

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THAIS REGINA FIORENTIN**

**INFLUÊNCIA DO ADITIVO MODIFICADOR DE VISCOSIDADE E  
DO FÍLER CALCÁRIO NO COMPORTAMENTO DE PASTAS E  
ARGAMASSAS DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2011**

**THAIS REGINA FIORENTIN**

**INFLUÊNCIA DO ADITIVO MODIFICADOR DE VISCOSIDADE E DO  
FÍLER CALCÁRIO NO COMPORTAMENTO DE PASTAS E  
ARGAMASSAS DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, Campus  
Pato Branco

Orientadora: Profa. Dra. Caroline Angulski  
da Luz

**PATO BRANCO**

**2011**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

# **INFLUÊNCIA DO ADITIVO MODIFICADOR DE VISCOSIDADE E DO FÍLER CALCÁRIO NO COMPORTAMENTO DE PASTAS E ARGAMASSAS DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL.**

por

**THAIS REGINA FIORENTIN**

Aos 24 dias do mês de novembro do ano de 2011, às 17:30 horas, na SALA J006 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – UTFPR-PB, conforme Ata de Defesa Pública nº 003-TCC/2011.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> CAROLINE ANGULSKI DA LUZ (COECI / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (COECI / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO (COECI / UTFPR-PB)

Aos meus pais, Iva e Euclides.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida e por não me deixar fraquejar.

Aos meus pais, pelo carinho, confiança, dedicação e principalmente pelo exemplo.

Aos meus irmãos Tiago e Taciana, ao cunhado Neodir e ao sobrinho César, pelo carinho, incentivo e companheirismo.

Aos grandes amigos, Alana Paula Mulhmann, Anderson Rossatto, Bruno Ricardo da Silva, Jorge Eduardo Chioqueta e Lúcia Sangalli, pela amizade sincera e pelo companheirismo em todos os momentos.

A minha orientadora, professora Caroline Angulski da Luz, pela dedicação, atenção e conhecimentos transmitidos para a realização deste trabalho.

Ao João Pedro de Almeida Rocha, por sua incansável ajuda, dedicação, disposição, incentivo e amizade durante as tardes de ensaios no laboratório.

A todos os estagiários e bolsistas do Laboratório de Materiais e Estruturas da UTFPR, em especial Aline Hermann e Eloise Langaro, pela ajuda e amizade durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores membros da banca examinadora José Ilo Pereira Filho e Normelio Vitor Fracaro pela disponibilidade e pelas contribuições, bem como a todos os professores do curso de Engenharia Civil da UTFPR, pela amizade, atenção e conhecimento transmitido ao longo desses cinco anos.

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,  
nunca tem medo e nunca se arrepende.”*

*Leonardo Da Vinci*

## RESUMO

FIORENTIN, Thais R. **Influência do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no comportamento de pastas e argamassas de concreto auto-adensável**. 2011. 68. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

O concreto auto-adensável (CAA) foi uma das grandes descobertas em tecnologia de concretos das últimas décadas. Para ser considerado auto-adensável, três propriedades devem ser alcançadas, simultaneamente: fluidez, coesão e resistência à segregação. O CAA pode ser moldado de diversas formas, elimina defeitos por falha de concretagem, já que tem grande capacidade de fluir entre as armaduras sem segregar-se e dispensa o adensamento por vibração externa, o que reduz a mão-de-obra e acelera a construção. No entanto, devido à alta fluidez, efeitos indesejáveis como a segregação do agregado graúdo e a exsudação da água da mistura ocorrem com maior facilidade. Esses efeitos podem ser controlados com a utilização de aditivos modificadores de viscosidade ou adições minerais, como o fíler calcário. O presente trabalho irá avaliar de forma comparativa a eficiência do fíler calcário e do aditivo modificador de viscosidade no controle da segregação e exsudação de pastas e argamassas de concreto auto-adensável. Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre o histórico, principais propriedades e características, vantagens e desvantagens, materiais constituintes e ensaios realizados em concreto auto-adensável. O método de trabalho foi dividido em três etapas, na primeira fez-se a caracterização dos materiais utilizados nessa pesquisa, na segunda foram realizados ensaios de espalhamento (mini-slump) e escoamento (Cone de Marsh) em pastas, para determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante e para avaliação da influência do fíler calcário e do aditivo modificador de viscosidade no espalhamento e escoamento das pastas. Na terceira etapa, foram realizados ensaios em argamassas para determinação da influência do fíler calcário e do aditivo modificador de viscosidade no espalhamento e no desenvolvimento de resistência mecânica. Observou-se que tanto o fíler calcário quanto o modificador de viscosidade controlaram a exsudação e a segregação das pastas e das argamassas, no entanto o aditivo modificador de viscosidade causou incorporação de ar nas argamassas, diminuindo a resistência mecânica das mesmas. Por outro lado, o fíler calcário melhorou o empacotamento dos grãos, resultando em um aumento da resistência mecânica. Além disso, o fíler calcário resultou em pastas mais homogêneas e coesas. Com relação aos custos, as argamassas com adição de fíler calcário apresentam o mesmo valor (em R\$/m<sup>3</sup>) que argamassas com aditivo modificador de viscosidade.

**Palavras chave:** Concreto auto-adensável. Aditivo modificador de viscosidade. Fíler calcário. Exsudação. Segregação.

## ABSTRACT

The concrete self-compacting (CAA) was one of the greatest discoveries in concrete technology in recent decades. To be considered self-compacting, three properties must be achieved simultaneously: fluidity, cohesion and segregation resistance. The CAA can be shaped in various ways, eliminates defects caused by failure of concrete, as it has great ability to flow between the steel without segregation themselves by releasing the external vibration compaction, which reduces the manpower and accelerates construction. However, due to the high fluidity, undesirable effects such as segregation of coarse aggregate and water mixture can occur more easily. These effects can be controlled with the use of viscosity modifying admixture or mineral admixtures, such as limestone fillers. This study will evaluate comparatively the effectiveness of limestone fillers and viscosity modifying admixture in control of segregation and exudation of folders and mortar concrete self-compacting. Initially, there was a literature on the history, main properties and characteristics, advantages and disadvantages, constituent materials and concrete tests on self-compacting. The method of work was divided into three stages, first was made the characterization of materials used in this study, in the second step, tests were carried out scattering (mini-slump) and runoff (Marsh cone) into folders to determine the point of superplasticizer saturation and to assess the influence of limestone filler and viscosity modifying admixture in scattering and runoff of folders. In the third step, tests were carried out in mortars to determine the influence of limestone filler and viscosity modifying admixture in the spread and development of mechanical strength. It was observed that both the limestone fillers as the viscosity modifying admixture controlled exudation and segregation of the folders and mortar, however, the viscosity modifier additive caused incorporation of air in mortar, reducing the mechanical strength thereof. On the other hand, the limestone fillers improved the packaging of the grains, resulting in increased mechanical strength. In addition, the limestone fillers resulted in more homogeneous and cohesive pastes. With respect to costs, the mortar with the addition of limestone fillers have the same value (in R\$/m<sup>3</sup>) that mortars with additive viscosity modifier.

**Keywords:** Concrete self-compacting. Viscosity modifying admixture. Limestone filler. Exudation. Segregation.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Lançamento de concreto auto-adensável .....	11
Figura 2: Exsudação e segregação em argamassa fluida.....	12
Figura 3: a) Concretagem com CAA b) Concretagem em CCV .....	18
Figura 4: Faixas granulométricas e composição do agregado miúdo para concreto auto-adensável.....	21
Figura 5: Gráfico para determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante .....	25
Figura 6: Tronco de cone utilizado no ensaio de espalhamento .....	27
Figura 7: a) Aspecto da pasta sem segregação b) aspecto da pasta segregada.....	28
Figura 8: Análise visual da borda da pasta escoada .....	28
Figura 9: Ensaio no Cone de Marsh.....	29
Figura 10: Fluxograma de seqüência de trabalho .....	30
Figura 11: Distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado e do agregado miúdo proposto por Melo (2005). .....	32
Figura 12: Argamassadeira mecânica utilizada para o preparo das misturas .....	34
Figura 13: Funil de Marsh utilizado nos ensaios de escoamento.....	35
Figura 14: Espalhamento da pasta x teor de aditivo superplastificante.....	43
Figura 15: Aspecto do espalhamento em função da variação do teor de superplastificante .....	44
Figura 16: Tempo de escoamento da pasta x teor de aditivo superplastificante.....	45
Figura 17: Espalhamento da pasta x teor de aditivo modificador de viscosidade .....	47
Figura 18: Aspecto do espalhamento em função da variação do aditivo modificador de viscosidade.....	48
Figura 19: Espalhamento da pasta x teor de fíler calcário .....	49
Figura 20: Aspecto do espalhamento em função da variação do teor de fíler calcário .....	50
Figura 21: Tempo de escoamento da pasta x teor de aditivo modificador de viscosidade.....	51
Figura 22: Tempo de escoamento da pasta x teor de fíler calcário.....	52
Figura 23: Argamassa com 1,82% de superplastificante .....	53
Figura 24: Espalhamento da argamassa x teor de aditivo modificador de viscosidade .....	54
Figura 25: Aspecto do espalhamento da argamassa em função da variação do aditivo modificador de viscosidade.....	55
Figura 26: Espalhamento da argamassa x teor de fíler calcário.....	56
Figura 27: Aspecto do espalhamento da argamassa em função da variação do teor de fíler calcário .....	57
Figura 28: Resistência média à compressão das argamassas aos 7 dias .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise física do fíler calcário calcítico utilizado .....	32
Tabela 2: Traços utilizados e espalhamentos obtidos.....	58
Tabela 3: Massa específica média dos corpos-de-prova .....	58
Tabela 4: Consumo de material por m <sup>3</sup> de argamassa .....	60
Tabela 5: Custo dos materiais para produção de 1m <sup>3</sup> de argamassa (R\$/m <sup>3</sup> ).....	60

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS .....	13
1.1.1 Objetivo Geral .....	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL</b> .....	<b>15</b>
2.1 HISTÓRICO.....	15
2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS .....	16
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	17
2.4 MATERIAIS CONSTITUINTES .....	19
2.4.1 Cimento.....	19
2.4.2 Água .....	20
2.4.3 Agregado Miúdo.....	20
2.4.4 Agregado Graúdo .....	21
2.4.5 Adições Minerais.....	22
2.4.5.1 Fíler calcário .....	22
2.4.6 Aditivos .....	23
2.4.6.1 Superplastificantes.....	24
2.4.6.2 Modificadores de Viscosidade .....	26
2.5 ENSAIOS EM PASTAS E ARGAMASSAS DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL.....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
3.1.1 Cimento.....	31
3.1.2 Aditivos .....	31
3.1.3 Fíler Calcário Calcítico.....	31
3.1.4 Agregado Miúdo.....	32
3.2 ESTUDOS EM PASTA.....	33
3.2.1 Definição da Relação Água/cimento (a/c).....	33
3.2.2 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante.....	33
3.2.2.1 Ensaio de espalhamento.....	33
3.2.2.2 Ensaio de escoamento.....	35
3.2.3 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade no Espalhamento e Escoamento .....	36
3.2.4 Influência do Fíler Calcário no Espalhamento e Escoamento.....	38
3.3 ESTUDOS EM ARGAMASSA.....	39
3.3.1 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante.....	39
3.3.2 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade no Espalhamento e Resistência Mecânica .....	40
3.3.3 Influência do Fíler Calcário no Espalhamento e Resistência Mecânica...	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>43</b>
4.1 ESTUDOS EM PASTA.....	43
4.1.1 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante.....	43

4.1.2 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário no Espalhamento .....	46
4.1.3 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário no Escoamento .....	50
4.2 ESTUDOS EM ARGAMASSA.....	52
4.2.1 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante.....	52
4.2.2 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário no Espalhamento .....	53
4.2.3 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário na Resistência Mecânica .....	57
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A – Resistências das Argamassas .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A expansão da indústria da construção civil, as novas exigências do mercado consumidor e a escassez de mão-de-obra qualificada têm exigido um melhor desempenho dos materiais utilizados pelo setor.

As estruturas em concreto assumem formas cada vez mais complexas e com altas taxas de armadura, o que dificulta o lançamento do concreto, o preenchimento das fôrmas e o adensamento, quando executadas em concreto convencional (CCV).

Com o intuito de facilitar a execução desse tipo de estrutura, desenvolveu-se no Japão, em 1986, um concreto que enquanto fresco é fluido, moldando-se às fôrmas, estável e coeso, preenchendo todos os espaços entre armaduras, sem obstrução do fluxo e sem segregar-se. Por dispensar a necessidade de vibração externa para seu adensamento, recebeu o nome de concreto auto-adensável (CAA).

Lisboa (2004) caracteriza o concreto auto-adensável pela capacidade de preencher todos os vazios das fôrmas, até mesmo em locais com altas taxas de armadura, sobre o efeito apenas de seu próprio peso. Deve permanecer estável durante e após o lançamento, sem sofrer segregação de seus materiais constituintes. Para ser considerado auto-adensável, deve eliminar o uso de qualquer equipamento para o adensamento e garantir a mesma durabilidade de concretos convencionais. A Figura 1 mostra o lançamento do concreto auto-adensável, onde se observa a elevada fluidez, coesão e facilidade de escoamento da mistura.



**Figura 1: Lançamento de concreto auto-adensável**  
Fonte: FARIA, 2008

Dentre as principais vantagens apresentadas pelo concreto auto-adensável, Marangon (2006) cita a rapidez de execução, redução da mão-de-obra, superfícies com melhor acabamento, facilidade de lançamento, ausência de vibração e redução de ruídos. No entanto, Lisbôa (2004) afirma que devido a sua alta fluidez, o CAA está mais sujeito a sofrer exsudação e segregação quando comparado ao CCV, necessitando de mão-de-obra especializada para sua produção, controle e aplicação. Outra desvantagem é o menor tempo disponível para aplicação quando comparado com concreto convencional.

A exsudação e segregação, devido à alta fluidez do concreto auto-adensável, pode ser facilmente observada nas argamassas auto-adensáveis, como mostra a Figura 2.



**Figura 2: Exsudação e segregação em argamassa fluida**

Para Iliescu (2007), as propriedades do concreto auto-adensável, não encontradas em concretos convencionais, são garantidas pela maior quantidade de finos e de aditivos utilizados em seu traço, principalmente os superplastificantes e os modificadores de viscosidade.

Conforme NBR 11768/1992 os aditivos superplastificantes tornam o concreto mais fluido sem a necessidade de aumentar a quantidade de água da mistura. Podem ainda, reduzir pelo menos 12% da água de amassamento para se obter uma determinada consistência.

Os aditivos modificadores de viscosidade substituem os finos do concreto. Com menos finos, tem-se uma mistura com área superficial menor, o que ocasiona um menor consumo de água. Esses aditivos são adicionados ao concreto para melhorar a coesão da massa no estado fresco, evitando a segregação e a perda de água por exsudação (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Outra forma de evitar a segregação e a exsudação do CAA é a utilização de adições minerais. Segundo Aïtcin (2000) adições minerais são materiais silicosos, finamente moídos, adicionados em grandes quantidades em concretos e argamassas, melhorando as condições de fluidez e coesão da mistura.

O presente trabalho irá estudar as propriedades de pastas e argamassas auto-adensáveis obtidas com aditivo modificador de viscosidade e as propriedades de pastas e argamassas obtidas com adição de fíler calcário, com o objetivo de determinar qual desses materiais apresenta melhor resultado no controle da exsudação e segregação do CAA.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar de forma comparativa o efeito do fíler calcário e do modificador de viscosidade no comportamento de pastas e de argamassas fluídas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do modificador de viscosidade e do fíler calcário no tempo de escoamento e no espalhamento de pastas;
- Avaliar a influência do modificador de viscosidade e do fíler calcário no controle de exsudação e segregação e na resistência mecânica de argamassas;
- Identificar a existência de correlação entre os testes de espalhamento e Cone de Marsh;
- Avaliar a eficiência do mini slump para determinar o ponto de saturação de aditivos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O concreto auto-adensável (CAA) foi uma das grandes descobertas em tecnologia de concretos das últimas décadas. Devido a sua fluidez, pode ser moldado de diversas formas, elimina defeitos por falha de concretagem, já que tem grande capacidade de fluir entre as armaduras sem segregar-se e dispensa o adensamento por vibração externa, o que reduz a mão-de-obra e acelera a construção.

