



# ALTERAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE PASTAS DEVIDO À PRESENÇA DE BASE POROSA

Waleska da Silva Barbosa, Vanderley Moacyr John, Rafael Giuliano Pileggi

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Civil

Av. Professor Almeida Prado, Travessa 2, n.º 83, 05508-900, São Paulo(SP) waleska.barbosa@poli.usp.br

#### **RESUMO**

A perda de água da argamassa em contato com o substrato poroso pode ocasionar alterações no comportamento reológico. Contudo, as técnicas utilizadas na caracterização reológica de pastas e argamassas não consideram a presença da base absorvente. Deste modo, a partir de adaptações no método squeeze-flow, o ensaio reológico passou a ser realizado sobre base absorvente. O presente estudo analisou os efeitos no comportamento reológico da pasta de cimento devido à presença do substrato. As variáveis estudadas foram: dois tipos de base, substrato absorvente e substrato não absorvente; duas intensidades de mistura, alta energia de mistura e baixa energia de mistura; três relações água/cimento; e dois tempos de ensaio. Desta forma foi possível avaliar a influência da absorção do substrato no comportamento reológico, sendo comprovada a influência significativa do tipo de substrato, energia de mistura, tempo de contato entre pasta e substrato. Apenas as relações água/cimento não apresentaram diferenças significativas.

Palavras-chave: reologia, pastas, substrato, squeeze-flow, mistura.











#### **ABSTRACT**

# ALTERATION IN RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF CEMENT PASTES DUE TO THE PRESENCE OF PORES IN THE SUBSTRATE

The loss of water of mortar in contact with porous substrate can cause changes in the rheological behavior. However, the rheological characterization techniques of mortars do not consider substrate absorption. Thus, a test was conducted to evaluate the rheological behavior in cement pastes applied on the substrate with and without absorption. The variables were two types of substrate, two mixing intensities , three water/cement ratios and two testing times. prioritized the cement paste analysis because the loss of water occurs in this system. From this, it was possible to evaluate the influence of the substrate absorption in the rheological behavior and the results prove the influence of the type of substrate, energy mixing and testing time . Only water/cement ratios did not show significant differences.

Keywords: rheological behavior, cementitious pastes, substrate, squeeze flow, mixture

## INTRODUÇÃO

Os mecanismos de interação de uma argamassa sobre uma superfície porosa absorvente podem ser divididos em 4 etapas bem definidas (1,2): molhagem do substrato pelo contato com a argamassa e ocorrência de sucção capilar; transporte de materiais finos para a interface devido ao fluxo capilar; equilíbrio de umidade entre substrato e argamassa; hidratação do cimento e formação de uma fase sólida coesiva entre substrato e argamassa.

Entre a molhagem até o equilíbrio da umidade ocorre o mecanismo de absorção com perda de água da argamassa para a base, assim como perda por







evaporação. Na aplicação do revestimento este período pode ser relacionado ao tempo necessário de espera entre a aplicação e o nivelamento (sarrafeamento).

As técnicas de avaliação das argamassas, quanto ao comportamento reológico, são realizadas sem a ocorrência da perda de água para base, o que de fato não representa o fenômeno existente na prática.

O mecanismo de absorção da interface substrato/argamassa ocorre predominantemente nas suspensões cimentícias, ou pastas de cimento, devido ao tamanho dos poros da base, os quais são responsáveis pelo fluxo capilar. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi adequar o método *squeeze-flow* <sup>(3-6)</sup>, com o intuito de avaliar a influência da base porosa no comportamento reológico de pastas em função do tempo.

#### **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para realização deste trabalho foi necessário adaptação do método *squeeze-flow*. A partir disto, foram utilizados dois tipos de substratos, substrato absorvente (argamassa) e base metálica. Neste último, os efeitos de sucção e fluxo capilar são nulos, foi utilizado apenas como parâmetro de comparação da influência do substrato absorvente. Sobre eles foram aplicadas as pastas de cimento e empregados dois tempos de contato entre substrato e pasta, 5 e 10 minutos.

