensaio. Entretanto, o emprego de equipamentos automatizados e controlados, tais como os reômetros, garante a obtenção de informações mais precisas a respeito do fluido estudado.

De modo geral, as propriedades do concreto em seu estado fresco estão diretamente relacionadas com o comportamento da pasta cimentícia (CASTRO *et al.*, 2011). Uma maneira de analisar esse comportamento é através da reologia, ciência voltada para o estudo da deformação e escoamento de materiais quando submetidos a tensões de cisalhamento, relacionando estas tensões com as deformações ao longo do tempo (BANFILL, 1994).

Barbosa *et al.* (2011) salienta que é possível a determinação de parâmetros reológicos do concreto fresco através de ensaios alternativos como o método de PASHIAS e o método



do abatimento de troco de cone modificado. O primeiro método estima a tensão de escoamento ou tensão crítica do fluido e o segundo determina a viscosidade plástica e tensão de escoamento.

Para a determinação dos parâmetros reológicos da pasta cimentícia, tais como tensão de escoamento, viscosidade aparente, perfil reológico do material e, ainda, os efeitos da consolidação desse material associados à hidratação do cimento, a literatura propõe alguns testes como, por exemplo, ensaio de fluxo, ensaio oscilatório (varredura de tempo e varredura de deformação) e ensaio de palheta ou *Vane test* (SATO *et al.*, 2012; LISBÔA, 2004; CAVALCANTI, 2006; VENÂNCIO, 2008; SAAK *et al.*, 2001; BETIOLI *et al.*, 2009). Apesar do número cada vez crescente de estudos que visam à análise do comportamento do concreto em seu estado fresco, o uso de ferramentas e ensaios baseados na reologia rotacional ainda é incipiente.

Levando em consideração a necessidade de uma avaliação mais abrangente das propriedades do concreto no seu estado fresco, esta pesquisa busca fazer a análise das propriedades reológicas de pastas cimentícias através da realização de ensaio de fluxo utilizando o reômetro de cisalhamento dinâmico como principal equipamento de ensaio. Assim, propriedades reológicas de pastas produzidas com diferentes relações água-cimento com e sem incorporação de aditivos serão analisadas para verificar os efeitos destes constituintes no comportamento reológico de pastas cimentícias.

## 2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo verificar o comportamento reológico de diferentes pastas cimentícias produzidas através da mistura de água e cimento Portland, com e sem incorporação de aditivos, de forma a se verificar a influência destes constituintes nos parâmetros reológicos analisados (tensão de escoamento, viscosidade aparente, perfil reológico do material e efeitos da consolidação desse material associados à hidratação do cimento).

Na composição dessas pastas foram utilizadas diferentes relações água-cimento (0,40; 0,45 e 0,50), com e sem incorporação de aditivo. Além disso, as pastas foram ensaiadas em diferentes tempos de hidratação (20 e 60 min), para que também fosse possível a verificação do efeito da hidratação do cimento nas propriedades reológicas das pastas cimentícias estudadas.

## 3 Materiais e Métodos

Para a realização desta pesquisa utilizou-se o cimento CP III 40 RS, classificado como cimento Portland de Alto Forno resistentes à sulfatos de acordo com a norma NBR 5735 (ABNT, 1991). O cimento CP III 40 RS é comumente utilizado por concreteiras do Estado do Espírito Santo.

Para caracterização granulométrica do material, foi realizado ensaio utilizando um granulômetro (modelo Sympatec®) de difração a laser, cuja lente realiza leituras em materiais na faixa de 1,8 a 350  $\mu\text{m}$ . A Figura 1 mostra a curva de distribuição granulométrica obtida para o cimento utilizado neste estudo.