No entanto, os benefícios oferecidos pelo CAA dependem de uma eficiente dosagem de seus materiais e da escolha correta dos aditivos e adições empregados. Por isso, seu uso no Brasil ainda é restrito se comparado a países desenvolvidos. Deixa-se de usufruir das vantagens do CAA pela falta de conhecimento dos profissionais da área (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Segundo Nunes (2001), para a obtenção de um CAA eficiente é necessário encontrar a razão água/finos e os teores de aditivos ou adições minerais adequados para se conseguir simultaneamente trabalhabilidade e resistência à segregação e exsudação. Devido à alta fluidez do CAA, efeitos indesejáveis como a segregação do agregado graúdo e a exsudação da água da mistura ocorrem com maior facilidade. Esses efeitos podem ser controlados com a utilização de aditivos modificadores de viscosidade ou adições minerais, como o filer calcário, por exemplo.

A importância dessa pesquisa está no estudo de qual a maneira mais eficiente de melhorar a coesão do CAA e controlar a exsudação e a segregação, possibilitando a obtenção de concretos auto-adensáveis fluídos, coesos e resistentes à segregação exsudação.

Com relação à classificação da pesquisa, a princípio pode-se classificá-la como qualitativa já que busca definir a maneira mais eficiente de controlar a exsudação e a segregação do CAA, contribuindo para o aumento da qualidade do mesmo. No entanto, foram analisados dados numéricos, obtidos a partir de ensaios experimentais, que caracterizam uma pesquisa quantitativa. Sendo assim, o presente estudo fica caracterizado como qualitativo-quantitativo.



## 2 CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

### 2.1 HISTÓRICO

A resistência e durabilidade esperada das estruturas de concreto dependem, entre outros fatores, do correto adensamento do mesmo. No entanto, devido à escassez de mão-de-obra, na maioria das vezes esse processo é feito por trabalhadores sem qualificação. Além do mais, a concretagem de estruturas complexas, com vibração impraticável, como peças submersas, estacas, elementos com elevadas taxas de armadura, se tornaram cada vez mais comuns (NUNES, 2001).

O Japão, já na década de 80, consciente da redução da qualidade de algumas de suas estruturas devido ao incorreto adensamento das mesmas, verificou a necessidade de se desenvolver um concreto que eliminasse a necessidade de vibração externa, reduzisse a mão-de-obra e aumentasse a qualidade global do produto (MELO, 2005).

A obtenção de um concreto com as propriedades exigidas só era possível com alto consumo de cimento, o que refletia em um custo bastante elevado, sendo seu uso restrito a obras especiais. A introdução de aditivos superplastificantes à mistura permitiu a obtenção de um material mais fluido, de alta resistência, sem consumos excessivos de cimento. No entanto, a fluidez esperada só era obtida com redução da resistência à segregação e à exsudação da mistura (NUNES, 2001).

Desenvolvido em 1986, pelo professor Okamura, da Universidade de Tóquio, no Japão, o concreto auto-adensável foi utilizado pela primeira vez em um protótipo, em 1988. O primeiro trabalho publicado sobre o assunto foi em 1989, pelo professor Ozawa, da Universidade de Tóquio. Em obra, a primeira aplicação do CAA também ocorreu no Japão, em junho de 1990, em um edifício. Em 1991 e 1992 o país utilizou o material na construção de pontes atirantadas. Fora do Japão, a primeira ponte a ter toda sua estrutura executada em CAA, foi na Suécia, em 1998. Nesse país, o CAA passou a ser utilizado também, em obras de recuperação de pontes, atingindo resistência média à compressão de 40 MPa aos 28 dias (OKAMURA e OUCHI, 2003).

Tutikian e Dal Molin (2008), afirmam que se trata de um material relativamente novo no mercado. No Brasil o CAA tem sido utilizado em obras

convencionais e especiais e na indústria de pré-moldados. No entanto, seu uso ainda é bastante incomum em virtude, principalmente, do desconhecimento dos profissionais sobre o material. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos, nos últimos anos, com o intuito de divulgar as vantagens proporcionadas pelo CAA.

## 2.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

Para ser considerado auto-adensável, três propriedades devem ser alcançadas, simultaneamente, pelo concreto. São elas: fluidez, coesão e resistência à segregação (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Conforme Martins (2009) a fluidez garante alta deformabilidade do concreto, permitindo que o mesmo molde-se às formas, preenchendo todos os vazios, sem a presença de bolhas de ar ou falhas de concretagem, sobre a ação somente de seu próprio peso. Para obtenção dessa propriedade são empregados aditivos superplastificante. Segundo Pileggi (2002), a elevada fluidez do CAA é decorrente também da redução do contato entre partículas maiores do concreto devido ao elevado teor de finos da mistura.

A coesão é definida como a habilidade passante do CAA. Essa propriedade permite que o mesmo escoe através de obstáculos mantendo-se homogêneo e estável, sem obstruir o fluxo e sem segregar-se. A coesão é alcançada diminuindo-se a relação água/finos da mistura pela adição de modificadores de viscosidade ou adições minerais (NUNES, 2001).

Conforme Meireles (2009), a segregação consiste na separação entre o agregado graúdo e a argamassa no concreto fresco e ocorre devida à incapacidade da argamassa em manter as partículas do agregado graúdo suspensas uniformemente dentro do concreto fresco.

A segregação diminui a resistência do concreto no estado endurecido e é um problema bastante freqüente em concretos convencionais. Ocorre principalmente durante o transporte e lançamento, quando os agregados separam-se da pasta. Nos concretos auto-adensáveis a resistência à segregação é responsável por manter a coesão da mistura. Ainda, para que ocorra a aderência do concreto às armaduras, deve-se evitar a exsudação no CAA, ou seja, o acúmulo de água sobre as barras de aço (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

A reologia consiste no estudo das deformações dos materiais. Propriedades reológicas, como a tensão de escoamento e a viscosidade plástica, influenciam nas características do CAA. A tensão de escoamento é definida como a energia necessária para que o escoamento tenha início. O CAA por apresentar elevada fluidez, o que faz com que a mistura escoe com muita facilidade, possui baixos valores de tensão de escoamento (LEITE, 2007).

A viscosidade plástica é a propriedade que caracteriza a resistência à deformação durante o escoamento. No CAA a viscosidade é um indicativo da estabilidade da mistura e deve ser controlada. Martins (2009), afirma que misturas muito viscosas podem comprometer a habilidade passante e dificultar o espalhamento do CAA, enquanto misturas pouco viscosas podem causar segregação e exsudação, sendo assim, o CAA deve apresentar viscosidade moderada.

Já no estado endurecido, o CAA apresenta microestrutura homogênea, em função da grande quantidade de finos empregada em seu traço que melhora a distribuição granulométrica e garante maior durabilidade da estrutura. Também apresenta resistência à compressão superior em relação ao concreto convencional, devido à baixa relação água/finos e à adição de superplastificante (AÏTCIN, 2000).

### 2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A utilização do concreto auto-adensável traz vários ganhos diretos e indiretos. Segundo Melo (2005), o CAA apresenta elevado desempenho no estado fresco e endurecido, decorrente da alta deformabilidade, resistência à segregação, baixa permeabilidade, elevada resistência mecânica e durabilidade.

Para Nunes (2001) o custo do CAA, a princípio mais elevado para produção, pode ser compensado na fase de execução da obra já que o CAA reduz o período de construção, devido à facilidade de lançamento, espalhamento e nivelamento. Também dispensa vibração externa para o adensamento, proporcionando economia de energia elétrica e de mão-de-obra e eliminando o ruído causado pelo vibrador. A redução do número de trabalhadores torna o ambiente de trabalho mais seguro. A Figura 3 ilustra as vantagens do CAA em relação ao CCV.



**Figura 3: a) Concretagem com CAA b) Concretagem em CCV**  
**Fonte: Adaptado de REPETTE, 2008.**

A fluidez elimina bolhas de ar e falhas de concretagem. A deformabilidade permite que o material percorra até 10 m sob ação da gravidade, moldando-se às fôrmas e possibilitando a concretagem de peças complexas, com altas taxas de armadura. Outra vantagem do CAA é a possibilidade de lançamento a grandes distâncias, tanto verticais como horizontais, além da garantia de melhor acabamento das peças (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Por outro lado, Nepomuceno (2005) afirma que uma das principais desvantagens do CAA quando comparado ao CCV é o elevado custo para a produção, decorrente das altas percentagens de finos presentes em sua composição. No entanto, pesquisas com novos materiais, incluindo resíduos industriais, têm sido desenvolvidas nos últimos anos com o intuito de tornar o CAA mais viável. Além disso, deve-se levar em consideração que a execução de peças estruturais em CAA com elevada resistência à compressão pode proporcionar a redução da seção dos elementos, causando uma redução do volume de concreto e de fôrmas utilizado.

O CAA necessita de mão-de-obra especializada para produção e aplicação. Para ser produzido em usinas, requer grandes adaptações e investimentos, devido ao maior controle necessário com a granulometria e umidade dos agregados, além de exigir diferentes formas de pesagem e dosagem (OKAMURA; OUCHI, 2003).

Durante o transporte, o CAA requer maiores cuidados para evitar a segregação e dispõe de menor tempo disponível para o lançamento em relação aos concretos convencionais (LISBÔA, 2004).

## 2.4 MATERIAIS CONSTITUINTES

Os materiais constituintes do CAA são: cimento, adições, aditivos, água e agregados. Aïtcin (2000), afirma que a qualidade desses materiais é fator determinante para garantir as propriedades do CAA.

Quando comparado com concretos convencionais, o CAA necessita de uma maior quantidade de finos em sua composição, isso porque aumentando a quantidade de finos aumenta-se a superfície específica e conseqüentemente a capacidade de absorção de água da mistura. Com isso, tem-se uma redução do volume de agregado graúdo, sendo a argamassa fator determinante das propriedades do CAA no estado fresco (NUNES, 2001).

A seguir serão apresentadas as características dos materiais constituintes do CAA.

### 2.4.1 Cimento

No CAA, as recomendações referentes à durabilidade e ao uso adequado do cimento são as mesmas de concretos estruturais convencionais. Tutikian e Dal Molin (2008), afirmam que não existem especificações científicas sobre o melhor cimento para obtenção do CAA. No entanto, o tipo de cimento empregado e a finura do mesmo interferem nas propriedades no estado fresco e na dosagem dos aditivos no CAA.

Nunes (2001) afirma que a quantidade necessária de aditivo superplastificante aumenta com a área específica do cimento. Ou seja, quanto mais fino for o cimento, maior será o consumo de superplastificante e conseqüentemente mais fluido será o concreto obtido.

A reação do cimento com a água gera calor de hidratação, que pode causar fissuração no concreto. Quanto mais fino o cimento maior a superfície específica e maior o consumo de água o que gera maior calor de hidratação. Em cimentos que possuem silicato tricálcico ( $C_3S$ ) e aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) em suas composições o calor de hidratação é liberado mais rapidamente. Por outro lado, a necessidade de uma mistura coesa gera uma demanda por material fino elevada no CAA. Uma maior quantidade de finos e conseqüentemente um consumo de água mais elevado

diminuem a tensão de escoamento e aumentam a coesão da mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

#### 2.4.2 Água

A água a ser utilizada para a produção do CAA segue as mesmas recomendações da água utilizada na produção do CCV. A quantidade de água é definida pelas propriedades requeridas no estado fresco e está relacionada com a quantidade de material fino. Na literatura, a relação água/finos recomendada para CAA com resistências maiores varia entre 0,25 e 0,48 (GOMES, 2002; EFNARC, 2005; DOMONE, 2006 *apud* LEITE, 2007)<sup>1</sup>.

No estado endurecido, da mesma forma que para o CCV, a quantidade de água influenciará na resistência mecânica segundo a lei de Abrams (LEITE, 2007).

O CAA é sensível á variações na relação água/finos, por isso é extremamente importante controlar a umidade das adições e dos agregados para que não alterem o volume de água da mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

#### 2.4.3 Agregado Miúdo

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008) tanto areias naturais quanto industriais podem ser utilizadas para a produção do CAA, no entanto areias naturais são mais recomendadas por possuírem forma mais arredondada e textura mais lisa, aumentando a fluidez da mistura devido ao baixo atrito entre as partículas, enquanto areias industriais apresentam granulometria descontínua, resultando em argamassas menos deformáveis e com maior consumo de pasta. Segundo os mesmos autores, o controle de umidade do agregado miúdo deve ser rigoroso, estimativas erradas da umidade dos agregados é a principal causa de variação de

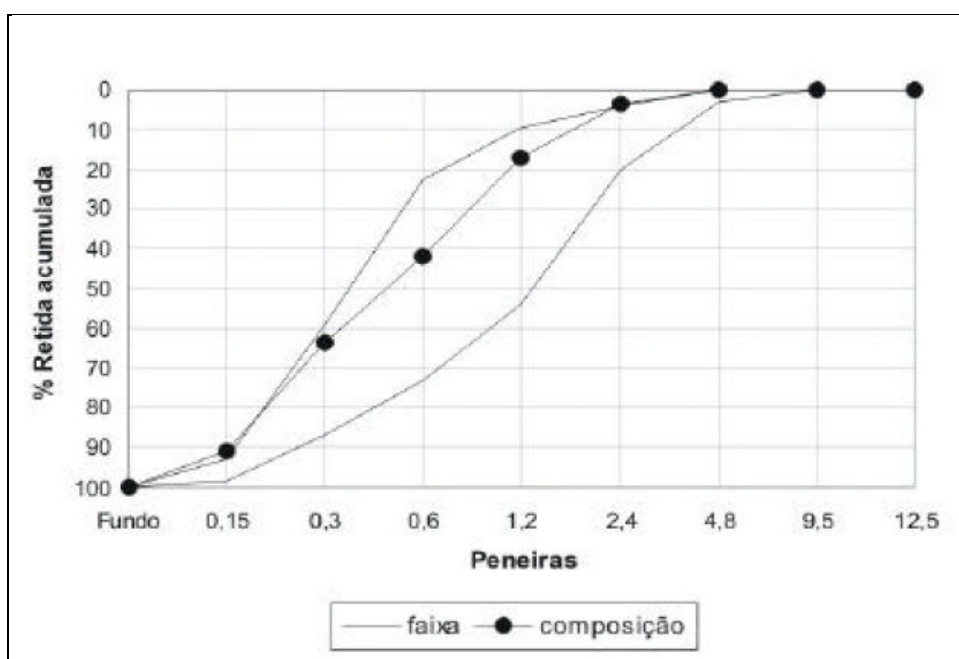
---

<sup>1</sup> LEITE, Francisco C. M. **Influência do tipo de adição mineral e da dimensão máxima do agregado no comportamento do concreto auto-adensável**. 2007. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

fluidez da mistura, além de alterar as propriedades mecânicas e de durabilidade do CAA.

Com relação à quantidade de agregado miúdo, Okamura e Ouchi (2003) afirmam que devem ser empregados volumes baixos, entre 40% e 50%, evitando a redução da deformabilidade causada pelo contato entre as partículas. Além disso, areias muito grossas, com módulo de finura superior a 3,0 podem causar a segregação da mistura e devem ser evitadas.

A Figura 4 mostra as faixas granulométricas e a composição do agregado miúdo utilizado por Melo (2005) para obtenção de concreto auto-adensável.



**Figura 4: Faixas granulométricas e composição do agregado miúdo para concreto auto-adensável**  
**Fonte: MELO, 2005**

#### 2.4.4 Agregado Graúdo

Para garantir suas propriedades reológicas o CAA não requer apenas uma maior quantidade de finos, mas também uma redução da quantidade de agregados, principalmente do agregado graúdo. Para garantir a habilidade passante do CAA por todos os obstáculos e reduzir os efeitos de segregação, a dimensão máxima característica do agregado graúdo deve ser de 19 mm, sendo comum utilizar agregados com dimensões entre 12,5 e 19 mm. Além disso, agregados com dimensões maiores que 19 mm requerem um volume de pasta elevado. Outra

exigência feita com relação à granulometria do agregado graúdo é que ela seja continua diminuindo o volume de vazios da mistura (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Com relação à forma, partículas arredondadas diminuem o volume de vazios da mistura e aumentam a fluidez, enquanto agregados com forma angulosa ou alongada consomem maior quantidade de pasta para produzir a trabalhabilidade necessária, aumentando o custo do CAA. O consumo de água e de pasta para determinada fluidez também aumenta com o aumento da área superficial do agregado (AÏTCIN, 2000).

