

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO BELLEI

**INFLUÊNCIA DO USO DE ADIÇÃO DO FINO DE AREIA DE DESCARTE DE
FUNDIÇÃO (ADF) NO CONTROLE DE EXSUDAÇÃO E SEGREGAÇÃO DE
CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO
2015

EDUARDO BELLEI

**INFLUÊNCIA DO USO DE ADIÇÃO DO FINO DE AREIA DE
DESCARTE DE FUNDIÇÃO (ADF) NO CONTROLE DE EXSUDAÇÃO
E SEGREGAÇÃO DE CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS**

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Caroline Angulski
da Luz

PATO BRANCO

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

INFLUÊNCIA DO USO DE ADIÇÃO DO FINO DE AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO (ADF) NO CONTROLE DE EXSUDAÇÃO E SEGREGAÇÃO DE CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS

EDUARDO BELLEI

No dia 19 de junho de 2015, às 14h45min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 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– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº16-TCC/2015.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. CAROLINE ANGULSKI DA LUZ (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. JOSÉ MIGUEL ETCHALUS (DACOC/UTFPR-PB)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ivete e Valcir Bellei.

EPÍGRAFE

“

Tenha talento, trabalhe como um condenado, sue sangue, e você conseguirá tudo sem esforço” (Humberto Gessinger)

“Complicações surgiram, continuaram e foram superadas” Jack Sparrow

“If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants.” – Sir Isaac Newton

RESUMO

BELLEI, Eduardo. **Influência do uso de adição do fino de areia de descarte de fundição (ADF) no controle da exsudação e segregação de concreto auto adensáveis**. 2015. 112. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

O concreto auto adensável (CAA) vem sendo desenvolvido desde meados da década de 1980, e surgiu em resposta à necessidade de uma melhor qualidade na etapa de concretagem de elementos estruturais com elevadas taxas de armaduras e de formas mais complexas. Uma de suas principais características, tomadas como vantagem, está no preenchimento de fôrmas sem a necessidade de alguma forma de adensamento. Contudo, sua aplicação, principalmente no Brasil, ainda não é muito difundida, pois sua obtenção requer maior controle das etapas para sua elaboração, e há carência de profissionais para sua elaboração em obra, sendo mais fácil confeccioná-lo em laboratórios. Uma das principais dificuldades quanto a sua produção, está no controle de suas propriedades, principalmente referentes a exsudação da água de amassamento e a segregação dos agregados. O controle desses fenômenos se dá através da incorporação de materiais finos à mistura, como o próprio cimentos e outros materiais minerais. Simultaneamente ao crescimento do mercado consumidor de concreto auto adensável, houve também um aumento no que diz respeito às questões ambientais que envolvem muitos mais do que o setor da construção civil. Estudos envolvendo a utilização de materiais provenientes de outros setores da indústria, como por exemplo da indústria metalúrgica (de fundição), na confecção de materiais cimentícios como o CAA. Como forma de utilizar uma das matérias-primas descartada do processo de fundição, estuda-se a influência que a areia de descarte de fundição tem sobre as propriedades do concreto, sendo este, uma forma de ressaltar sobre os aspectos dos impactos ambientais provocados por eliminação no meio ambiente como o uso desses materiais alternativos pode tornar o concreto um material mais sustentável. Contudo, deve-se ampliar as pesquisas sobre as propriedades, físicas e químicas desses materiais, para que haja menos limitações quanto ao seu uso. Assim, a caracterização desse novo elemento deve ser analisada, afim de garantir sua utilização sem prejudicar o concreto final produzido. Desta forma, este trabalho verifica a influência que o uso da porção considerada como material fino da areia de descarte de fundição tem sobre o concreto auto adensável, principalmente no que diz respeito ao controle da exsudação e segregação.

Palavras-chave: Concreto Auto-Adensável. Areia de Descarte de Fundição. Exsudação. Segregação.

ABSTRACT

BELLEI, Eduardo. **Influence of the use of addition of foundry sand disposal thin foundry (ADF) in the control of exudation and segregation of self-compacting concrete. 2015.** 112. Completion of course work (Bachelor Degree of Civil Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

The self-compacting concrete (SCC) has been developed since the 80's decade, and appeared in response to the need of a better quality confection of structural elements of concrete with high rates of armor and more complex mold systems. One of the features, taken as a vantage, is in the fill the mold systems without a compacting system. However, your application, mainly in Brazil, still is not so widespread, because your obtainment requires a larger control of the stages to your elaboration, and there is a lack of professionals for your elaboration in civil work, being easier your confection in laboratories. One of the principal difficulties as their production mainly refers to the kneading water exudation and segregation of the aggregates. The control of this phenomenon's is through incorporation of fine materials in the mix, like own cements and other minerals. Simultaneously with the growth of consume "self-compacting concrete" market, there was also an increase of environmental issues, involving many more than the construction sector. Studies involving the use of materials from other industry sectors are being developed, such in the metallurgical industry (foundry), in production of cementitious materials like SCC. In order to use one of the discarded materials of the foundry process, it is studied the influence that the disposal of foundry sand has on concrete properties, this being a way to emphasize the environments aspects, like the use of these alternative materials can make the concrete more sustainable. However, researches about the physical and chemical properties of these materials should be expanded, to have least limitations on their use. Thus, the characterization of this new element should be examined in order to ensure their use without damaging the final concrete produced. Therefore, this work checks the influence that the use of portion considered as thin material foundry discard sand has in the self-compacting concrete, particularly in the controls of exudation and segregation