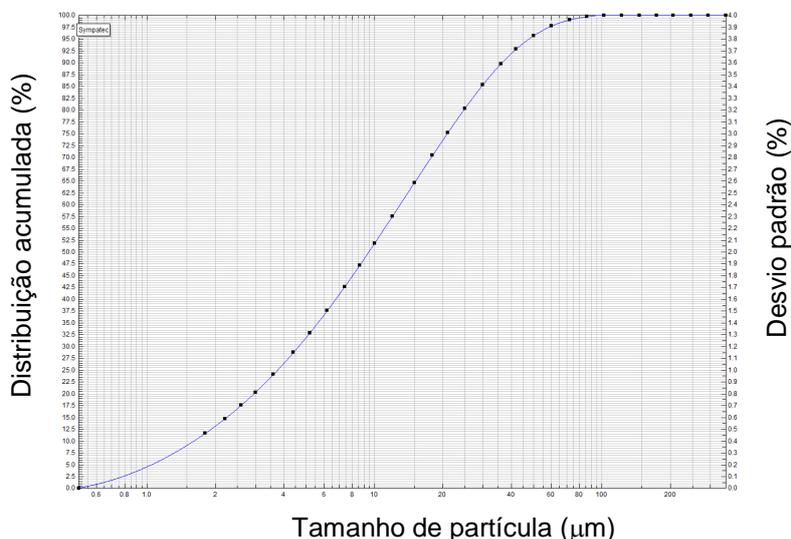


Figura 1 – Curva granulométrica do cimento Portland CP III 40 RS.

O aditivo incorporado em algumas das pastas cimentícias estudadas foi o GLENIUM® 51 (da empresa BASF S. A.), que é um superplastificante à base de éter policarboxílico. A água utilizada neste trabalho é oriunda da forma natural diretamente da rede de água da concessionária.

### 3.1 Composição e Preparação das Pastas Cimentícias

Nesta pesquisa foram analisadas amostras de pastas cimentícias com três relações a/c distintas, com e sem acréscimo de aditivo. Na Tabela 1 são apresentados os valores de relação a/c e a quantidade de aditivo determinada para cada amostra utilizada no ensaio de fluxo.

Tabela 1 – Relações a/c e quantidade de aditivo nas pastas analisadas.

Pasta cimentícia	Relação a/c	Aditivo
Pasta 1	0,40	-
Pasta 2	0,45	-
Pasta 3	0,50	-
Pasta 4	0,40	0,2 %
Pasta 5	0,45	0,2 %
Pasta 6	0,50	0,2 %



### 3.1.1 Preparação das Pastas Cimentícias

Como ainda não há um método normatizado de mistura para a produção de pastas cimentícias a serem utilizadas na determinação das propriedades reológicas utilizando reômetro de cisalhamento dinâmico, foi adotado na presente pesquisa o procedimento de mistura das pastas cimentícias segundo a norma NBR 13276 (ABNT, 2005) que se trata do preparo da mistura e determinação do índice de consistência da argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. As massas dos materiais foram estabelecidas numa balança eletrônica digital de precisão de 0,01g.

De acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2005), primeiramente, pesou-se separadamente a quantidade de água, cimento e resíduo com aproximação de 1,0g. Em seguida acrescentou-se na água a porção específica de cimento correspondente à relação a/c estudada, de modo contínuo num período de 30 segundos. Após a junção dos materiais, estes foram misturados com um mixer por 30 segundos e então o equipamento foi desligado. Limpou-se o mixer e esperaram-se mais 60 segundos e, por fim, ligou-se o equipamento e misturou-se por mais 30 segundos de forma a obter um a pasta homogênea. Nas pastas compostas também pelo aditivo, este foi incorporado à pasta após o término da mistura mencionada anteriormente, e a nova mistura foi homogeneizada com a espátula por 30 segundos. A Tabela 2 mostra as etapas executadas para preparação das pastas cimentícias.

Tabela 2 – Processo de mistura dos materiais.

Procedimento	Tempo inicial (s)	Tempo final (s)
Junção de cimento e resíduo com a água	0	30
Mistura com mixer	30	60
Limpeza e espera	60	120
Mistura com mixer	120	150

Após todo o processo de mistura, as amostras foram mantidas em recipientes herméticos até a realização dos ensaios para que não houvesse perda de umidade para o meio. Antes de cada ensaio, as amostras foram misturadas com o mixer por um minuto para manter sua homogeneidade.

### 3.2 Ensaio de Fluxo

Através do ensaio de fluxo é possível obter a tensão de cisalhamento a uma dada taxa de cisalhamento. O ensaio consiste na aplicação de uma taxa crescente de cisalhamento com aceleração de 0 a 100 s<sup>-1</sup> em 2 min seguida de uma desaceleração até 0, em mais 2 min, como ilustrada na Figura 2.