#### 2.4.5 Adições Minerais

A grande quantidade de finos necessária para garantir a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo no CAA é obtida com o emprego de aditivos modificadores de viscosidade ou teores elevados de adições de origem mineral. Essas adições melhoram as propriedades do concreto devido ao aumento da densidade da mistura, causado pelo preenchimento dos espaços vazios do concreto por partículas minúsculas. As adições minerais podem ser inertes, quando agem fisicamente no concreto, melhorando a compacidade, ou quimicamente ativas, quando reagem com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) durante a hidratação do cimento (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Dentre as principais adições minerais utilizadas para a obtenção do CAA, pode-se citar o fíler calcário, a cinza volante, a pozolana natural, a sílica ativa, a cinza de casca de arroz e o metacaulim. No próximo item serão apresentadas algumas características do fíler calcário, adição mineral utilizada nessa pesquisa.

##### 2.4.5.1 Fíler calcário

O fíler calcário é produto da trituração da rocha calcária que pode ser calcítica ou dolomítica. Marangon (2006) afirma que o efeito do fíler calcário é tanto físico quanto químico, diferentemente de alguns autores que tratam esse material como sendo inerte. O efeito físico ocorre em função da finura dos grãos que melhora o empacotamento granulométrico da mistura diminuindo o volume de vazios.



Quimicamente, o fíler acelera o processo de hidratação dos minerais do clínquer, como o  $C_3S$ , o que resulta em um aumento da resistência mecânica do concreto nas primeiras idades.

Com relação à finura, da mesma forma que o cimento, quanto mais fino for o fíler maior será o consumo de água e maior a quantidade de aditivo superplastificante necessário para se obter uma determinada deformabilidade. Estudos em pastas de cimento com adições de fíler calcário de 50% em relação à massa de cimento apresentaram um aumento de deformabilidade e uma diminuição da ocorrência de exsudação e segregação das pastas (MELO, 2005).

O fíler calcário quando comparado com o efeito do aditivo modificador de viscosidade é mais eficiente quando se trata do aumento de deformabilidade. Com relação à viscosidade da mistura, os dois materiais não mostram alterações significativas (SHOYA et al., 1999 *apud* LEITE, 2007)<sup>2</sup>.

#### 2.4.6 Aditivos

Lisboa (2004) conceitua aditivo como sendo produtos adicionados, em pequenas quantidades a concretos e argamassas, para melhorar as propriedades da mistura no estado fresco e no estado endurecido. Sabe-se que o uso de aditivos para obtenção de concretos é tão antigo quanto o uso do cimento. Produtos como a clara de ovo, sangue, banha ou leite eram utilizados pelos romanos para melhorar a trabalhabilidade da mistura.

Um dos diferenciais do concreto auto-adensável é o uso de aditivos que possibilitam o alcance de propriedades não contempladas por concretos convencionais. Os aditivos mais empregados para obtenção do CAA são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade. O uso conjunto desses aditivos visa garantir elevada fluidez e estabilidade adequada às misturas, evitando a segregação ou exsudação, efeitos indesejáveis decorrentes do emprego de elevadas dosagens de aditivos superplastificantes (MEIRELES, 2009).

---

<sup>2</sup> LEITE, Francisco C. M. **Influência do tipo de adição mineral e da dimensão máxima do agregado no comportamento do concreto auto-adensável**. 2007. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

#### 2.4.6.1 Superplastificantes

No concreto auto-adensável, um componente essencial para promover a trabalhabilidade necessária são os aditivos superplastificantes, que garantem fluidez por tempo necessário para o lançamento do concreto. No Japão e na Alemanha esses aditivos foram introduzidos no mercado na década de 60. No Brasil, o uso é bastante recente (HARTMANN e HELENE, 2003).

As partículas de cimento quando entram em contato com a água, tendem a formar uma estrutura floculada que aprisiona parte dessa água, impedindo que a mesma aumente a fluidez da mistura. Essa água aprisionada gera porosidade que por sua vez, diminui a durabilidade do concreto. Os superplastificantes agem dispersando as partículas de cimento e impedindo a floculação das mesmas, garantindo um melhor aproveitamento da água (AÏTCIN, 2000).

A NBR 11768:1992 estabelece as condições dos materiais utilizados como aditivos para concretos de cimento Portland. Segundo a mesma norma, os aditivos superplastificantes aumentam o índice de consistência do concreto com quantidade de água de amassamento constante, ou seja, tornam o concreto mais fluido sem a necessidade de aumentar a quantidade de água da mistura. Podem ainda, reduzir pelo menos 12% da água de amassamento para se obter uma determinada consistência.

Os aditivos superplastificantes podem ser divididos em três grupos, de acordo com a sua composição química. Os lignossulfonatos são os aditivos plastificantes de primeira geração que funcionam como redutores de água. O naftaleno e a melanina são comercializados como superplastificantes de segunda geração e, quando utilizados como redutores de água, podem diminuir até 25% a quantidade de água da mistura. O terceiro grupo são os policarboxilatos, superplastificantes de alta eficiência, que agem por repulsão das partículas de cimento, evitando o contato e floculação entre as mesmas. São os mais aconselhados para obtenção do CAA e podem proporcionar uma redução de água de até 40% (AÏTCIN, 2000).

A eficiência do aditivo com relação à melhora das propriedades do concreto depende da composição química do cimento, da composição do aditivo e do modo como é introduzido na mistura. Além disso, a mistura pode perder fluidez se submetida a temperaturas elevadas e baixos teores de superplastificantes. De uma

forma geral, os superplastificantes aumentam o tempo de pega do concreto (MELO, 2005).

Com relação à dosagem de superplastificante, existem teores máximos para se obter uma mistura fluida, acima dos quais efeitos indesejáveis como exsudação e segregação passam a ocorrer. Esse teor máximo de aditivo é chamado de ponto de saturação e pode ser definido variando-se o teor de aditivo em pastas e argamassas e medindo, para cada teor empregado, o diâmetro de espalhamento do tronco de cone, e o tempo de escoamento no Funil de Marsh. O ponto de saturação é encontrado quando o aumento do teor de aditivo não altera os resultados obtidos nos ensaios ou quando se observa a segregação e exsudação da mistura (AITCIN, 2000).

A Figura 5 mostra um gráfico elaborado por Melo (2005) no qual se observa a variação no tempo de escoamento das pastas em função do teor de aditivo superplastificante. Percebe-se que a partir de certa dosagem, o aumento do teor de aditivo superplastificante não causa grandes variações no tempo de escoamento da pasta, indicando a saturação do aditivo superplastificante.

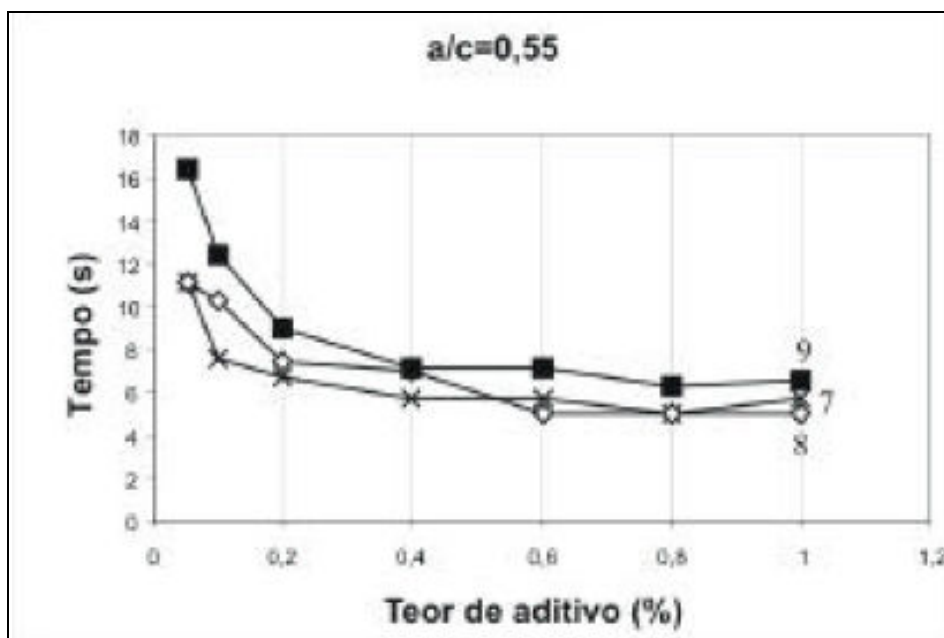


Figura 5: Gráfico para determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante  
Fonte: MELO, 2005

#### 2.4.6.2 Modificadores de Viscosidade

Apesar da alta fluidez, o concreto auto-adensável deve apresentar resistência a segregação, mantendo-se estável durante o transporte e lançamento. Para que isso ocorra é necessário controlar a viscosidade e a coesão da mistura (MARANGON, 2006).

Os aditivos modificadores de viscosidade são produtos à base de polissacarídeos que substituem os finos do concreto, reduzindo a desuniformidade decorrente da variação granulométrica, ou seja, tornam a mistura mais homogênea. Com menos finos, tem-se uma mistura com área superficial menor, o que ocasiona um menor consumo de água. Além disso, os modificadores de viscosidade formam uma rede que sustentam os agregados, evitando a exsudação e segregação do concreto (TUTIKIAN E DAL MOLIN, 2008).

Segundo Nunes (2001), a quantidade de aditivo modificador de viscosidade utilizada, suas características e a forma como interagem com o concreto variam de acordo com sua composição, podendo ser polímeros solúveis em água à base de celulose, acrílico ou glicol, bio-polímeros e aditivos inorgânicos.

Os modificadores de viscosidade possuem dois tipos de mecanismos de ação: o primeiro age sobre as partículas de finos, isso ocorre quando são utilizados modificadores de viscosidade à base de celulose e acrílico, enquanto que o segundo atua sobre a água livre na mistura, como é o caso dos modificadores de viscosidade à base de glicol, bio-polímeros e agentes inorgânicos (AÏTCIN, 2000).

Quando a ação ocorre sobre as partículas de finos, percebe-se que o aumento de viscosidade causa uma redução da fluidez da pasta. Isso ocorre, pois quanto maior a quantidade de modificador de viscosidade adsorvida pelas partículas de finos, menor será a adsorção de superplastificante. Já os modificadores de viscosidade que agem sobre a água livre não são adsorvidos pelas partículas de finos, não reduzindo assim, a capacidade de adsorção do superplastificante. Dessa forma, quando são utilizados modificadores de viscosidade que agem sobre a água da mistura é mais fácil obter-se um concreto com fluidez e viscosidade adequadas (NUNES, 2001).

Entre as vantagens advindas da utilização de modificadores de viscosidade pode-se citar a maior flexibilidade ao selecionar os agregados e adições, já que o modificador de viscosidade diminui a desuniformidade granulométrica, menor

influência dos materiais na estabilidade e deformabilidade no estado fresco, maior flexibilidade na escolha do modo de lançamento, microestrutura melhorada, aumento da homogeneidade das propriedades, redução de vazios e melhor suspensão de partículas sólidas (MARANGON, 2006).

Tutikian e Dal Molin (2008) afirmam que o uso de modificadores de viscosidade pode prejudicar o desenvolvimento de resistência à compressão do concreto, o que caracteriza uma desvantagem em relação à adição de fíler calcário.

## 2.5 ENSAIOS EM PASTAS E ARGAMASSAS DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

Para avaliar as propriedades do CAA no estado fresco são necessários alguns ensaios que possibilitam medir fluidez, coesão e resistência à segregação. O ensaio de espalhamento, também conhecido como slump flow test, determina a fluidez e deformabilidade do CAA e consiste na medição do diâmetro de espalhamento da mistura. No concreto o ensaio é realizado no cone de Abrams, utilizado também para medir o abatimento, em pastas e argamassas esse ensaio é denominado mini-slump e utiliza-se um molde com dimensões reduzidas, mostrado na Figura 6 (MELO, 2005).

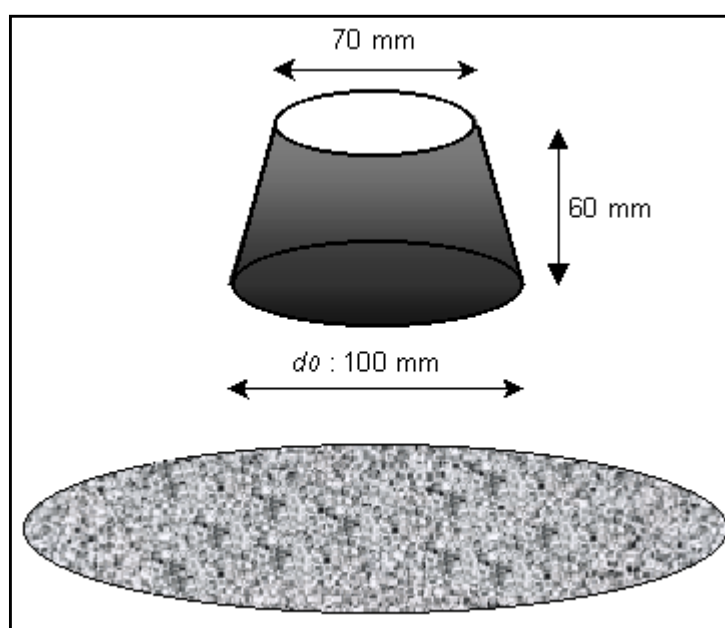


Figura 6: Tronco de cone utilizado no ensaio de espalhamento  
Fonte: Adaptado de NUNES, 2001

Após preencher o tronco de cone com a mistura, o mesmo é levantado lentamente causando o escoamento da pasta. Então, mede-se o diâmetro de espalhamento e através de uma análise visual avalia-se o aspecto da pasta espalhada que determina a ocorrência ou não de exsudação e segregação da mistura. A Figura 7 mostra as características da pasta que indicam a segregação da mistura.

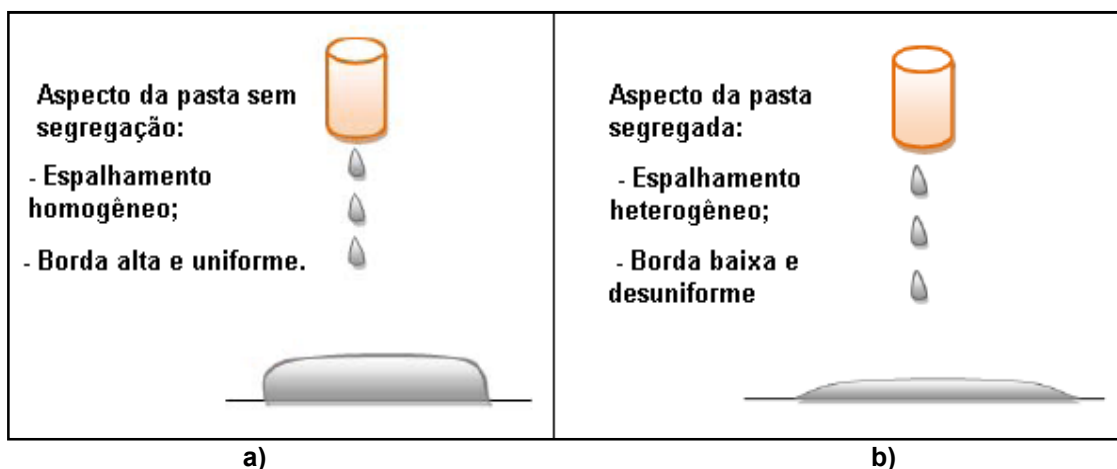


Figura 7: a) Aspecto da pasta sem segregação b) aspecto da pasta segregada  
Fonte: Adaptado de MARTINS, 2009

A borda do espalhamento é avaliada como uniforme ou desuniforme, conforme ilustra a Figura 8.