O comportamento reológico da pasta de cimento está relacionado com energia de mistura aplicada, a qual exerce forte influência sob pasta durante as 2 primeiras horas <sup>(7)</sup>. Baixas taxas de cisalhamento podem não ser suficientes para quebrar os aglomerados de cimento formados no contato com água, tal fato pode influenciar no processo de hidratação, além de dificultar o fluxo da pasta <sup>(8)</sup>.

A partir disto, este estudo pretende avaliar como o procedimento de mistura pode influenciar no comportamento reológico aplicado sobre o substrato absorvente. Para tanto, foram utilizados três pastas com distintas relações água/cimento (a/c). As pastas tiveram dois procedimentos de mistura: alta energia de mistura (AEM); e baixa energia de mistura (BEM).

As amostras ensaiadas foram denominadas por suas relações água/cimento (0,58, 0,60 e 0,62) e tipo de mistura (BEM e AEM). Exemplo: 0,58-AEM, sendo dois









tipos de substrato (absorvente ou metálico) e dois tempos de contato entre pasta e substrato, 5 e 10 minutos.

## <u>Desenvolvimento dos Substratos Absorventes</u>

Na produção do substrato absorvente foi utilizada uma argamassa industrial de densidade anidra igual a 2,79 g/cm<sup>3</sup>. O teor de água empregado foi o sugerido pelo fabricante, 16,25 % em relação à massa de sólidos. O teor de ar incorporado obtido foi de 25 %, conforme NBR 13278/95 (9).

O substrato absorvente foi moldado em anel de PVC com preenchimento em apenas uma camada e 25 golpes, posteriormente rasados com uma régua do centro da amostra para as bordas. A base possui diâmetro igual a 101,6 mm e altura de 25 mm. A cura úmida teve período de 14 dias com temperatura de 23  $\pm$  2 °C e umidade relativa superior a 95%.

Os substratos foram previamente secos em estufa a 60°C por 4 dias. Posteriormente, foram lacrados e armazenados até completarem 28 dias, para a realização dos ensaios de caracterização física e mecânica.

As características no estado endurecido foram determinadas através de ensaios de capilaridade NBR 15259/05 (10), absorção de água NBR 9778/87 (11), resistência à tração na flexão em 3 pontos NBR 13279/05 (12).

#### Suspensões Cimentícias – Pastas

As pastas foram confeccionadas com cimento CP II F – 32, de densidade igual 3,00 g/cm<sup>3</sup>. A distribuição granulométrica do cimento encontra-se na figura 1. As relações a/c das pastas foram 0,58, 0,60 e 0,62.





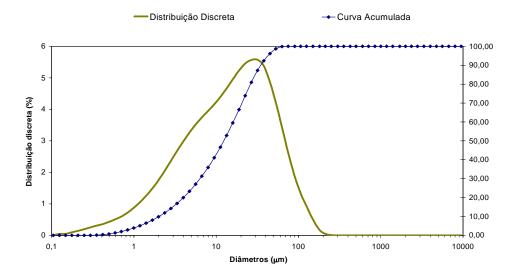


Figura 1 – Distribuição granulométrica do cimento CP II F – 32.

### Mistura e Aplicação

As pastas foram misturadas segundo dois procedimentos: alta energia de mistura (AEM); baixa energia de mistura (BEM). Na BEM a água foi adicionada ao pó durante 1 minuto com rotação de 500rpm (figura 2.a), permanecendo na seqüência por mais 3 minutos a 900 rpm. Na AEM foi adicionado o pó na água através de uma calha vibratória e misturador com rotação de 900rpm (figura 2.b), por 2 minutos e 30 segundos. Posteriormente, a rotação foi aumentada para 1500 rpm por mais 2 minutos e 30 segundos. Por fim, o uso de um dispersor a 9500 rpm (figura 2.c), por mais 2 minutos e 30 segundos.

Na aplicação da pasta sobre o substrato absorvente utilizou-se um suporte com funil à distância de 8 cm do substrato, garantindo assim, que todas as amostras de pastas fossem aplicadas com mesma energia de lançamento (figura 2.d).













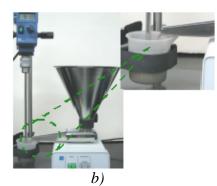






Figura 2 – Procedimento de mistura e aplicação: a) baixa energia de mistura, rotação inicial de 500 rpm, água no pó; b) alta energia de mistura, rotação inicial de 900 rpm, pó na água; c) dispersor utilizado no procedimento de AEM; d) aplicação da pasta sobre o substrato absorvente.