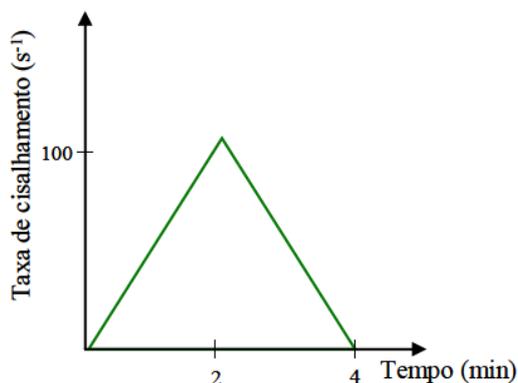


Figura 2 – Rampa de 0 a 100 s<sup>-1</sup> em 2 minutos e até 0 s<sup>-1</sup> em mais 2 minutos (Betioli *et al.*, 2009).

A partir da variação desses parâmetros, pode-se traçar a curva de escoamento e assim determinar as propriedades reológicas do material (viscosidade e tensão de escoamento). O comportamento reológico pode ser representado pelas curvas de tensão *versus* taxa de cisalhamento (Figura 3a) ou viscosidade *versus* taxa de cisalhamento (Figura 3b).

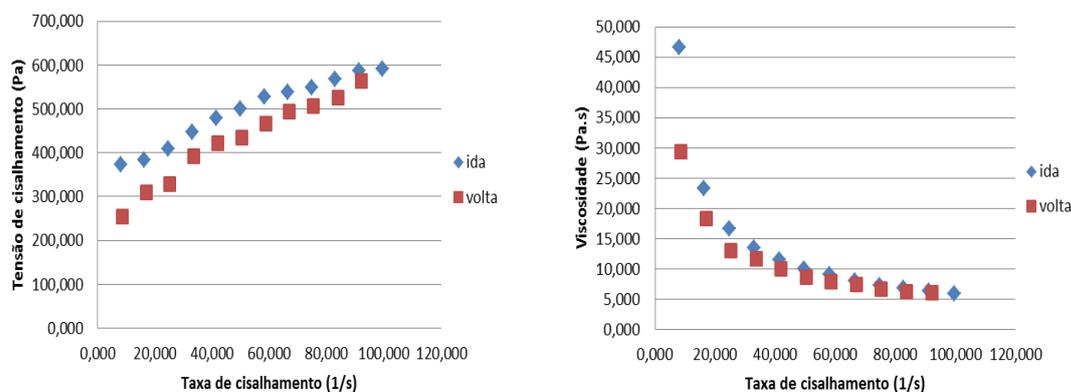


Figura 3 – (a) Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e (b) Viscosidade *versus* taxa de cisalhamento.

A determinação da viscosidade é obtida a partir da razão entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento. Extrapolando a curva de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento, até a taxa 0 s<sup>-1</sup>, é possível encontrar a tensão de escoamento aproximada, como exemplificado na Figura 4.

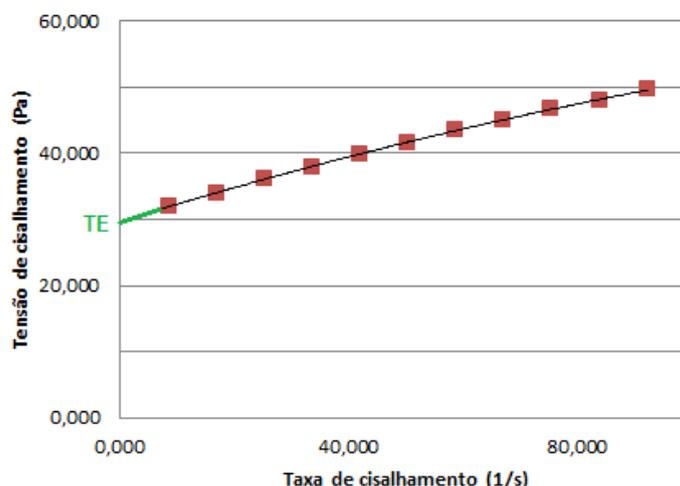


Figura 4 – Demonstração da obtenção da tensão de escoamento (TE) pela extrapolação da curva tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento, até a taxa  $0 \text{ s}^{-1}$ .