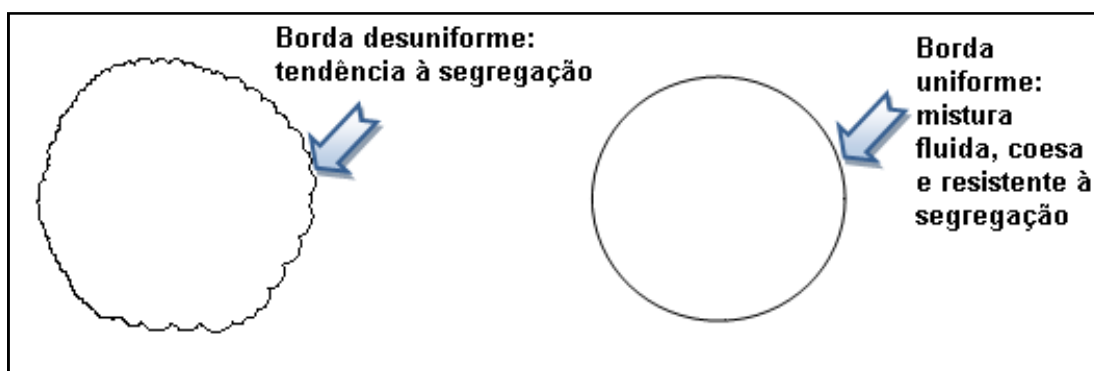


Figura 8: Análise visual da borda da pasta escoada  
Fonte: Adaptado de MARTINS, 2009

A exsudação é avaliada verificando-se a presença de uma fina camada de água ao redor da região espalhada.

A fluidez e trabalhabilidade das pastas podem ser verificadas pelo ensaio do cone de Marsh, mostrado na Figura 9. O cone de Marsh consiste em um funil pelo

qual a mistura escoar, cronometrando-se o tempo para o escoamento de determinado volume. Roncero (2002) recomenda que o funil seja preenchido com 800 mL de pasta e então seja cronometrado o tempo de escoamento de 200 mL de pasta medidos em um recipiente graduado posicionado abaixo do funil. Através deste ensaio também é possível definir o teor de saturação do aditivo superplastificante. Segundo Melo (2005), acrescenta-se superplastificante até que o tempo para escoamento entre uma adição e outra apresente variação menor que 1 segundo.



**Figura 9: Ensaio no Cone de Marsh**  
**Fonte: MELLO, 2005**

A resistência à compressão é a característica mecânica relevante do concreto devido à responsabilidade estrutural e a correlação com outras características como resistência à tração, qualidade e durabilidade das estruturas. No CAA a resistência mecânica é resultado dos materiais utilizados e de suas proporções e deve ser avaliada inicialmente em corpos de prova de argamassas para verificar se a relação água/cimento e a dosagem de aditivos e adições utilizada geraram a resistência desejada.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de comparar a eficiência do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no controle da exsudação e segregação do CAA, o método de trabalho foi dividido em três etapas. Na primeira fez-se a seleção dos materiais utilizados nos ensaios, na segunda etapa foram realizados ensaios de espalhamento e escoamento em pastas de cimento e na terceira etapa foram realizados ensaios de espalhamento em argamassas e de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa. O fluxograma da Figura 10 mostra a seqüência de trabalho realizada.

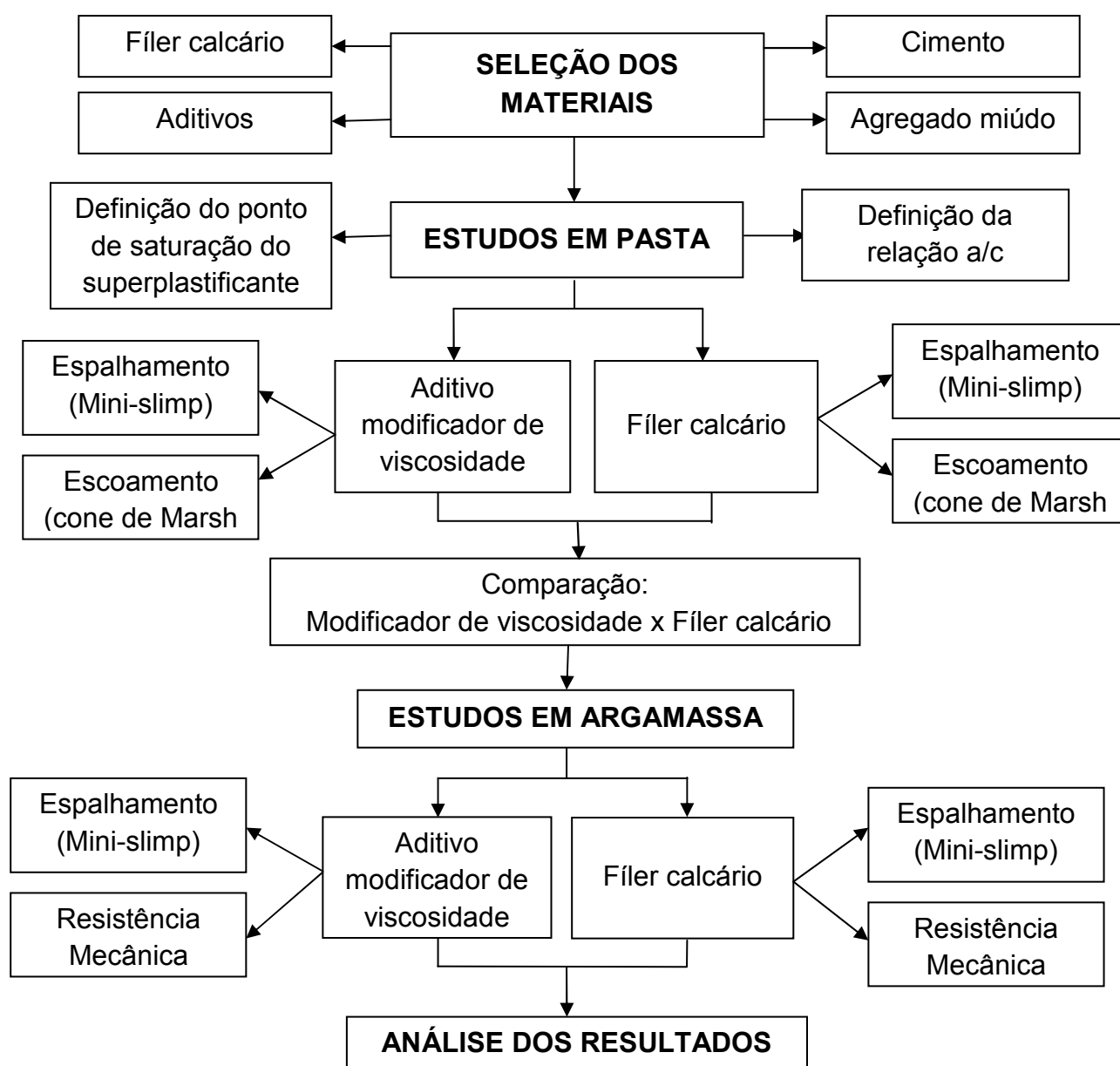


Figura 10: Fluxograma de seqüência de trabalho



### 3.1 SELEÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1.1 Cimento

O cimento empregado nos ensaios realizados foi o CP - V ARI por apresentar alta resistência inicial e maior finura que os demais cimentos, contribuindo para o aumento da fluidez.

Para determinação do teor de saturação do aditivo superplastificante na pasta e nos ensaios em pasta com aditivo modificador de viscosidade, foi utilizado o cimento CP – V ARI RS, da marca Votoran.

Nos ensaios em pasta com adição de fíler calcário e em todos os ensaios em argamassa, o cimento foi substituindo pelo CP – V ARI, da Itambé.

#### 3.1.2 Aditivos

O aditivo superplastificante utilizado na determinação do teor de saturação e nos ensaios em pasta de cimento com aditivo modificador de viscosidade foi o Tec-Flow 8000, aditivo à base de policarboxilato modificado, fabricado pela empresa Rheoset. Nos ensaios em pasta com adição de fíler calcário e em todos os ensaios em argamassa, utilizou-se o superplastificante Glenium 51, produzido pela BASF.

O aditivo modificador de viscosidade, utilizado tanto nos ensaios em pasta quanto nos ensaios em argamassa, foi o Rheomac VMA 358, também produzido pela BASF.

#### 3.1.3 Fíler Calcário Calcítico

O fíler calcário calcítico foi doado pela empresa Minérios Furquim Ltda e possui massa específica de  $2,9 \text{ g/cm}^3$ , conforme determinado pelo método do picnômetro. As quantidades de argila, silte e areia contidas no fíler calcário foram determinadas pela metodologia da EMBRAPA (1997), no Laboratório de Análises de Solos da UTFPR - campus Pato Branco. O resultado da análise física do material se encontra na Tabela 1.

**Tabela 01: Análise física do fíler calcário calcítico utilizado**

Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
< 0,002 mm	0,002 mm < d < 0,058mm	> 0,058 mm
7,2	86,6	6,2

Fonte: Laboratório de Análises de Solos UTFPR (2011)

A tabela 01 mostra que o fíler calcário possui granulometria mais fina que a da areia, ficando próxima a do cimento. Para que a umidade do material não alterasse a quantidade de água das misturas, prejudicando o resultado dos ensaios, o fíler calcário era secado em forno a 110°C, por pelo menos 24h.

### 3.1.4 Agregado Miúdo

Como agregado miúdo para a produção das argamassas buscou-se uma areia com faixa granulométrica semelhante à proposta por Melo (2005). A Figura 11 mostra a faixa granulométrica encontrada na literatura, e a faixa granulométrica da areia utilizada.

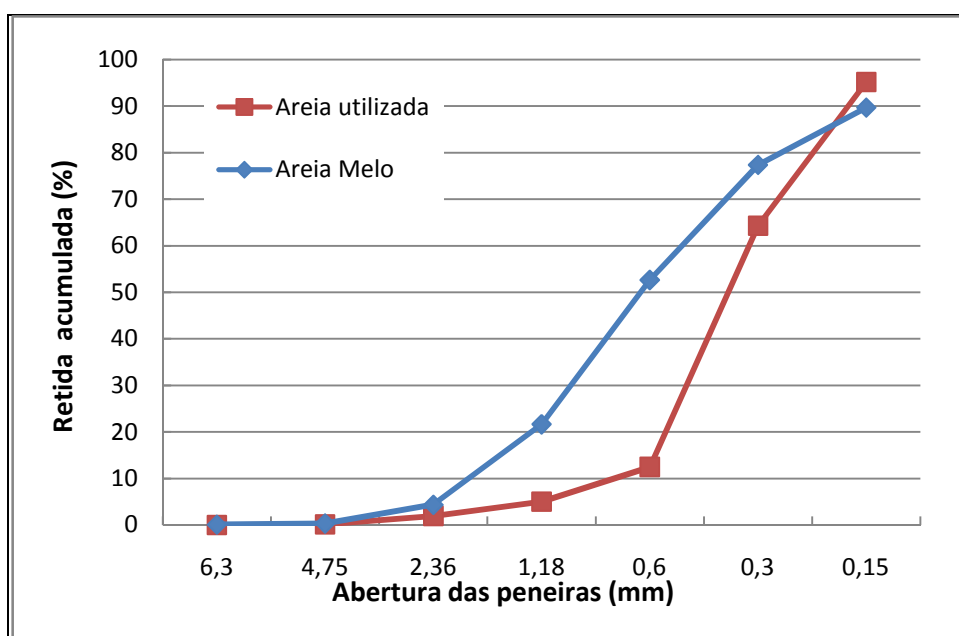


Figura 11: Distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado e do agregado miúdo proposto por Melo (2005).

Da mesma forma que o fíler calcário, antes de ser utilizada a areia foi secada em forno a 110°C, por pelo menos 24h.

## 3.2 ESTUDOS EM PASTA

### 3.2.1 Definição da Relação Água/cimento ( $a/c$ )

A relação água/cimento adotada para os ensaios em pasta foi definida com base no tempo para escoamento da pasta no cone de Marsh. Era necessária a definição de uma relação  $a/c$  que gerasse uma pasta com fluidez suficiente para escoar através do cone de Marsh, mesmo sem o uso de aditivo superplastificante e que, quando adicionado aditivo superplastificante, possuísse um tempo para escoamento de 200 mL de pasta não inferior a três segundos, o que dificultaria a cronometragem.

Dessa forma, a relação água/cimento foi definida em 0,4, já que pastas com relação  $a/c$  inferiores a 0,3 não escoavam pelo cone de Marsh enquanto que pastas com relação  $a/c$  igual a 0,5 resultavam em valores muito baixos para escoamento, quando se empregava aditivo superplastificante.

### 3.2.2 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante

#### 3.2.2.1 Ensaio de espalhamento

Buscando-se determinar o ponto de saturação do aditivo superplastificante na pasta e a quantidade de aditivo superplastificante a ser empregada nos ensaios seguintes, primeiramente foi realizado o ensaio de espalhamento, variando-se o teor de aditivo na pasta de cimento e água.

A mistura foi preparada na argamassadeira mecânica, mostrada na Figura 12, e seguiu a seguinte seqüência:

- Adição do cimento com a argamassadeira desligada;
- Adição da água, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por um minuto.



**Figura 12: Argamassadeira mecânica utilizada para o preparo das misturas**

Após o preparo da mistura, o tronco de cone foi preenchido com a pasta e em seguida levantado lentamente, resultando no espalhamento da pasta, cujo diâmetro de espalhamento foi medido com uma trena. Além de medir o espalhamento também foi observada a ocorrência ou não de segregação e/ou exsudação da pasta.

Em seguida, a pasta foi colocada novamente na argamassadeira e adicionou-se uma quantidade de aditivo superplastificante igual a 0,05% da massa de cimento.

A adição de superplastificante foi feita da seguinte forma:

- Adição do superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;

- Mistura mecânica durante trinta segundos;

- Mistura manual durante trinta segundos;

- Mistura mecânica durante trinta segundos;

A pasta obtida foi novamente ensaiada, obtendo-se o espalhamento da mesma e a partir de então, foram sendo adicionados teores de aditivo superplastificante iguais a 0,02% da massa de cimento, seguindo sempre o procedimento de mistura descrito anteriormente. O aditivo superplastificante foi sendo adicionado à pasta, até que observado durante o ensaio, de forma visual, a segregação e exsudação da mesma.

Para este ensaio, considerando que muito pouco material era perdido durante a realização do ensaio, para os cinco primeiros teores de aditivo utilizou-se a mesma pasta, fazendo somente a adição de superplastificante, para o sexto teor uma nova pasta foi feita, a qual foi utilizada até o final do ensaio.

### 3.2.2.2 Ensaio de escoamento

Para verificar a influência do superplastificante no tempo de escoamento da pasta, ou seja, na sua fluidez, foram realizados ensaios no cone de Marsh, mostrado na Figura 13. O procedimento adotado para a realização do ensaio foi o descrito por Roncero (2000), sendo que o cone foi preenchido com 800 mL de pasta e cronometrou-se o tempo de escoamento de 200 mL medidos em um recipiente graduado posicionado abaixo do funil. As pastas foram preparadas seguindo o mesmo procedimento descrito para o ensaio de espalhamento e o tempo desde o início do preparo até o lançamento da pasta dentro do funil foi fixado em seis minutos.



**Figura 13: Funil de Marsh utilizado nos ensaios de escoamento**

Devido à grande perda de material durante o ensaio, para cada adição de superplastificante era elaborada uma nova pasta, ficando garantida assim a relação pasta/aditivo em todos os pontos ensaiados, sendo que os teores utilizados foram os mesmos do ensaio de espalhamento.

Com os valores obtidos nos dois ensaios foram geradas as curvas de espalhamento e escoamento. Para o ensaio de espalhamento, o ponto de saturação do aditivo é definido através da análise visual da ocorrência de exsudação e segregação da pasta. Para a curva de escoamento, o ponto de saturação do aditivo superplastificante foi definido conforme o critério adotado por Melo (2005), de variação menor que 1 segundo no tempo de escoamento.

Para definir a quantidade de aditivo superplastificante que seria empregada nos ensaios em pasta com o aditivo modificador de viscosidade e com o fíler calcário buscou-se, através da análise visual, um teor de superplastificante que resultasse em uma pasta com segregação e exsudação significativas. Dessa forma, o efeito do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no controle da exsudação e da segregação seria mais facilmente percebido.

### 3.2.3 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade no Espalhamento e Escoamento

Após determinado o teor de saturação do aditivo superplastificante, através dos resultados do ensaio de espalhamento e do cone de Marsh, era necessário melhorar as propriedades de coesão da mistura, para que houvesse redução da segregação e da exsudação causadas pelo emprego do superplastificante.

Como citado na revisão bibliográfica, o aumento da coesão pode ser obtido pelo emprego de fíler calcário ou de aditivo modificador de viscosidade. Com o objetivo de avaliar a influência do aditivo modificador de viscosidade na redução da exsudação e segregação do CAA, os ensaios realizados na pasta de cimento, de espalhamento e de fluidez, foram repetidos, fixando o teor de aditivo superplastificante e variando os teores de aditivo modificador de viscosidade.