#### Adequação do Método Squeeze-Flow

A configuração adotada neste estudo foi semelhante à adotada por Cardoso et al. e Betioli <sup>(4,5)</sup>, o qual consiste no confinamento da amostra por um anel de PVC devido à alta fluidez da pasta. A presença do anel, ou confinamento, pode ocasionar o surgimento de forças compressivas, para minimizar este efeito os autores recomendam um valor mínimo para a relação entre os diâmetros do anel e do punção, D<sub>anel</sub>/D<sub>punção</sub> >1,7. A relação entre os diâmetros no presente trabalho foi superior a 1,7 (D<sub>anel</sub>/D<sub>punção</sub>= 3).

O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios marca INSTRON, modelo 5569, capacidade 50 kN e célula de carga de 1000 N. A carga foi aplicada através de um punção de aço inox com diâmetro de 24,5 mm. Cada pasta foi ensaiada com o confinamento de um anel de PVC, o qual possui 76,2 mm de diâmetro e 10 mm de altura.

A velocidade de deslocamento do punção foi de 0,1mm/s, sendo o deslocamento máximo de 5 mm. As pastas foram aplicadas sobre os substratos e ensaiadas no *squeeze-flow* em dois tempos, 5 e 10 minutos, contados a partir do contato pasta/substrato. A figura 3 apresenta o instante inicial e final para cada tipo de substrato. O ensaio com o método *squeeze-flow* foi realizado três vezes para cada amostra.





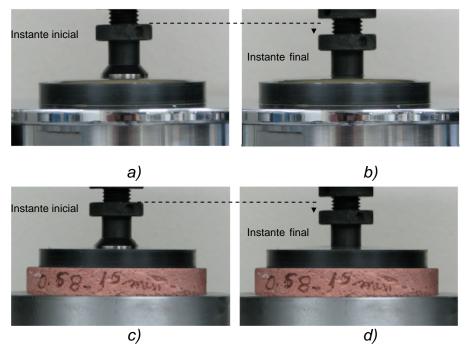


Figura 3 – Ensaio *squeeze-flow*: a) instante inicial, substrato não absorvente, base metálica; b) instante final, base metálica; c) instante inicial, substrato absorvente; d) instante final, substrato absorvente.

## Absorção de Água da Pasta pelo Substrato Absorvente

A medida de absorção de água da pasta pelo substrato absorvente foi realizada após o ensaio de *squeeze-flow*, nos tempos de 5 e 10 minutos, com o acréscimo do ensaio realizado aos 20 minutos, a fim de obter uma tendência de absorção em função do tempo. Para cada amostra os ensaios foram repetidos três vezes.

Antes da aplicação da pasta, pesou-se a massa seca de cada substrato, e ao término do ensaio *squeeze-flow*, a pasta foi retirada e o substrato pesado novamente.

Entretanto, ocorreu deposição de partículas de cimento na superfície do substrato, as quais não puderam ser facilmente retiradas, sendo necessário então, obter a massa de cimento remanescente na base. Para isto, após a pesagem, os substratos foram secos em estufa até obter massa constante, com temperatura de 60°C, a mesma temperatura utilizada na secagem das bases antes do ensaio squeeze-flow.









Posteriormente, os substratos foram pesados e a massa obtida após o período de estufa foi subtraída pela massa medida após o ensaio de squeeze-flow. Desta forma, foi possível obter a massa de cimento remanescente em cada substrato. O procedimento deste ensaio foi realizado com base no estudo de Povoas (13).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## Substrato Absorvente

Os resultados dos ensaios de caracterização da argamassa utilizada como substrato absorvente, encontram-se na tabela 1, os quais formam realizados aos 28 dias. A densidade do substrato absorvente no estado endurecido foi de 1,86 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 1 - Caracterização do Substrato Absorvente.