Os ciclos de cisalhamento foram realizados em tempos predefinidos dentro do intervalo de indução ou dormência do cimento, o qual apresenta menor liberação de calor (KIRCHHEIM, 2008). Neste intervalo as reações de hidratação do cimento são consideradas controladas, o que permite considerar a conservação da massa no momento do ensaio. Silva (2001) determinou o período de indução entre 20 min e 110 min a partir das intersecções do trecho horizontal com duas retas: a reta traçada no período de pré-indução e a extrapolação da linha de regressão do período de aceleração, como apresentado na Figura 5.

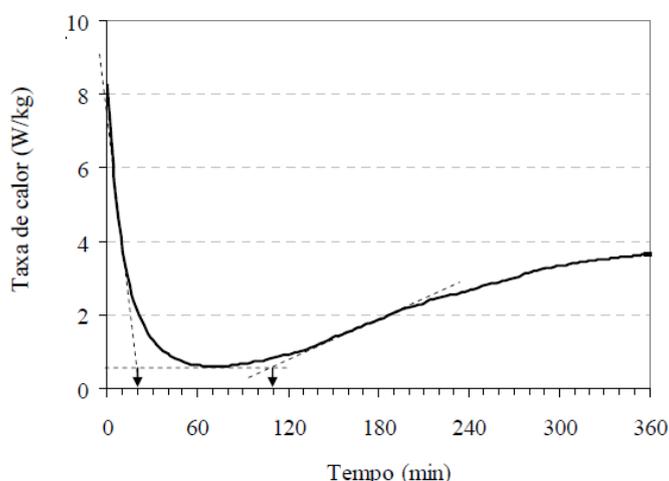


Figura 5 – Taxa de calor liberado durante 6 h de hidratação. O intervalo do período de indução ocorre entre 20 min e 110 min, aproximadamente (Silva, 2001).

Dessa forma, as pastas cimentícias foram ensaiadas em dois tempos distintos de hidratação do cimento (20 min e 60 min) dentro do intervalo de indução do material para análise dos efeitos da hidratação do cimento nas propriedades reológicas das pastas cimentícias.

Para a realização dos ensaios de fluxo foi utilizado um reômetro rotacional modelo AR 2000ex (TA Instruments), ilustrado na Figura 6. Como o cimento está em constante hidratação e liberação de calor, foi escolhido um estágio em que é observada uma baixa taxa de liberação de calor denominado período de indução ou dormência com duração aproximada de 30 minutos a 3 horas. Dessa forma, os ensaios foram realizados em 2 tempos de hidratação distintos: 20 min e 60 min, contados a partir do contato do cimento com a água. Antes de cada ensaio, a pasta foi misturada novamente da seguinte forma: 30 segundos com o mixer, 15 segundos com a espátula e 30 segundos com o mixer novamente, a fim de manter sua homogeneidade.



Figura 6 – Reômetro rotacional modelo AR 2000ex, fabricante *TA Instruments*.

Para cada pasta estudada, foram ensaiadas três amostras. Na composição dos gráficos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e viscosidade *versus* taxa de cisalhamento utilizou-se a média aritmética dos valores das amostras. A partir da análise dos gráficos verificaram-se os efeitos da relação água-cimento, da incorporação do aditivo e da hidratação do cimento em seu comportamento reológico.

Para evitar a evaporação da água e manter a temperatura da amostra em 25° C durante o ensaio, utilizou-se um dispositivo protetor (placa peltier). Foi fixado na superfície de cada placa um adesivo texturizado para impedir o deslizamento da amostra, como ilustrado na Figura 7.