O fabricante do aditivo modificador de viscosidade recomenda dosagens de 0,20% a 0,60% da massa de cimento. Com base nessa informação e para que fosse possível a análise do efeito do aditivo no comportamento da pasta, iniciou-se com

uma adição de modificador de viscosidade de 0,05% da massa de cimento e em seguida essa quantidade foi sendo aumentada em 0,02%.

Para cada teor de aditivo modificador de viscosidade, uma nova pasta era preparada e ensaiada, medindo-se o diâmetro de espalhamento do tronco de cone e analisando, de forma visual, o aspecto da borda formada e o comportamento da pasta espalhada, com relação à exsudação, segregação e incorporação de ar.

A mistura dos materiais foi realizada na argamassadeira mecânica e seguiu a seguinte seqüência:

- Adição do cimento com a argamassadeira desligada;
- Adição da água, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por um minuto;
- Adição do superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Adição do modificador de viscosidade, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante noventa segundos.

Depois de realizado o ensaio de espalhamento, as pastas utilizadas foram descartadas e iniciou-se o ensaio de escoamento, preparando uma nova pasta para cada teor de aditivo modificador de viscosidade empregado.

Visando aumentar a precisão dos resultados obtidos, os ensaios no cone de Marsh foram filmados e então o tempo de escoamento de 200 mL de pasta foi medido nos vídeos obtidos. Os teores de aditivo modificador de viscosidade ensaiados no cone de Marsh foram os mesmos ensaiados na mesa de espalhamento.

### 3.2.4 Influência do Fíler Calcário no Espalhamento e Escoamento

Para determinar a influência do fíler calcário na redução da exsudação e segregação do CAA, os ensaios de espalhamento e de fluidez foram repetidos, com teor de aditivo superplastificante fixado e variando os teores de fíler calcário.

O ensaio de espalhamento foi realizado em pastas com relação água/materiais finos (H) de 0,4 e com teores de fíler calcário de 0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50% da massa de cimento utilizada. Para cada teor de fíler calcário, uma nova pasta era preparada e ensaiada, medindo-se o diâmetro de espalhamento do tronco de cone e analisando, de forma visual, o aspecto da borda formada e o comportamento da pasta espalhada, com relação à exsudação, segregação e incorporação de ar.

A mistura dos materiais foi realizada na argamassadeira mecânica e seguiu a seguinte seqüência:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;
- Adição de água, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Adição do fíler calcário, com a argamassadeira desligada;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante um minuto;
- Mistura manual por um minuto;
- Adição do superplastificante, distribuindo-o em vários pontos, durante trinta segundos, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos

Depois de concluído o ensaio de espalhamento, realizou-se o ensaio no cone de Marsh utilizando o mesmo teor de aditivo superplastificante fixado anteriormente e os mesmos teores de fíler calcário (0%, 10%, 20%, 30%, 40% e 50%). A preparação das pastas seguiu o mesmo procedimento de mistura descrito para o ensaio de espalhamento e o tempo do início da mistura até o lançamento da pasta



dentro do funil foi cronometrado em seis minutos. Os ensaios no cone de Marsh foram filmados e o tempo para o escoamento de 200 mL de pasta foi medido nos vídeos obtidos.

### 3.3 ESTUDOS EM ARGAMASSA

#### 3.3.1 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante

Inicialmente, foi necessário definir o teor de aditivo superplastificante a ser empregado nas argamassas. Para isso, preparou-se uma argamassa utilizando como traço inicial o definido por Rocha et al (2011), 1:3,08:0,58, em massa.

Para facilitar a visualização do efeito do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no controle da exsudação e segregação das argamassas era necessário que a mistura apresentasse exsudação e segregação significativas por isso a relação água/cimento de 0,58 foi aumentada para 0,62.

O teor de superplastificante foi ajustado para que fosse obtido um diâmetro de espalhamento, medido através do ensaio de mini slump, de 300 mm. Iniciou-se adicionando à mistura a quantidade de aditivo superplastificante definida como teor de saturação nos estudos em pasta, em seguida foram sendo adicionados incrementos de aditivo de 0,2% da massa de cimento até se obter o diâmetro de espalhamento desejado.

A mistura foi preparada na argamassadeira mecânica e seguiu a seguinte seqüência:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;
- Adição de água, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- adição do agregado miúdo, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Adição do superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;

- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos.

A argamassa cujo teor de aditivo superplastificante resultou em um espalhamento de 300 mm foi refeita e com ela foram moldados três corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm para serem rompidos com idade de sete dias.

### 3.3.2 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade no Espalhamento e Resistência Mecânica

Para verificar a influência do aditivo modificador de viscosidade no espalhamento, a argamassa com traço definido anteriormente foi refeita incluindo agora aditivo modificador de viscosidade à mistura, sendo que a primeira adição foi de 0,05% sobre a massa de cimento.

Realizou-se o ensaio de mini slump, medindo o diâmetro de espalhamento e verificando de forma visual a segregação e exsudação da mesma. Então, uma nova argamassa foi preparada com 0,10% de aditivo modificador de viscosidade e novamente através do mini slump, mediu-se o diâmetro de espalhamento e avaliou-se a segregação e exsudação da mistura.

Em seguida, a quantidade de aditivo modificador de viscosidade foi sendo aumentada em 0,10% sobre a massa de cimento, até se chegar ao limite máximo recomendado pelo fabricante, de 0,60%. Para cada teor uma nova argamassa era preparada, evitando que a perda de consistência com o passar do tempo influenciasse nos resultados. Realizava-se o ensaio de mini slump, obtendo-se o diâmetro de espalhamento e avaliando a segregação e exsudação da mistura.

A mistura foi preparada na argamassadeira mecânica e seguiu a seguinte seqüência:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;
- Adição de água, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- adição do agregado miúdo, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;

- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Adição do superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos.
- Adição do modificador de viscosidade, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Mistura manual durante 1 minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante 1,5 minutos

As argamassas cujos teores de aditivo modificador de viscosidade resultaram em uma melhora significativa da coesão, apresentando pouca segregação e exsudação, foram usadas para moldar corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm x 10 cm (três por argamassa) para avaliação da resistência mecânica à compressão aos sete dias de idade. Os corpos-de-prova foram desmoldados no quarto dia e desde então permaneceram submersos em água, até o a data do rompimento. O ensaio seguiu o descrito na NBR 7215 - Cimento Portland – Determinação da Resistência à compressão.

### 3.3.3 Influência do Fíler Calcário no Espalhamento e Resistência Mecânica

Por fim, para verificar a influência do fíler calcário no espalhamento e na resistência mecânica, foram feitas quatro argamassas, com traço 1:3,08:0,62 e com teor de aditivo superplastificante definido no item 3.3.1, utilizando em cada uma delas um teor de fíler calcário (10%, 20%, 30% e 40% sobre a massa de cimento).

As argamassas foram preparadas na argamassadeira mecânica e seguiram a seguinte seqüência:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;

- Adição de água, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- adição do agregado miúdo, durante trinta segundos, com argamassadeira ligada na velocidade baixa;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Adição do fíler calcário, com a argamassadeira desligada;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante um minuto;
- Mistura manual por um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante 1,5 minutos;
- Adição do superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos dentro da argamassadeira, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa durante trinta segundos.

Para cada uma das argamassas realizou-se o ensaio de mini slump, medindo o diâmetro de espalhamento e verificando de forma visual o aspecto da mistura quanto à segregação e exsudação.

A argamassa cujo teor de fíler calcário resultou em uma melhora significativa da coesão, apresentando pouca segregação e exsudação, foi usada para moldar três corpos-de-prova para avaliação da resistência mecânica à compressão. Os corpos-de-prova foram desmoldados com idade de 4 dias e a partir de então mantidos submersos até a data do rompimento, com idade de sete dias.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTUDOS EM PASTA

#### 4.1.1 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante

Como descrito no método de trabalho, primeiramente foram realizados ensaios de espalhamento (mini-slump) e escoamento, para determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante na pasta e definição da quantidade a ser utilizada nos ensaios com o aditivo modificador de viscosidade e com o filler calcário. A Figura 14 mostra a curva obtida com os resultados do ensaio de espalhamento (mini-slump).

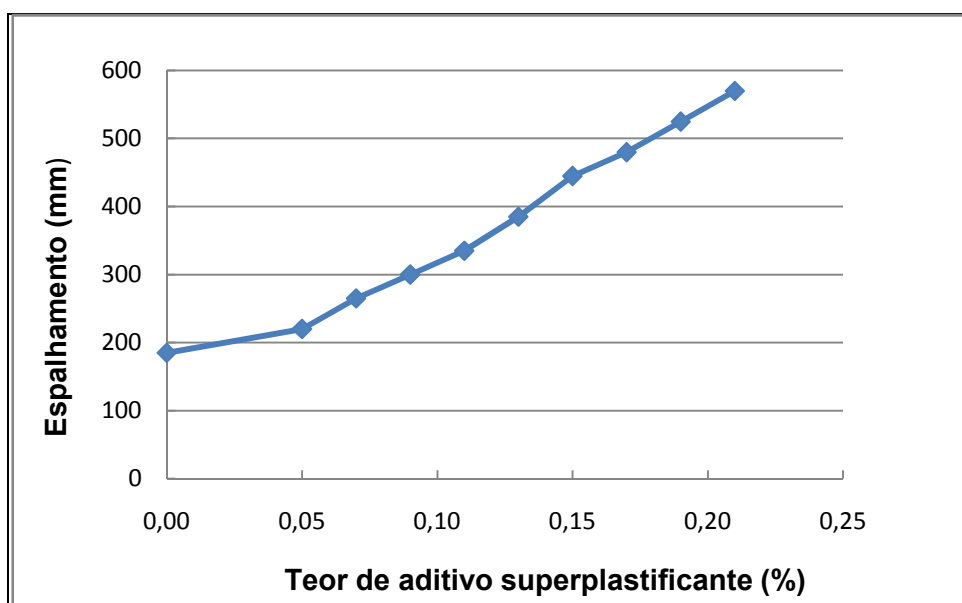


Figura 14: Espalhamento da pasta x teor de aditivo superplastificante

O gráfico da figura 14 mostra que o aumento do teor de superplastificante causa um aumento do diâmetro de espalhamento, ou seja, aumenta a fluidez das pastas. No entanto, os valores do diâmetro de espalhamento refletem somente o comportamento da pasta com relação à fluidez, não demonstrando a influência do teor de aditivo na segregação e na exsudação. Para avaliação de tais propriedades foi necessário uma análise visual do espalhamento das pastas. A Figura 15 mostra o comportamento das pastas espalhadas para cada teor de aditivo superplastificante utilizado.

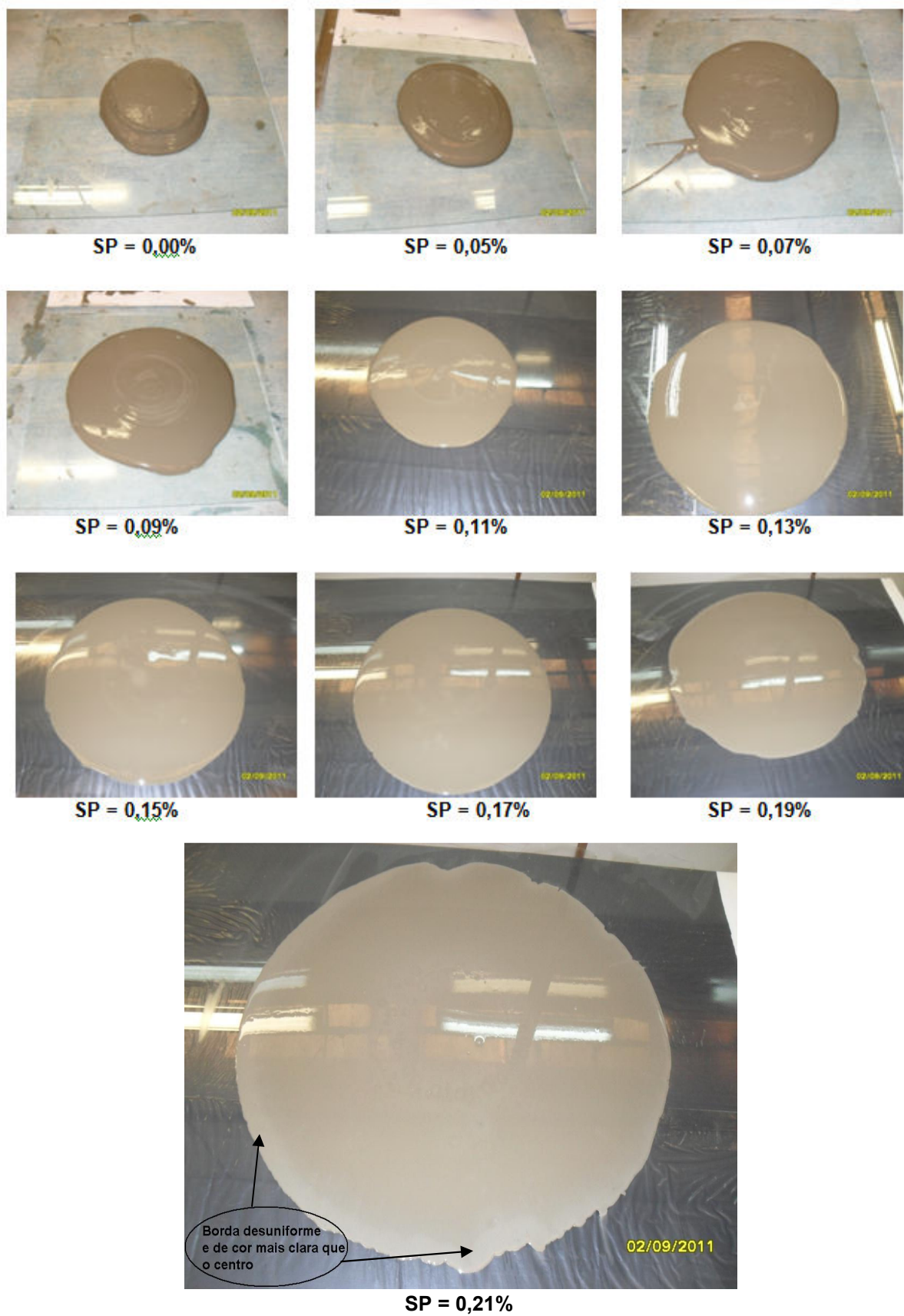


Figura 15: Aspecto do espalhamento em função da variação do teor de superplastificante

A análise visual do espalhamento mostra, assim como o gráfico da figura 14, o aumento da fluidez das pastas em função do aumento do teor de aditivo superplastificante. Além disso, através da análise visual é possível perceber o aspecto da borda, que vai se tornando mais baixa e desuniforme à medida que o teor de superplastificante aumenta, a coloração do material espalhado também se altera, as bordas se tornam mais claras. Tais características indicam a exsudação e segregação da mistura.

Na figura 15 observa-se também que as pastas com melhor aparência, com relação à homogeneidade da mistura e uniformidade da borda, são as obtidas com teor de superplastificante de 0,15% e 0,17%, que indicam o ponto de saturação do aditivo, já que teores maiores que esses causam segregação e exsudação excessivas.

A Figura 16 mostra a curva obtida no ensaio do cone de Marsh onde se observa a redução no tempo de escoamento das pastas em função do aumento do teor de aditivo superplastificante.