Ensaios	Norma	Média	Unidade	Desvio Padrão	Coef. Variação (%)
Resistência à tração na flexão	NBR 3279/05	1,57	MPa	0,12	7,6
Coeficiente de Capilaridade	NBR 5259/05	7,10	g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup>	0,79	11,1
Absorção de água	NBR 9778/87	14,31	%	0,35	2,4

## Squeeze Flow

Os resultados do squeeze-flow encontram-se na figura 4, sendo separados por tipo de substrato, A e B, base metálica, e C e D, substrato absorvente. Também foram separados por tempo de contato da pasta com o substrato, 5 e 10 minutos. Os resultados estão expressos em: na abscissa o deslocamento do punção (mm), fator fixado no ensaio; na ordenada à carga (N) medida devido ao deslocamento do punção.

Nas pastas com AEM, as relações a/c não influenciaram nos resultados das cargas para o deslocamento de 5 mm do punção, sendo obtidos resultados muito semelhantes, dentro de cada período de espera e tipo de substrato. Entretanto,







estas mesmas relações a/c influenciaram nos resultados das cargas quando misturadas com baixa energia (BEM).

Pode-se observar que o tempo de ensaio, 5 ou 10 minutos, interferiu de forma distinta em relação ao procedimento de mistura, sendo que a AEM proporciona maior estabilidade em função do tempo, enquanto a BEM é mais sensível a esta variação. É possível observar na figura 4 (A) a separação bem definida de dois grupos, ou seja, as pastas com AEM e BEM.

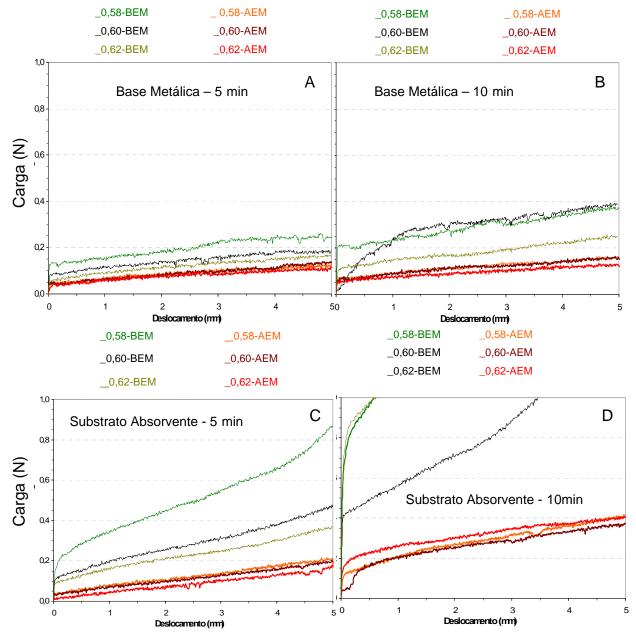


Figura 4 – Resultados do *squeeze-flow*: A) Base Metálica - tempo de 5 min; B) Base Metálica - tempo de 10 min; C) Substrato Absorvente - tempo de 5 min; D) Substrato Absorvente - e tempo de 10 min.







O efeito da presença do substrato absorvente e o tempo de espera proporcionaram acréscimo nas cargas. Isto ocorreu para os dois processos de mistura, cujo aumento mais expressivo foi para a baixa energia de mistura e para o tempo de 10 min.

Quando comparado o substrato absorvente com a base metálica, foi possível observar a influência do tipo de substrato. As pastas aplicadas sobre o substrato absorvente possuíram maior dificuldade de fluxo, ou seja, maior esforço foi necessário para o deslocamento do punção. Entretanto, foi possível observar que mesmo quando utilizado a base metálica ocorreu um pequeno acréscimo nos valores das cargas obtidas no *squeeze-flow* em função do tempo, para ambas as energias de mistura.

As pastas com AEM apresentaram maior facilidade de fluxo, ou seja, menores valores de carga para o deslocamento de 5 mm, em relação ao tempo de espera. Tal fato pode ser atribuído, entre outros fatores, à menor perda de água para o substrato absorvente, como demonstrado na figura 5, devido à maior homogeneização da mistura.

Um ponto adicional foi realizado nesta etapa, tempo de espera de 20 minutos para possibilitar a análise da absorção da base em função do tempo. De modo geral, observa-se que a AEM reteve maior quantidade de água em relação à BEM, demonstrando que as pastas com AEM são menos sensíveis às características dos substratos, principalmente nos primeiros minutos de contato com o substrato absorvente.