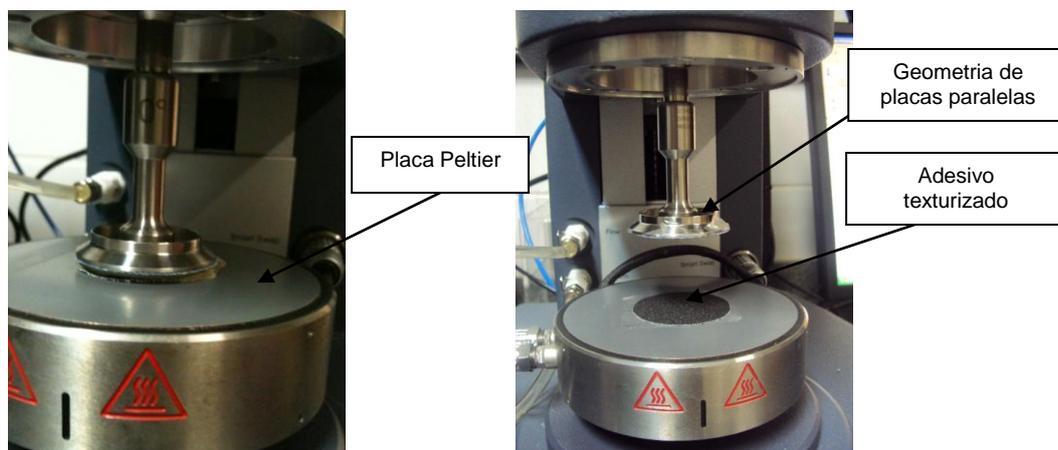


Figura 7 – Geometria de placas paralelas com peltier e adesivo texturizado.

A geometria escolhida para o ensaio de fluxo foi a geometria de placas paralelas, que possui diâmetro de 40 mm e espaçadas de 1 mm. Durante os ensaios foi mantida a temperatura de 25°C. Para impedir o deslizamento da amostra um adesivo texturizado foi fixado na superfície de cada placa.

#### 4 Resultados e Discussão

A partir dos resultados obtidos através do ensaio de fluxo realizado com os seis tipos diferentes de pastas (três amostras de cada pasta), e utilizando a média aritmética dos valores obtidos, os gráficos tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e viscosidade *versus* taxa de cisalhamento foram montados para cada tempo de hidratação (20 e 60 min) para que as análises fossem realizadas. Os gráficos são apresentados nas Figuras 8 a 13.

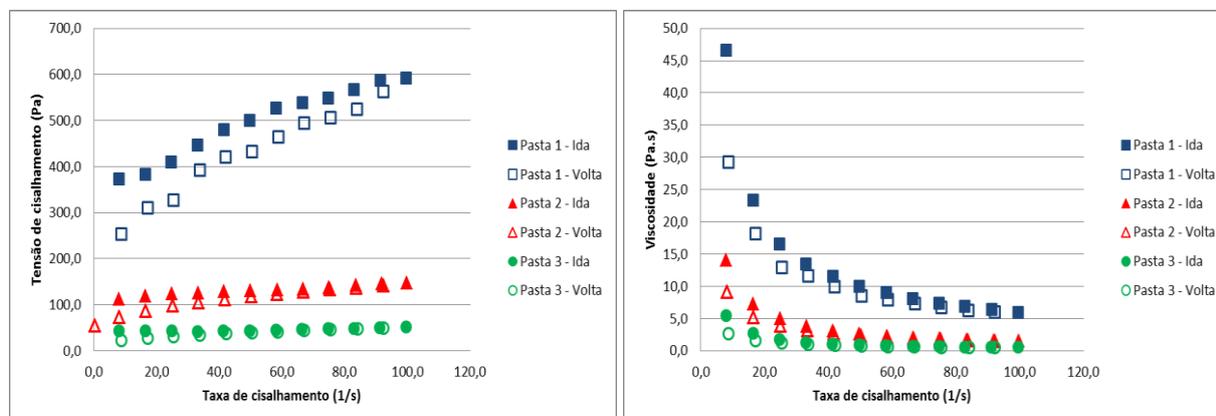


Figura 8 – (a) Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e (b) Viscosidade aparente *versus* taxa de cisalhamento das pastas cimentícias variando a relação a/c sem incorporação de aditivo, ensaiadas no tempo de hidratação de 20 minutos.