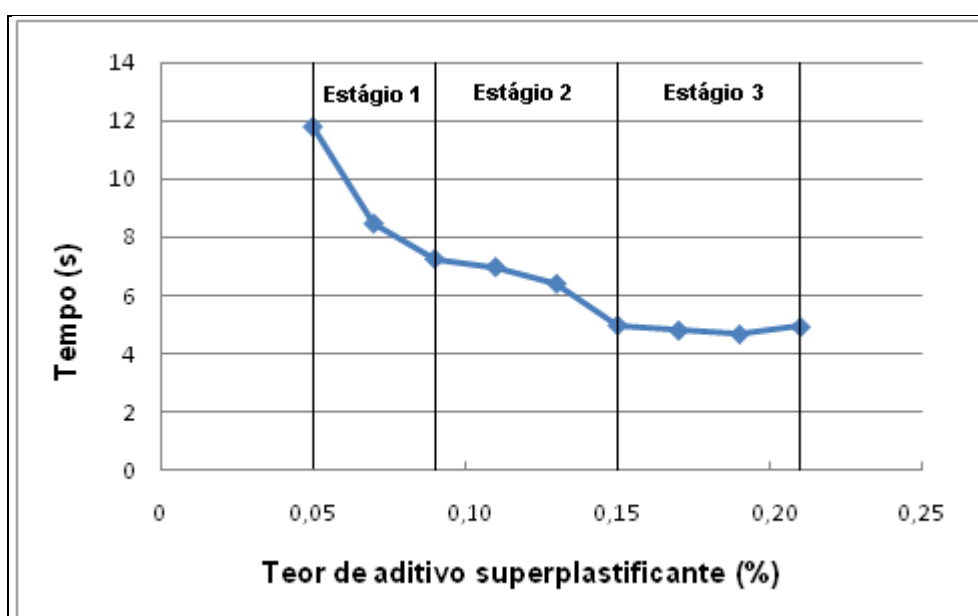


Figura 16: Tempo de escoamento da pasta x teor de aditivo superplastificante

A quantidade de aditivo superplastificante foi sendo aumentada em 0,02% da massa de cimento e para cada teor mediu-se o tempo de escoamento de 200 mL de pasta através do funil de Marsh. Da primeira adição de superplastificante, que foi de 0,05%, para a última adição de 0,21%, tem-se um aumento no teor de aditivo superplastificante de 0,16% da massa de cimento e uma redução no tempo de

escoamento de 200 mL de pasta de 6,85 segundos, indicando o aumento da fluidez da pasta.

O gráfico da figura 15 pode ser dividido em três estágios. No primeiro, tem-se uma redução acentuada de 4,52 segundos no tempo de escoamento, indicando grande perda de fluidez da pasta. No segundo estágio, a redução no tempo de escoamento torna-se menos significativa, de 2,27 segundos. Já no terceiro estágio, a partir do teor de 0,15%, a variação no tempo de escoamento entre os pontos é menor que 1 segundo, ou seja, o tempo para escoamento passa a ser constante, indicando a saturação do aditivo na pasta.

Dessa forma, tanto o ensaio de espalhamento quanto o ensaio de escoamento apontaram para um mesmo ponto de saturação do aditivo superplastificante na pasta, que foi de 0,15%.

No entanto, nos demais estudos em pastas, apresentados a seguir, optou-se pela utilização do teor de aditivo superplastificante de 0,21% pois, como mostrado na figura 15, esse teor resulta em exsudação e segregação excessivas da pasta, facilitando assim a avaliação da eficiência do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no controle de tais fenômenos.

#### 4.1.2 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário no Espalhamento

Nesta etapa, pastas com relação água/cimento de 0,4 e quantidade de aditivo superplastificante de 0,21% da massa de cimento, conforme definido no item anterior, foram ensaiadas, variando-se o teor de aditivo modificador de viscosidade e em seguida, o teor de fíler calcário, para verificação da influência desses dois materiais no espalhamento das pastas

O gráfico da Figura 17 mostra a curva de espalhamento da pasta em função da variação do aditivo modificador de viscosidade.



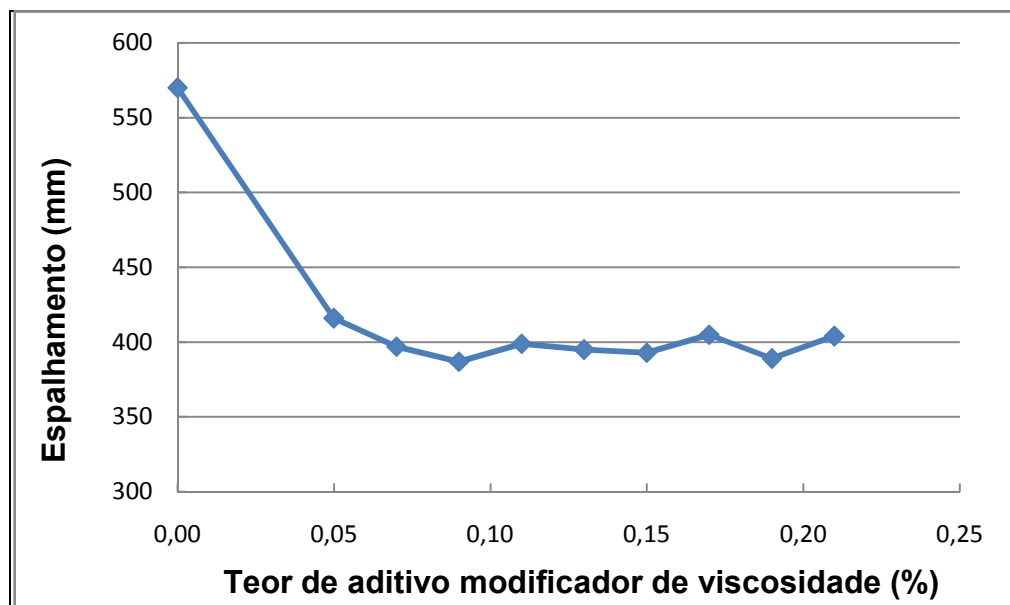


Figura 17: Espalhamento da pasta x teor de aditivo modificador de viscosidade

Nota-se que o primeiro teor de aditivo modificador de viscosidade acrescentado à pasta que foi de 0,05% da massa de cimento, provocou uma redução de 164 mm no diâmetro de espalhamento, indicando elevada perda de fluidez da pasta. No entanto os demais teores, aumentados em 0,02%, não apresentaram variações significativas no diâmetro de espalhamento, mostrando uma manutenção de fluidez. O ensaio foi interrompido no teor de 0,21% pois o diâmetro de espalhamento mostrava-se praticamente constante.

Além da verificação do diâmetro de espalhamento, foram feitas também análises visuais do aspecto da pasta espalhada, onde foi possível perceber o efeito do aditivo modificador de viscosidade na melhora da coesão e homogeneidade das misturas. À medida que o teor de aditivo modificador de viscosidade era aumentado observou-se a redução da exsudação e segregação das pastas, indicadas pelo aspecto da borda espalhada (que se tornava mais alta e uniforme) e da coloração (se tornava mais homogênea).

A Figura 18 mostra o espalhamento da pasta para cada um dos teores de aditivo modificador de viscosidade utilizados.

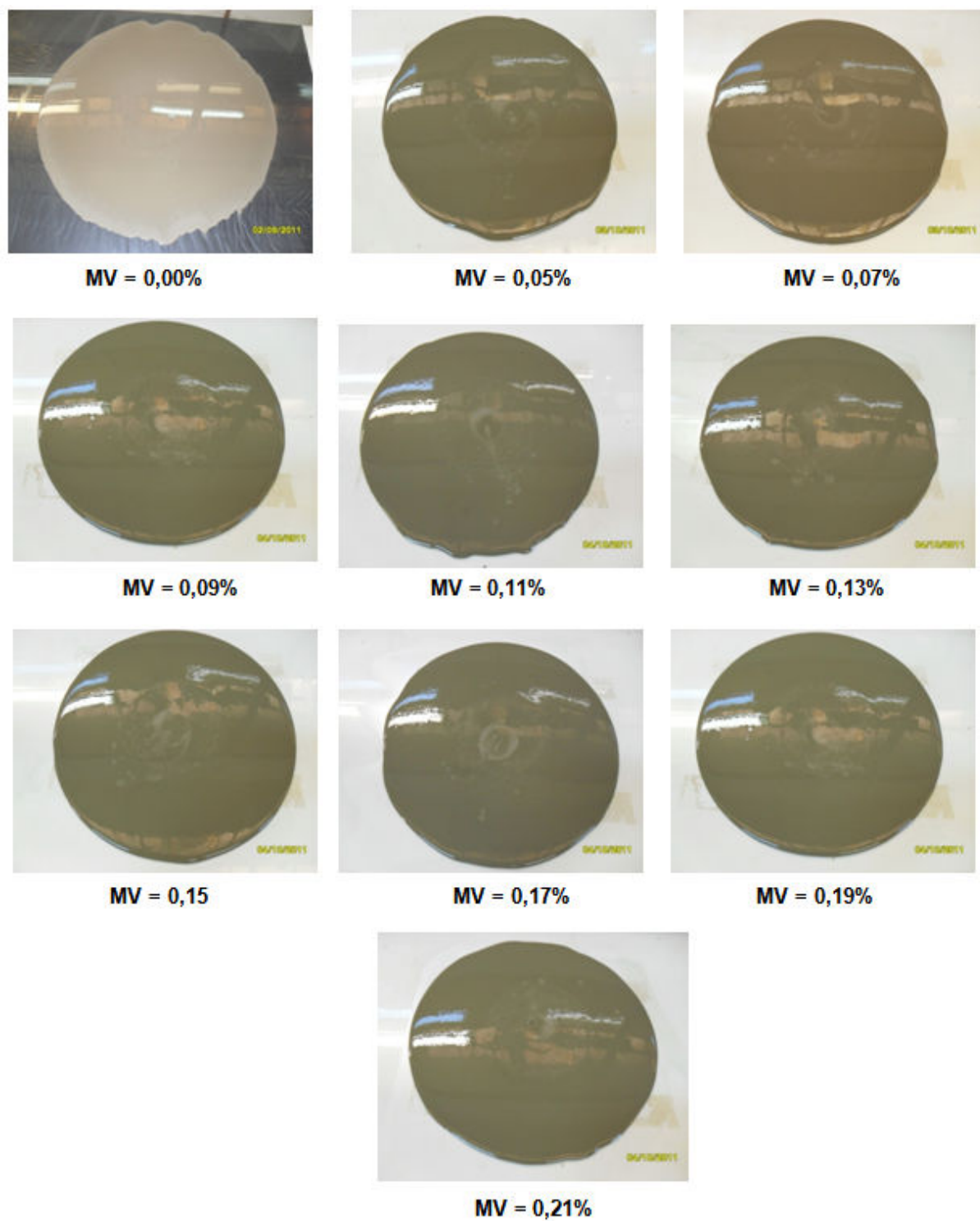


Figura 18: Aspecto do espalhamento em função da variação do aditivo modificador de viscosidade

Com relação ao espalhamento em função da variação do teor de fíler calcário, o comportamento da curva de espalhamento, mostrado no gráfico da Figura 19, é bastante semelhante à curva de espalhamento do aditivo modificador de viscosidade (Figura 17). A primeira adição de fíler calcário, de 10% da massa de cimento da mistura, provocou uma redução acentuada de 97 mm no diâmetro de espalhamento da pasta, já adições maiores que 10% não causaram variações significativas.

No entanto, os valores obtidos para o espalhamento da pasta com aditivo modificador de viscosidade são menores do que os obtidos no espalhamento da pasta com adição de fíler calcário, ou seja, o aditivo modificador de viscosidade causa maior redução da fluidez da pasta do que o fíler calcário.

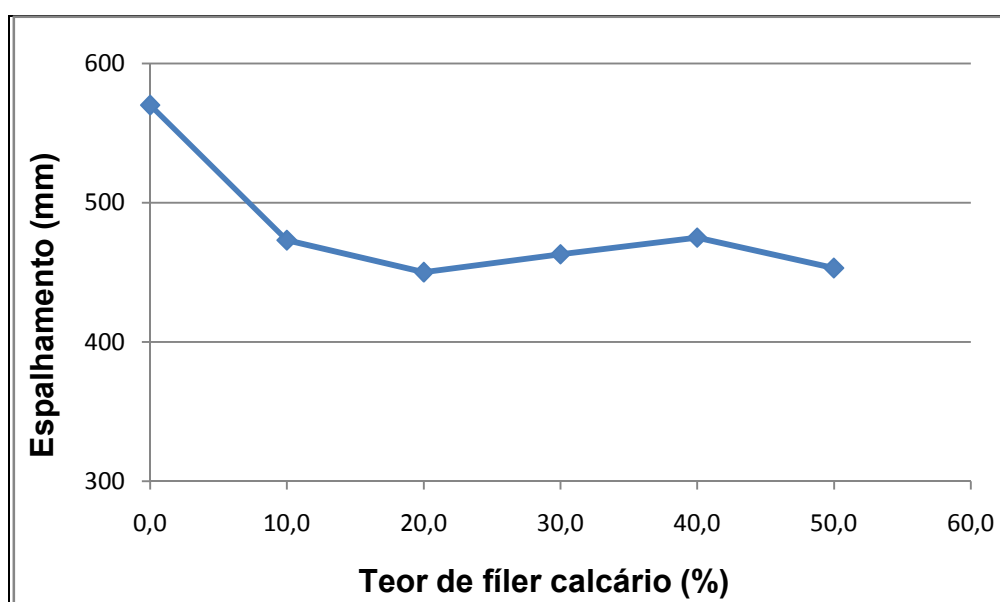
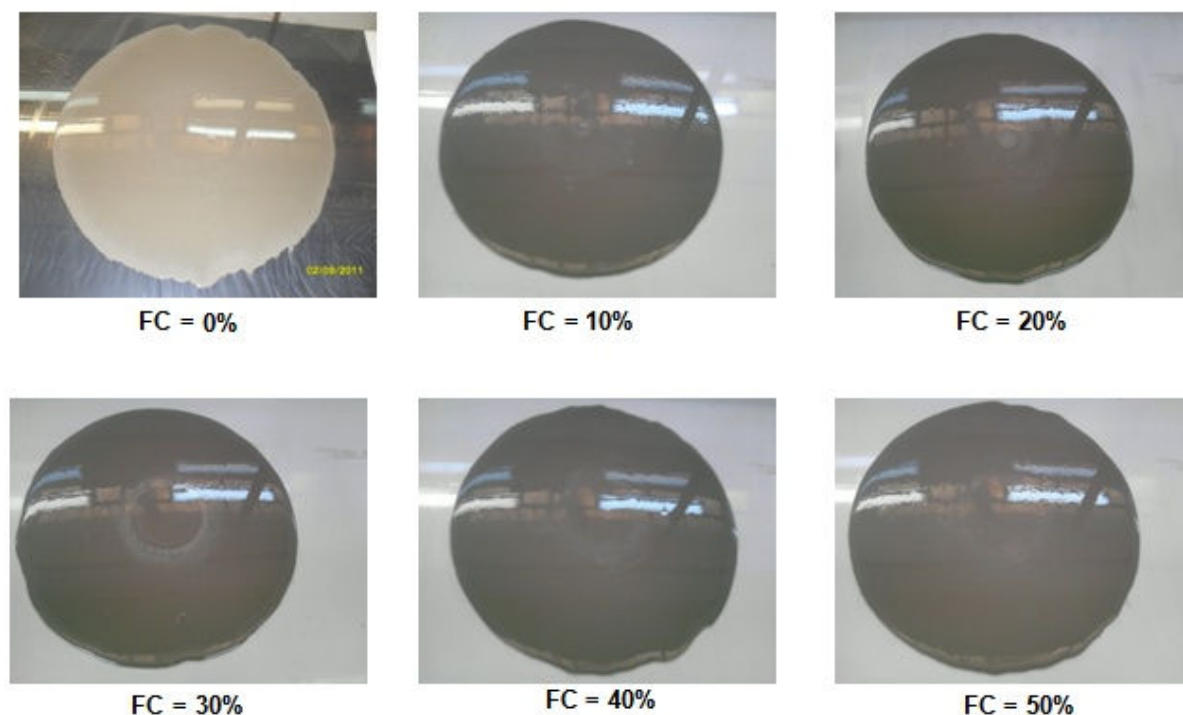


Figura 19: Espalhamento da pasta x teor de fíler calcário

A melhora da coesão e a redução da exsudação e segregação das pastas, em decorrência da adição de fíler calcário, podem ser observadas na Figura 20, que mostra o aspecto da pasta espalhada para cada teor de fíler calcário empregado. A análise visual do espalhamento mostra que o aumento do teor de fíler calcário melhora o aspecto da borda do material espalhado, deixando-a mais alta e uniforme, e a coloração da pasta que passa a ser mais homogênea.



**Figura 20: Aspecto do espalhamento em função da variação do teor de filer calcário**

#### 4.1.3 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário no Escoamento

Os ensaios no cone de Marsh foram filmados e com os tempos de escoamento obtidos através dos vídeos foram elaborado os gráficos de escoamento da pasta. A Figura 21 mostra o tempo de escoamento em função da variação do teor de aditivo modificador de viscosidade.

Assim como no ensaio de espalhamento, onde o primeiro teor de aditivo modificador de viscosidade provocou uma redução significativa no diâmetro de espalhamento da pasta, no ensaio do cone de Marsh a primeira adição causou uma redução acentuada no tempo de escoamento, de 1,21 segundos.