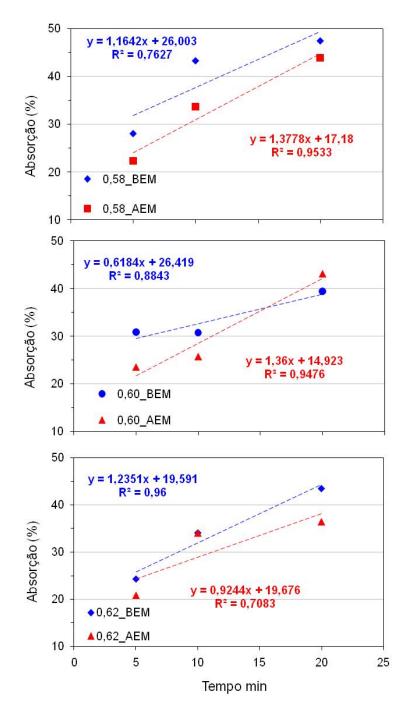


Figura 5 – Absorção de Água da Pasta pelo Substrato Absorvente, para as misturas de Alta e Baixa energia nos períodos de tempo de 5, 10 e 20 minutos: A) pasta com relação a/c de 0,58; B) a/c de 0,60; C) e 0,62 de a/c.

A figura 6 apresenta a carga máxima de compressão obtida (ensaio de squeeze-flow) em relação ao tempo de absorção de 5 minutos. A absorção nula refere-se à base não absorvente. Cada ponto representa uma relação a/c, sendo três pontos para o substrato absorvente e três pontos para a base metálica.





A condição com menor energia de mistura gerou maior variação na carga e na absorção de água da pasta em função do tipo de substrato. Isto pode ser atribuído à menor eficiência na homogeneização da mistura, provavelmente favorecendo a presença de aglomerados.

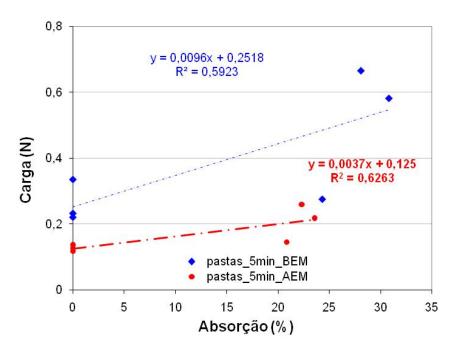


Figura 6 – Influência do tipo de substrato na relação Carga (N) máxima obtida no *squeeze-flow* versus Absorção de água da pasta (%), para os ensaios realizados após 5 minutos de contato pasta/substrato. Sendo absorção igual à zero para substrato não absorvente e diferente de zero para o substrato absorvente.

A AEM resultou em cargas menores, tanto para base metálica como para o substrato absorvente. Isto pode ser explicado devido à maior facilidade de fluxo proporcionada pela quebra dos aglomerados, os quais reduzem o tamanho e aumenta a água livre no sistema, por conseguinte, provocam menores perturbações nas linhas de fluxo <sup>(14)</sup>.

Outro efeito relevante foi em relação à perda de água para a base absorvente, cujos valores das pastas com AEM foram inferiores aos das pastas com baixa energia de mistura. Isto pode ter ocorrido devido ao fluxo capilar do substrato: que num primeiro momento succiona a água; esta, por sua vez, transporta as partículas para a superfície do substrato; favorecendo a formação de uma camada densa de partículas dificultando a percolação da água para base e aumentando a retenção de









água na pasta. Este fenômeno é conhecido como formação da torta (*cake layer formation*) (15-17).

O mesmo efeito não pode ser verificado para as pastas com BEM, possivelmente devido à presença dos aglomerados, os quais são mais dificilmente transportados e sua sedimentação na superfície do substrato pode gerar vazios, facilitando a percolação da água. Este fenômeno na microestrutura da pasta de cimento em função da energia de mistura pode ser observado no trabalho dos autores Yang e Jennings <sup>(7)</sup>.