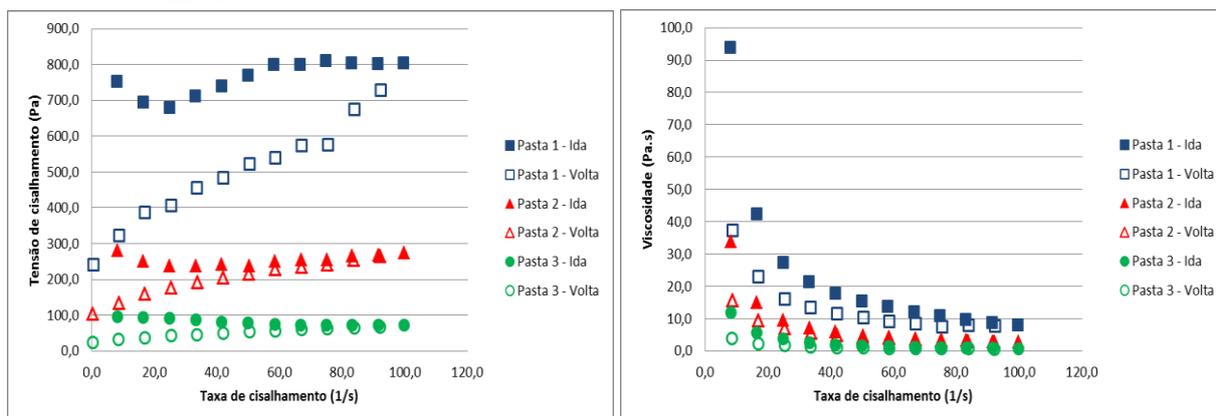


Figura 9 – (a) Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e (b) Viscosidade aparente *versus* taxa de cisalhamento das pastas cimentícias variando a relação a/c sem incorporação de aditivo, ensaiadas no tempo de hidratação de 60 minutos.

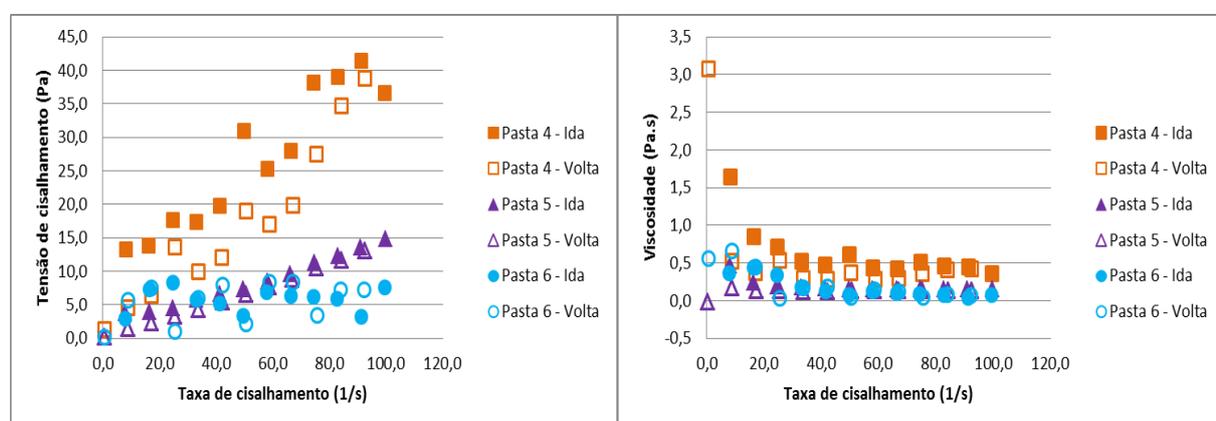


Figura 10 – (a) Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e (b) Viscosidade aparente *versus* taxa de cisalhamento das pastas cimentícias variando a relação a/c com incorporação de aditivo, ensaiadas no tempo de hidratação de 20 minutos.