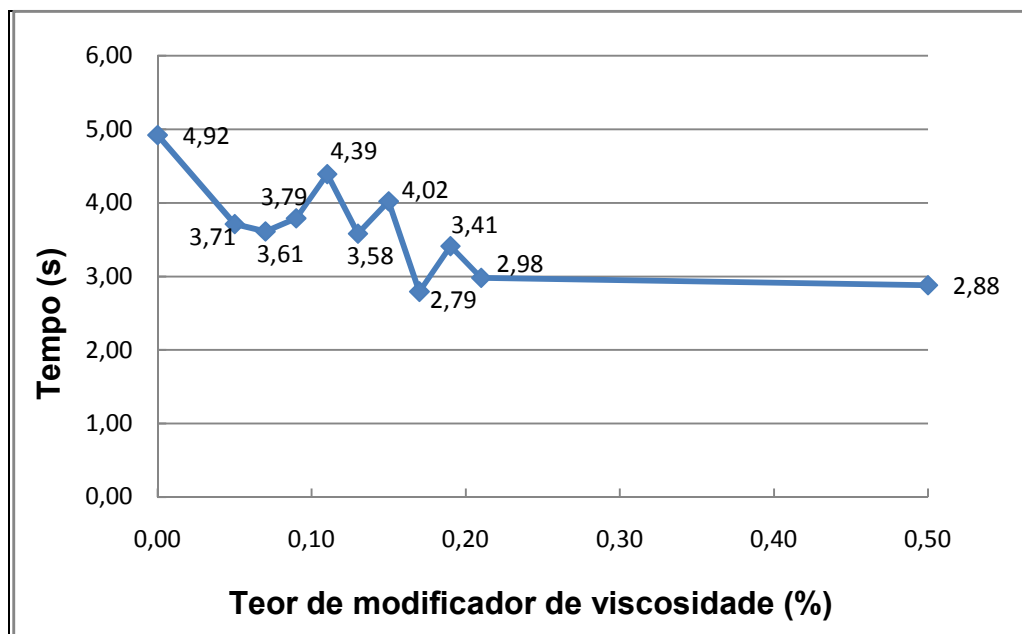


Figura 21: Tempo de escoamento da pasta x teor de aditivo modificador de viscosidade

Diferentemente do ensaio de espalhamento onde as demais adições não provocaram grandes variações no diâmetro de espalhamento, no cone de Marsh, a variação do teor de aditivo modificador de viscosidade provocou oscilações no tempo de escoamento da pasta. No entanto, o valor obtido para adição de 0,5% mostra que, apesar de sofrer variações, o tempo no escoamento da pasta tende a se estabilizar à medida que o teor de modificador de viscosidade aumenta, permanecendo praticamente constante, confirmando assim a manutenção de fluidez da pasta, como mostrado também pelo ensaio de espalhamento.

O gráfico da Figura 22 mostra o tempo de escoamento em função da variação do teor de fíler calcário. A primeira adição de fíler calcário, de 10% da massa de cimento, reduziu o tempo de escoamento de 200 mL de pasta em 1,9 segundos. Adições de fíler calcário a partir de 10% da massa de cimento resultaram em tempos de escoamento praticamente constantes.

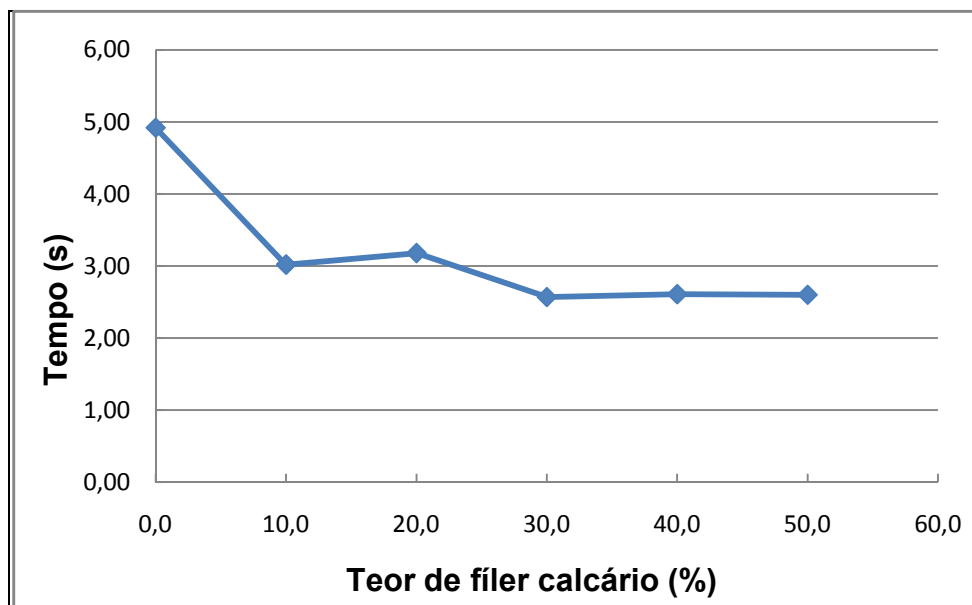


Figura 22: Tempo de escoamento da pasta x teor de fíler calcário

## 4.2 ESTUDOS EM ARGAMASSA

### 4.2.1 Definição do Teor de Aditivo Superplastificante

Como descrito no método de trabalho, para definir o teor de aditivo superplastificante a ser empregado nas argamassas preparou-se uma argamassa utilizando como traço inicial o definido por Rocha et al (2011) em sua pesquisa, (1:3,08:0,58). Para facilitar a visualização do efeito do aditivo modificador de viscosidade e do fíler calcário no controle da exsudação e segregação das argamassas aumentou-se a relação água/cimento para 0,62.

Definiu-se como critério, para determinação do teor de aditivo superplastificante a ser utilizado nos estudos em argamassa, o teor que resultasse em um espalhamento de 300 mm, não havendo preocupação com exsudação e segregação. Esse teor foi de 1,82% da massa de cimento utilizada no traço da argamassa.

A Figura 23 mostra o aspecto do espalhamento da argamassa, com traço 1:3,08:0,62 e com teor de superplastificante de 1,82%, a qual foi utilizada nos estudos em argamassa.



**Figura 23: Argamassa com 1,82% de superplastificante**

Na figura 23 é possível observar a exsudação significativa da água da argamassa causada pela adição do superplastificante. A obtenção de uma argamassa com exsudação elevada era necessária para que fosse possível avaliar a eficiência do fíler calcário e do aditivo modificador de viscosidade no controle de tal fenômeno.

#### 4.2.2 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário no Espalhamento

O comportamento da argamassa, com relação ao espalhamento, em função da variação do teor de aditivo modificador de viscosidade é mostrado no gráfico da Figura 24. Partindo-se de um espalhamento de 300 mm observou-se que à medida que se aumentava o teor de aditivo reduzia-se o espalhamento da argamassa. No entanto o teor de 0,60%, dosagem máxima recomendada pelo fabricante, não gerou perda de espalhamento significativa.

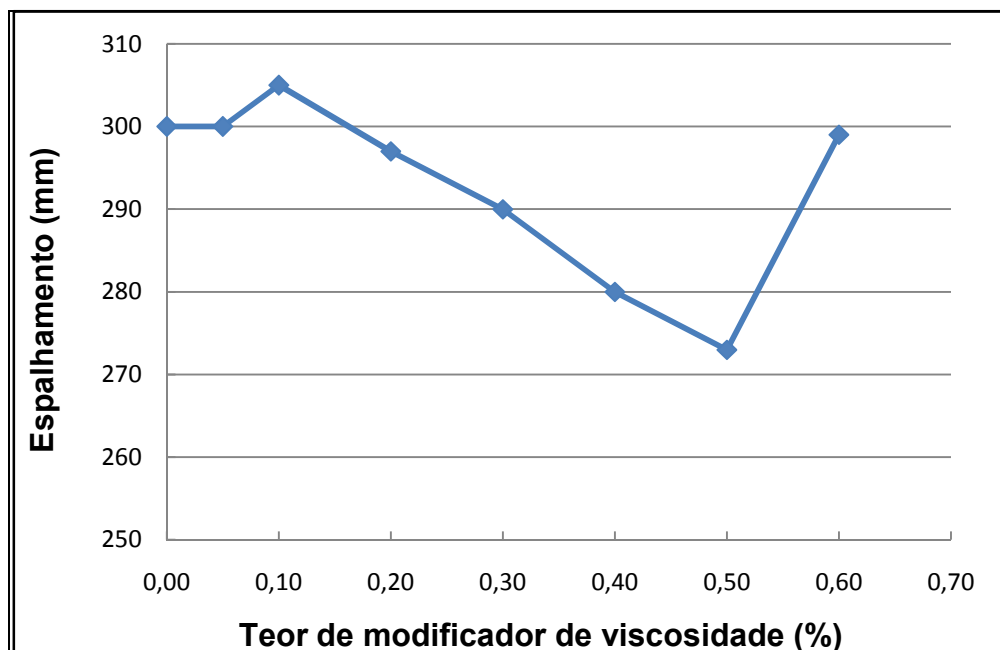


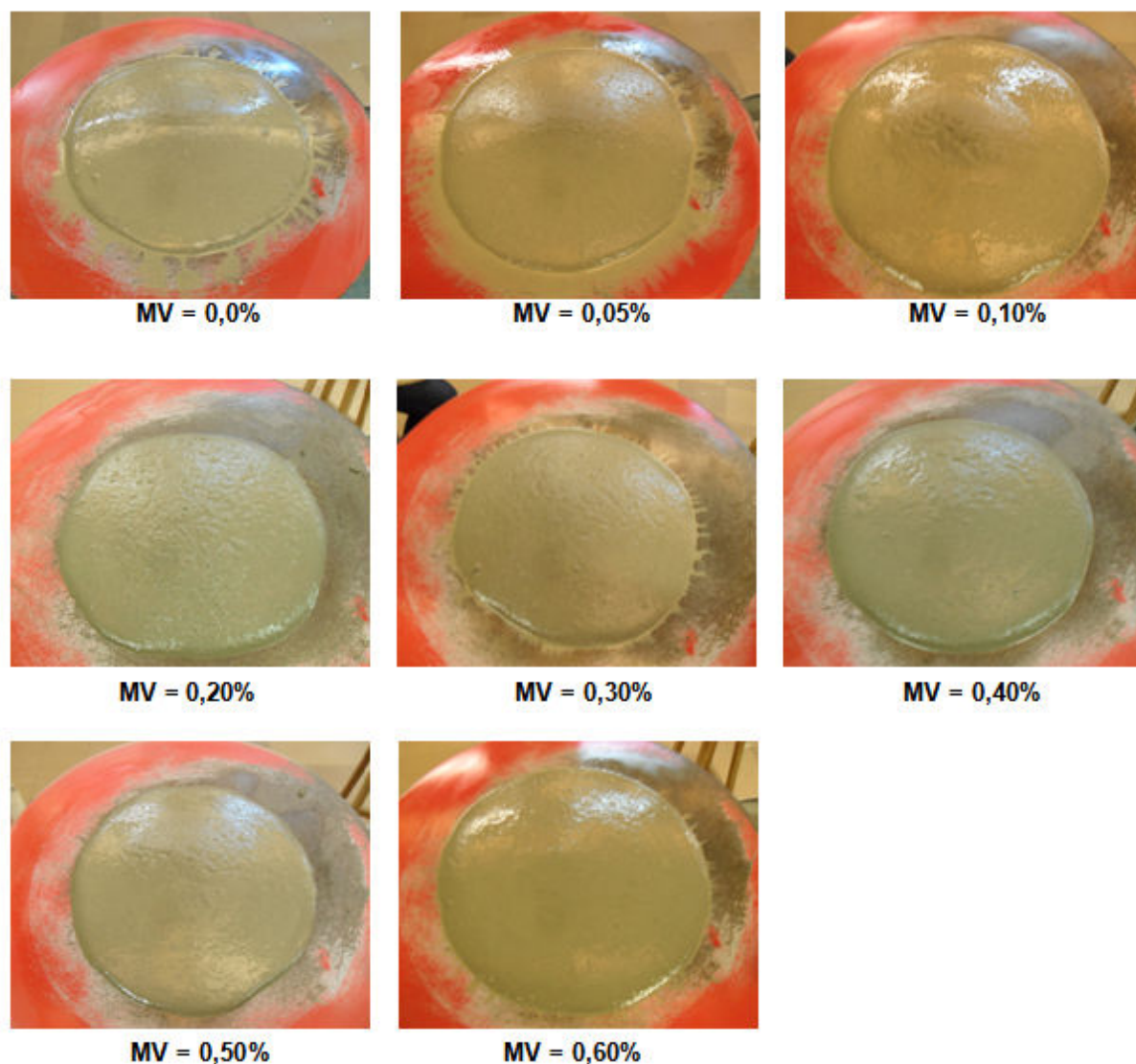
Figura 24: Espalhamento da argamassa x teor de aditivo modificador de viscosidade

Durante o ensaio de mini slump, para as misturas com teores de aditivo modificador de viscosidade menor que 0,4% encontrava-se dificuldade para lançar a argamassa dentro do tronco de cone. Somente a nata escoava, o restante do material ficava acumulado no fundo da argamassadeira, sendo necessária a retirada com o auxílio de uma espátula. Observou-se que à medida que se aumentava o teor de modificador de viscosidade melhorava-se a coesão da mistura, a argamassa escoava espontaneamente, facilitando o lançamento.

A Figura 25 mostra o espalhamento das argamassas para cada teor de aditivo modificador de viscosidade empregado. O controle da exsudação e da segregação causado pelo aumento do teor de aditivo pode ser facilmente observado pela redução da fina camada de água formada em torno da borda de argamassa espalhada e pela melhora do aspecto das bordas, que se tornam mais altas e uniformes à medida que se acrescenta o modificador de viscosidade.

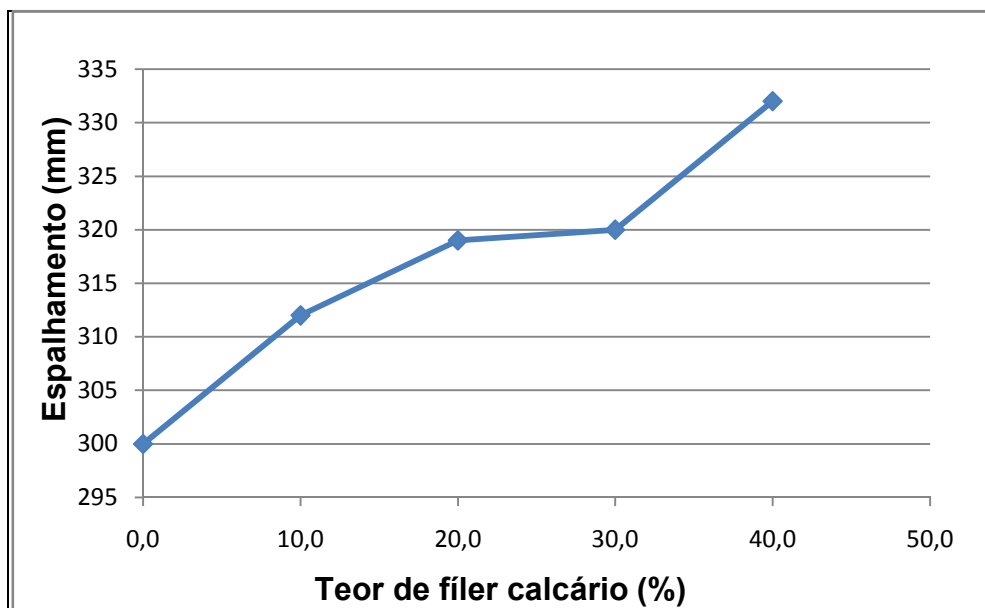
Durante a realização do ensaio observou-se também que o aumento do teor de aditivo modificador de viscosidade causou a incorporação de ar pela argamassa.