A maior dispersão das partículas influenciou na perda de água da pasta para base. Isto indica que na prática a aplicação de maior energia de mistura pode gerar argamassas com tempos distintos de espera para o sarrafeamento. Outro ponto importante é que o ensaio de *squeeze-flow* realizado sobre o substrato possibilita observar os efeitos da base no comportamento reológico em função do tempo.

## **CONCLUSÃO**

O substrato influencia significativamente no comportamento reológico da pasta. Pequenos tempos de espera, 5 e 10 minutos, acarreta em maior perda de água, e, por conseguinte, aumentando a viscosidade da pasta. Contudo, seu efeito pode ser atenuado com o emprego de uma Alta Energia de Mistura.

O uso de elevada energia de mistura promove maior dispersão das partículas. A alta energia de mistura ocasionou retenção de água na pasta por maior período de tempo, resultando em menor perda de água para o substrato absorvente. Este efeito pode ser explicado através da eficiência de dispersão das partículas juntamente com a sucção capilar do substrato absorvente, proporcionando a formação de uma camada compacta de cimento na interface, dificultando o fluxo de água da pasta para os poros do substrato.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Consitra, Capes e a Cimpor pelo apoio à realização deste trabalho.











## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AXELSSON, M.; GUSTAFSON, G.; FRANSSON, A. Stop mechanism for cementitious grouts at different water-to-cement ratios. Tunneling and Underground Space Technology. ...
- ANTUNES, R. P.N. Influência da reologia e da Energia de Impacto na Resistência de Aderência de revestimento de Argamassa. Escola Politécnica. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005, São Paulo, 247p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - Método de ensaio. NBR 13278/1995.
- \_. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade - Método de Ensaio. NBR 15259/2005.
- \_\_. Argamassa e concreto endurecidos Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. NBR 9778/1887.
- \_\_\_\_. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão - Método de ensaio. NBR 13279/2005.
- BERTIOLI, A. M. Influencia dos Polímeros MHEC e EVA na Hidratação e Comportamento Reológico de Pastas de Cimento Portland. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007, Florianópolis, p. 81-86.
- CARDOSO, F. A.; AGOPYAN, A. C.; CARBONE, C.; JHON, V. M.; PILEGGI, R. G. Caracterização Reológica de Revestimento à Base de Gesso por Squeeze-flow. 17ºCBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, p.1758-1769.
- CARDOSO, F. A.; JHON, V. M.; PILEGGI, R. G. Caracterização Reológica de Argamassa pelo Método de Squeeze-Flow. VISBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2005, Florianópolis, Brasil, p.121-143.
- CARDOSO, F. A.; CAMPORA, F.L.; PILEGGI, R. G.; JHON, V. M. Caracterização Reológica de Argamassas do Mercado por Squeeze-Flow. VIISBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2007, Recife, Brasil.
- CHEN, V.; FANE, A. G.; MADAENI, S.; WENTEN, I. G.; Particle deposition during membrane filtration of colloids: transition between concentration polarization and cake formation. Journal of Membrane Science 125 (1997) 109-122.
- PILEGGI, P. R. Ferramentas para o Estudo e desenvolvimento de Concretos Refratários. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, são Carlos, p. 5 -10.
- PÓVOAS, Y. V. Tempo em Aberto da Argamassa Colante: Método de Medida e Influência dos Aditivos HEC e Resina PVAc. Escola Politécnica. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 1999, São Paulo, p. 43-48.









- RUBIA, A.; RODRÍGUES, M.; PARTS, D. pH, Ionic strength and flow velocity effects on the NOM filtration with TiO2/ZrO2 membranes. Separation and purification Technology 52 (2006) 325-331.
- SUGO, H. O. Strength and Microstructural Characteristics of Brick/Mortar Bond. Department of Civil, Surveying and Environmental Engineering. Tese de Doutorado. University of Newcastle, 2000, Austrália, 501p.
- WILLIAMS, D. A.; SAAK, A. W.; JENNJINGS, H. M. The Influence of Mixing on the Rheology of Fresh Cement Pates. Cement and Concrete Research 29 (1999) 1491-1496.
- YANG, M; JENNINGS H. M.; Influences of Mixing Methods on the Microestructure and Rheological Behavior of Cement Paste. Ment Based Materials, 2 (1995) 70-78.