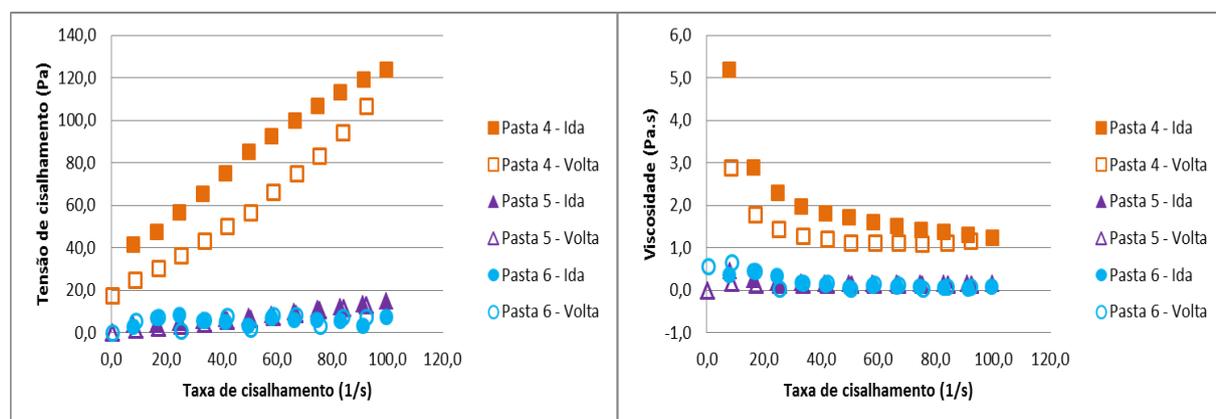


Figura 11 – (a) Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento e (b) Viscosidade aparente *versus* taxa de cisalhamento das pastas cimentícias variando a relação a/c com incorporação de aditivo, ensaiadas no tempo de hidratação de 60 minutos.



As pastas sem a incorporação de aditivo (Figuras 8 e 9) apresentaram um comportamento esperado, típico de materiais aglomerados, ou seja, a estrutura tridimensional das partículas de cimento se rompe com o aumento da taxa de cisalhamento, causando provavelmente a redução do tamanho das partículas, que resulta na diminuição da tensão de cisalhamento. Observa-se ainda que em todas as pastas a viscosidade aparente, obtida através da relação entre a tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento, diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Esse comportamento mostra certo grau de pseudoplasticidade da pasta.

Através dos gráficos tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento, com exceção da pasta 1 e 4, observou-se que todas as pastas apresentaram uma área de histerese pouco significativa. Esta área é formada através das curvas de aceleração e desaceleração das pastas cimentícias e demonstra que a taxa de desestruturação é maior que a taxa de estruturação. Isso ocorre devido à instabilidade dos materiais cimentícios, com característica tixotrópica.

Nas pastas que obtiveram o acréscimo do aditivo ficaram evidentes os efeitos da adição destes no comportamento reológico das pastas, como a diminuição da viscosidade aparente, como mostrado nas Figuras 10 e 11 (b), quando comparadas as pastas sem aditivos [Figuras 8 e 9 (b)]. Com a adição deste material, as pastas se tornaram mais fluidas, e mais susceptíveis a deformações excessivas quando submetidas a tensões de cisalhamento, tornando mais difícil a medição de valores de tensão de cisalhamento com o equipamento utilizado nesta pesquisa.

A Tabela 3 apresenta os valores das tensões de escoamento obtidas através da extrapolação da curva de aceleração até a taxa de cisalhamento igual a zero para os tempos de 20 min e 60 min de hidratação.

Tabela 3 – Valores de tensões de escoamento obtidos pelo ensaio de fluxo.

Pasta Cimentícia	Relação a/c	Tensão de Escoamento (Pa), $\tau_0$	
		20 min ( $\tau_{0,20}$ )	60 min ( $\tau_{0,60}$ )
1 (s/aditivo)	0,40	370	750
2 (s/aditivo)	0,45	112	280
3 (s/aditivo)	0,50	44	95
4 (c/aditivo)	0,40	13	40
5 (c/aditivo)	0,45	4	4
6 (c/aditivo)	0,50	3	3

Foi observado que as tensões de escoamento das pastas 1, 2, 3 e 4 cresceram 202,7%, 250%, 215,9% e 307,7%, respectivamente, quando atingiram a idade de hidratação de 60 min. O incremento da idade fez com que as pastas apresentassem uma estrutura mais aglomerada, devido ao processo de hidratação das partículas de cimento, sendo portanto necessário a aplicação de uma maior tensão para iniciar o escoamento da pasta,



fenômeno este refletido no incremento de valor da tensão de escoamento. Como esperado, as pastas sem aditivo (Pastas 1, 2 e 3) exibiram maiores resistências ao escoamento quando comparadas às pastas com aditivos (Pastas 4, 5 e 6). A adição de aditivos plastificantes a base de policarboxilato causam dispersão das partículas de cimento, aumentando assim sua fluidez, efeito conhecido como repulsão elétrica. Assim, as pastas com aditivos se tornam mais fluidas, resultando numa expressiva diminuição dos valores de tensão de escoamento quando comparamos pastas com mesma relação água-cimento.