**Figura 25: Aspecto do espalhamento da argamassa em função da variação do aditivo modificador de viscosidade**

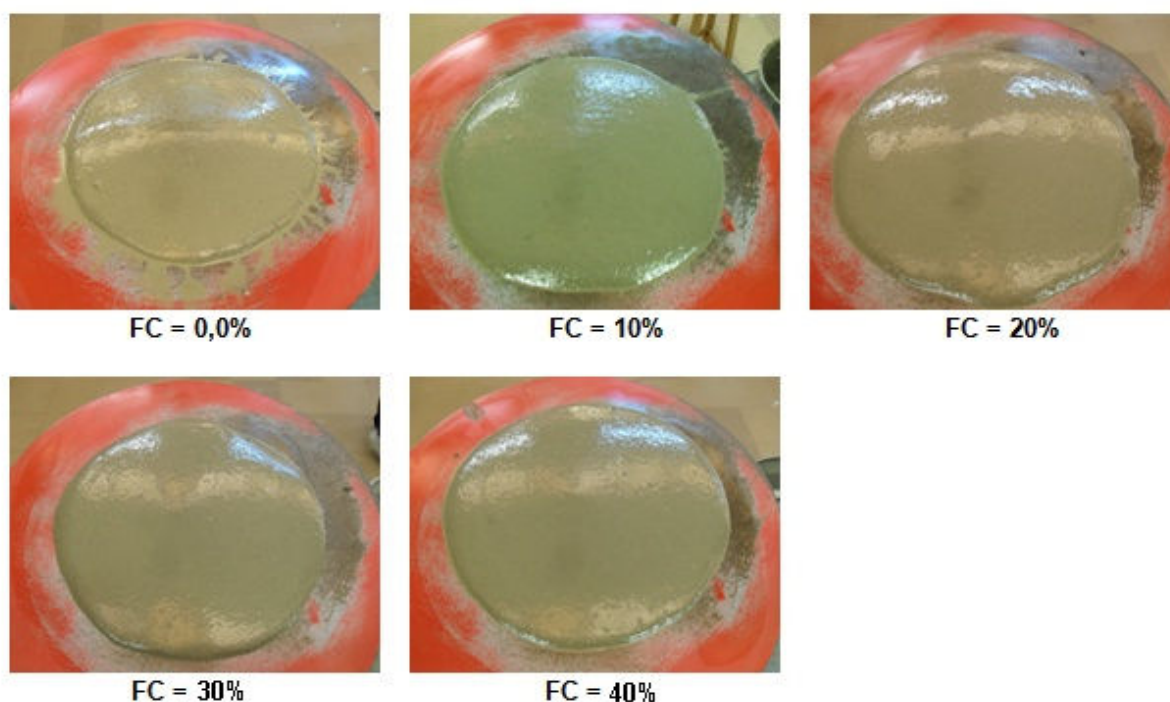
O gráfico da Figura 26 mostra o espalhamento da argamassa em função do teor de fíler calcário. O comportamento da curva mostra que o aumento do teor de fíler calcário gera um aumento do diâmetro de espalhamento, ou seja, torna a argamassa mais fluida.



**Figura 26: Espalhamento da argamassa x teor de fíler calcário**

Da mesma forma que para o aditivo modificador de viscosidade, durante o ensaio de mini slump observou-se que com o aumento da adição de fíler calcário aumentava-se a coesão e o lançamento da mistura dentro do tronco de cone tornava-se mais fácil.

A Figura 27 mostra o espalhamento de cada uma das argamassas obtidas com diferentes teores de fíler calcário. A análise visual mostrou que a adição, além de controlar a exsudação e a segregação, resulta em argamassas mais homogêneas e coesas. Isso ocorre devido à alta superfície específica do fíler calcário e a melhora na distribuição granulométrica da argamassa.



**Figura 27: Aspecto do espalhamento da argamassa em função da variação do teor de filer calcário**

#### 4.2.3 Influência do Aditivo Modificador de Viscosidade e do Fíler Calcário na Resistência Mecânica

A influência do filer calcário (FC) e do aditivo modificador de viscosidade (MV) na resistência das argamassas também foi avaliada. Para isso foram produzidas quatro argamassas:

Ref: Argamassa de referência (traço - 1:3,08:0,62, com 1,82% de aditivo superplastificante e espalhamento de 300 mm);

40% de FC: Argamassa de referência com 40% de filer calcário;

0,4% de MV: Argamassa de referência com 0,4% modificador de viscosidade;

0,6% de MV: Argamassa de referência com 0,6% modificador de viscosidade.

A tabela 2 apresenta o traço de cada uma das argamassas citadas acima, bem como o espalhamento obtido para cada uma delas através do ensaio de mini-slump

Tabela 2: Traços (massa) utilizados e espalhamentos obtidos

Argamassa	Traço						Espalhamento (mm)
	c	a <sup>1</sup>	ag <sup>2</sup>	SP <sup>3</sup>	FC <sup>4</sup>	MV <sup>5</sup>	
Ref	1	3,08	0,62	0,0182	X	X	300
40% de FC	1	3,08	0,62	0,0182	0,4	X	332
0,4% de MV	1	3,08	0,62	0,0182	X	0,004	280
0,6% de MV	1	3,08	0,62	0,0182	X	0,006	299

<sup>1</sup>areia <sup>2</sup>água <sup>3</sup>super plastificante <sup>4</sup>filer calcário <sup>5</sup>modificador de viscosidade

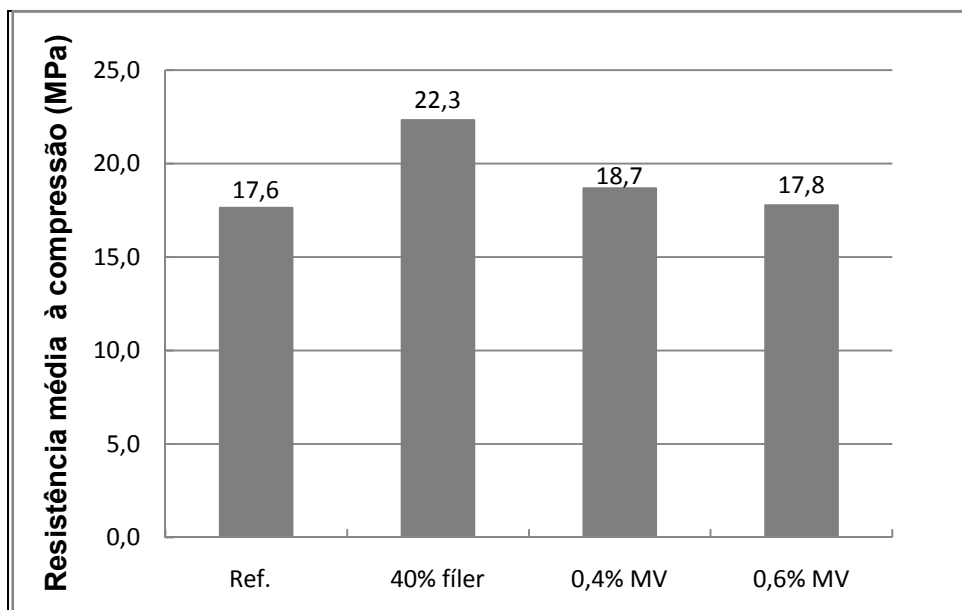
A tabela 03 mostra a média das massas específicas dos corpos-de-prova de cada uma das argamassas, no estado fresco, endurecido e saturado.

Tabela 3: Massa específica média dos corpos-de-prova

CP	Massa específica $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )			
	Ref.	40% FC	0,4% de MV	0,6% de MV
<b>Fresco</b>	2,65	2,60	2,49	2,15
<b>Endurecido</b>	2,14	2,15	2,14	2,12
<b>Saturado</b>	2,14	2,17	2,14	2,13

A tabela 3 mostra que a argamassa com aditivo modificador de viscosidade apresenta massa específica, no estado fresco, menor que as demais. Isso ocorreu devido à incorporação de ar causada pelo modificador de viscosidade.

A Figura 28 mostra a resistência média á compressão de cada argamassa.



**Figura 28: Resistência média à compressão das argamassas aos 7 dias**

A argamassa Ref. apresentou a menor resistência média à compressão, de 17,6 MPa. Enquanto a argamassa com 40% de fíler foi a que resultou na maior resistência média, de 22,3 MPa. Já as argamassas 0,4% de MV e 0,6% de MV resultaram em resistências médias de 18,7 MPa e 17,8 MPa respectivamente.

A resistência média à compressão superior na argamassa com adição de fíler calcário é justificada pela redução da relação água/materiais secos da mistura, já que quantidades de água menores resultam em maior resistência à compressão. Para que a adição de fíler calcário não reduza a quantidade de água disponível, ao invés de se fixar a relação água/cimento na argamassa deve-se fixar o valor da relação água/materiais secos. Outra causa possível para a maior resistência da argamassa com adição de fíler é o maior empacotamento dos grãos.

Nas argamassas com aditivo modificador de viscosidade a resistência à compressão diminuiu com o aumento do teor de aditivo. Isso ocorreu devido ao aumento da incorporação de ar causada pelo aumento do teor de aditivo.

Para as argamassas avaliadas quanto à resistência mecânica foram calculados os consumos de cada material para a produção de 1 m<sup>3</sup> de argamassa, como mostra a tabela 04.

Tabela 04: Consumo de material por m<sup>3</sup> de argamassa

Materiais	Argamassas			
	Ref.	40% de fíler	0,4% de MV	0,6% de MV
Cimento	561,65	508,00	527,30	455,10
Areia	1729,90	1564,64	1624,08	1401,71
Adit. Superplast.	10,22	9,24	9,60	8,28
Adit. Mod. Viscosidade	-	-	2,11	2,73
Fíler calcário	-	203,20	-	-

Percebe-se, na tabela 4, que o uso do fíler calcário e do aditivo modificador de viscosidade reduziram o consumo de cimento nas argamassas. Isso ocorre, pois o fíler calcário e o modificador de viscosidade aumentam os finos da mistura substituindo parcialmente o cimento.

Na tabela 05 são apresentados os custos para produção de 1 m<sup>3</sup> de cada argamassa

Tabela 05: Custo dos materiais para produção de 1m<sup>3</sup> de argamassa (R\$/m<sup>3</sup>).

Materiais	Argamassas			
	Ref.	40% de fíler	0,4% de MV	0,6% de MV
cimento	224,66	203,20	210,92	182,04
Areia	96,87	87,62	90,95	78,50
Adit. Superplast.	74,60	67,45	70,08	60,44
Adit. Mod. Viscosidade	-	-	14,14	18,29
Fíler calcário	-	30,48	-	-
<b>Custo Total (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>396,14</b>	<b>388,75</b>	<b>386,09</b>	<b>339,27</b>

A tabela 5 mostra que a adição de fíler calcário ou aditivo modificador de viscosidade diminui o custo para produção da argamassa, devido à redução do consumo de cimento, mostrado na tabela 4. Comparando os valores para produção com fíler calcário com os valores para produção usando aditivo modificador de viscosidade percebe-se que praticamente não há diferença de custos. Dessa forma, a escolha pelo fíler calcário ou pelo aditivo modificador de viscosidade praticamente não alterará os custos para produção da argamassa.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos nos ensaios realizados e considerando os objetivos propostos neste trabalho, apresentam-se as conclusões a seguir.

Para determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante foram utilizados ensaios de espalhamento e escoamento. No entanto, constatou-se que não existe correlação entre os dois ensaios. Enquanto, no ensaio de espalhamento, o aumento de aditivo superplastificante resultou em maiores diâmetros, mostrando o aumento de fluidez das pastas, no ensaio no cone de Marsh, a partir de determinado teor, o tempo de escoamento da pasta passa a ser constante, indicando a saturação do aditivo.

No ensaio de espalhamento (mini-slump), somente a medida do diâmetro do espalhamento, que mostra o aumento de fluidez da pasta com o aumento do aditivo superplastificante, não é suficiente para determinação do ponto de saturação do aditivo, sendo necessária uma análise visual para avaliação da exsudação e segregação das misturas. Essa avaliação indicou como ponto de saturação o teor de 0,15%, mesmo teor definido pelo ensaio de escoamento. No entanto a análise visual é uma avaliação subjetiva, na qual os resultados podem variar de acordo com a escala adotada pelo avaliador.

Nos ensaios em pasta, com relação ao espalhamento, as pastas com aditivo modificador de viscosidade mostraram comportamento semelhante às pastas com adição de fíler calcário. No entanto, as pastas com adição de fíler calcário apresentaram diâmetros de espalhamento maiores, indicando menor perda de fluidez do que as pastas com aditivo modificador de viscosidade.

Para o fíler calcário, a primeira adição, de 10%, causou uma redução acentuada tanto no espalhamento quanto no escoamento das pastas; adições a partir de 10% não causaram variações significativas. Da mesma forma que para o fíler calcário, o primeiro teor de aditivo modificador de viscosidade adicionado a pasta causou uma redução significativa tanto no diâmetro de espalhamento quanto no tempo de escoamento das pastas, sendo que para os demais teores não houve grandes variações.

Isso mostra que ambos os testes são sensíveis à presença do fíler calcário e do aditivo modificador de viscosidade, independentemente da quantidade adicionada. Dessa forma, tanto a medida do espalhamento quanto a do tempo de

escoamento são insuficientes para definir o teor ideal de fíler calcário e de aditivo modificador de viscosidade a ser utilizado, sendo necessário observar visualmente o comportamento das misturas com relação à exsudação e segregação.

Nos ensaios em argamassa, tanto o fíler calcário como o modificador de viscosidade mostraram-se eficientes no controle da exsudação e segregação. No entanto, a adição de fíler calcário resultou em misturas mais coesas e homogêneas enquanto que o aditivo modificador de viscosidade causou incorporação de ar.

Além disso, as argamassas com fíler calcário foram as que apresentaram maior desenvolvimento de resistência mecânica, enquanto que o aumento do teor de aditivo modificador de viscosidade causou uma redução da resistência, em função da incorporação de ar nas argamassas.

O cálculo do consumo de materiais mostrou que a adição de fíler calcário e aditivo modificador de viscosidade reduzem o consumo de cimento nas argamassas. Quanto aos custos, argamassas com fíler calcário ou com aditivo modificador de viscosidade apresentaram valores equivalentes para produção.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos para Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da Resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

AÏTCIN, Pierre-Claude. **Concreto de Alto-desempenho**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 2000.

DÍAZ, Vitervo O. **Método de dosagem de concreto de elevado desempenho**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1998.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro. 1997.

FARIA, Renato. Solução fluida. **Revista Técnica**, São Paulo (SP), ed. 132, mar. 2008.

HARTMANN, Carine T. HELENE, Paulo R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento portland**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

ILIESCU, Marcelo. **Concreto auto-adensável**. Iliescu Structural Repair. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.iliescu.com.br/palestras/concretoautoadensavel.pdf>> Acesso em: 05 mai. 2011.

NEPOMUCENO, Miguel C. S. **Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis**. 2005. Tese – Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2005.

NUNES, Sandra C. B. **Betão auto-compactável: Tecnologia e propriedades**. 2001. Dissertação – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2001.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos auto-adensáveis reforçados com fibra de aço**. 2006. Dissertação – Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

MARTINS, Eliziane J. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa auto-nivelante**. 2009. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

MEIRELES, Dinah et al. **Avaliação das propriedades do concreto auto-adensável contendo aditivos modificadores de viscosidade no estado fresco**. Curitiba: Congresso Brasileiro do Concreto, 2009.

MELO, Karoline A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. 2005. Dissertação – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

LEITE, Francisco C. M. **Influência do tipo de adição mineral e da dimensão máxima do agregado no comportamento do concreto auto-adensável**. 2007. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007.

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

OKAMURA Hajime; OUCHI Masahiro. **Self-Compacting Concrete**. Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute, Japão. v. 1, n 1, p. 5-15, abr. 2003

PILEGGI, Rafael G.; et al. **Concretos de alto desempenho: um novo conceito em refratários**. Cerâmica, São Carlos (SP), v. 48, n 305, p. 1 – 4, jan/fev/mar. 2002.

REPETTE, Wellington L. **Concreto auto-adensável: características e aplicação**. Revista Técnica, São Paulo (SP), ed. 135, jun. 2008.

RONCERO, Joana. **Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: Implications for high performance concretes**. 2000. 189 p. Tese – Escola Tècnica Superior D'Engyniers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

TUTIKIAN, Bernardo F. DAL MOLIN, Denise C. **Concreto auto-adensável**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 2008.

## **APÊNDICE A – Resistências das Argamassas**

**Resistências das argamassas**

<b>Argamassa</b>	<b>Res. média (KN)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coef. variação (%)</b>
Ref.	34,62	7,47	21,6
40% fíler	36,65	8,24	22,5
0,4% MV	34,88	7,67	22,0
0,6% MV	34,88	8,65	24,8