## 5 Conclusão

Para uma melhor compreensão da influência de variáveis importantes na dosagem de misturas cimentícias (relação a/c, hidratação do cimento e uso de aditivos químicos) no comportamento de materiais à base de cimento, utilizou-se ensaios reológicos. O comportamento reológico pastas cimentícias é complexo, pois diversos fatores interferem nas suas propriedades como, por exemplo, o tipo de cimento e sua natureza reativa, a relação água/cimento utilizada, a presença de aditivos, as condições de mistura (velocidade, tempo, confinamento), entre outros.

O ensaio de fluxo é uma ferramenta eficaz para a determinação das propriedades reológicas de pastas cimentícias em laboratório uma vez que é possível solicitar as amostras com alta magnitude de cisalhamento. O que resultou em diferentes valores das propriedades reológicas (viscosidade e tensão de escoamento).

1. Observou-se que a viscosidade aparente é maior em traços com menor relação água/cimento entre as amostras sem incorporação de aditivo. As pastas que tiveram incorporação de aditivo mostraram viscosidades aparentes com pouca variação, especialmente as pastas 5 e 6.
2. As viscosidades aparentes das amostras sem aditivo não apresentaram mudanças relevantes com relação às idades de hidratação – 20 e 60 minutos – o que pode ser explicado pelo fato de as amostras terem sido ensaiadas dentro do período de dormência das reações de hidratação.
3. Verificou-se que as tensões de escoamento das pastas sem aditivo cresceram significativamente com a idade de hidratação.
4. No grupo de amostras com aditivo somente a número 4, de menor relação água/cimento (0,40), apresentou aumento da tensão de escoamento com o tempo. Nas outras duas amostras as tensões de escoamento mantiveram-se sem alteração.

Mostra-se necessária a realização de mais pesquisas para caracterização reológica de pastas cimentícias considerando o grande número de materiais que podem ser utilizados na confecção as mesmas.



## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelo aporte financeiro, e ao Laboratório de Ensaio em Materiais de Construção (LEMAC) do Centro tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio técnico e por disponibilizar a infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Preparo da mistura e determinação do índice de consistência da argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 5735**: Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BANFILL, P.F.G. Rheological methods for assessing the flow properties of mortar and related materials. **Construction and Building Materials**, v.8, n.1, p.43-50. 1994.

BARBOSA, M.P.; MACIEL, G.F.; CASTRO, A.L.; REIS, J.F.A.; LEMOS, K.A.A. Determinação de parâmetros reológicos de argamassas e concreto através de técnicas alternativas. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v.4, n. 3, p. 440-480. 2011.

BETIOLI, A. M.; JOHN, V. M.; GLEIZE, P. J. P., PILEGGI, R. G. Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 37-48, out./ dez. 2009.

CASTRO A. L., LIBÓRIO J. B. L., PANDOLFELLI V. C. Reologia de concretos de alto desempenho aplicados na construção civil – Revisão. **Revista Cerâmica**, São Carlos, v. 57, p. 63-75, 2011.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 141f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

KIRCHHEIM, A.P. **Aluminatos tricálcicos cúbico e ortorrômbico: análise da hidratação in situ e produtos formados**. 2008. 265f. Tese (Doutorado) – Programa de



Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2013  
Outubro / 2013



@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

LISBÔA, E. M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas.** 2004. 121f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

SAAK, A. W.; JENNINGS, H. M.; SHAH, S. P. The Influence of Wall Slip on Yield Stress and Viscoelastic Measurements of Cement Paste. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 2, p. 205-212, fev. 2001

SATO, V. Y.; EVANGELISTA, K. T. C.; TEIXEIRA, J. E. S. L.; TRISTÃO, F. A. Estudo das propriedades reológicas de pastas de cimento de concretos bombeados. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 54., 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: IBRACON, 2012.

SILVA, D. A. **Efeitos dos Polímeros HEC e EVA na Microestrutura de Pastas de Cimento Portland.** 2001. 246f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Departamento de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

VENÂNCIO, P. B. F. **Dosagem de argamassa para estaca raiz.** 2008. 173f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.