Keywords: Self-compacting concrete. Foundry discard sand. Exudation. Segregation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação de Resíduos Sólidos.....	16
Figura 2 – Fluxograma do processo de fundição com as principais entradas de matérias-primas e insumos e saídas de resíduos e emissões.	17
Figura 3 – Representação esquemática da fundição em molde de areia.....	19
Figura 4 – Ponte Akashi-Kaikyo, Japão.....	29
Figura 5 – a) Concretagem com CAA b) Concretagem em CCV.....	33
Figura 6 – Comparação do uso de finos no CAA versus convencional	36
Figura 7 – faixas granulométricas consideradas na literatura, para agregado miúdo....	40
Figura 8 – faixas granulométricas consideradas na literatura, para agregado graúdo. .	41
Figura 9 – Esquema do procedimento do Método de dosagem de Tutikian (2007)	48
Figura 10 – Fluxograma das principais atividades propostas na determinação do CADAR.	49
Figura 11 – (a) Cone de Abrams; (b) tronco de cone (<i>mini Slump</i>)	51
Figura 12 – análise visual da borda da pasta após escoamento	51
Figura 13 – Ilustração do Cone de Marsh	52
Figura 14 – Esquema básico da Caixa L.....	53
Figura 15 – Esquema básico do funil V.	54
Figura 16 – curva granulométrica do agregado miúdo utilizado e do agregado miúdo proposto por Melo (2005)	57
Figura 17 – curva granulométrica da mescla do agregado graúdo utilizado e do agregado proposto por Melo (2005)	58
Figura 18 – Areia de Descarte de Fundição (ADF).....	60
Figura 19 – Curva Granulométrica da Areia de descarte de Fundição (ADF)	61
Figura 20 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	63
Figura 21 – Argamassadeira Mecânica	65
Figura 22 – Ponto de Saturação de Aditivo	73
Figura 23 – Espalhamento da pasta em relação a porcentagem de aditivo.	74
Figura 24 – Aspectos das pastas elaboradas.....	75
Figura 25 – Pastas com seus respectivos teores de adição de ADF.....	76
Figura 26 – Argamassa desenvolvida com o Traço 1 e seus respectivos teores de aditivos.	77
Figura 27 – Evolução do espalhamento com o aumento do teor de aditivo.	79

Figura 28 – Argamassas com o traço 2 e seus respectivos teores de aditivos	79
Figura 29 – Correção da exsudação com a adição de ADF	80
Figura 30 – Resultados médios para a resistência à compressão	81
Figura 31 – Aspecto do CAA submetido ao ensaio do espalhamento.....	85
Figura 32 – Resistência média à compressão do CAA	87
Figura 33 – Aparência dos CP's	87
Figura 34 – Evolução da absorção de água nos 3 Cp's.	88
Figura 35 – Profundidade da absorção de água.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da areia de fundição	21
Tabela 2 – Propriedades e mecanismos que governam o CAA, no estado fresco.....	44
Tabela 3 – Limites de aceitação do CAA.....	46
Tabela 4 – Análise física do Fino da Areia de Descarte de Fundição (ADF)	61
Tabela 5 – Resultados para o ensaio de espalhamento e escoamento com teores diferentes de adição.	76
Tabela 6 – Valores do ensaio de espalhamento para diversos teores de aditivo.	78
Tabela 7 – Valores para o espalhamento das argamassas com incorporação de adição de ADF	80
Tabela 8 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 1 do CAA	82
Tabela 9 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 2 do CAA	82
Tabela 10 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 3 do CAA	83
Tabela 11 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 4 do CAA	83
Tabela 12 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 5 do CAA.....	84
Tabela 13 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 6 do CAA	84
Tabela 14 – Resultados dos ensaios de CAA	86
Tabela 15 – Ascendência da água nos respectivos corpos de prova.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características Aconselháveis para os Aglomerantes em Areias.....	23
Quadro 2 – Composições de CAA por alguns pesquisadores.....	37
Quadro 3 – Lista de testes e demais informações para o CAA	47
Quadro 4 – Faixa de parâmetros para ensaios de auto adensamento	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	AREIA DE FUNDIÇÃO	15
2.1	O PROCESSO DE FUNDIÇÃO	15
2.2	O PROCESSO DE MOLDAGEM	18
2.2.1	Matérias-primas para moldagem em areia	19
2.2.1.1	Areia base ou areia lavada (nova)	21
2.2.1.2	Pó de carvão (Cardiff)	22
2.2.1.3	Argila (Bentonita)	22
2.2.1.4	Água	23
2.3	A AREIA DE FUNDIÇÃO COMO UM RESÍDUO SÓLIDO	23
2.3.1	As possibilidades de reuso	24
2.4	APLICAÇÕES DA AREIA DE FUNDIÇÃO	26
2.4.1	Em concretos e produtos correlacionados	26
2.4.2	Em asfaltos	27
2.4.3	Aplicações na fabricação de cimento Portland	27
3	CONCRETO AUTO ADENSÁVEL	28
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	28
3.2	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS	30
3.3	VANTAGENS E DESVANTAGENS	31
3.4	APLICAÇÕES E INDICAÇÕES DE USO	34
3.5	MATERIAIS CONSTITUÍNTES DO CAA	35
3.5.1	Cimento Portland	37
3.5.2	Agregados	38
3.5.2.1	Propriedades dos agregados	39
3.5.3	Água	41
3.5.4	Aditivos	42
3.5.5	Adições	43
3.6	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	44

3.7	MÉTODOS DE DOSAGEM	44
3.7.1	Método de Dosagem Proposto por Repette-Melo (2005).....	45
3.7.2	Método da EFNARC 2005.....	46
3.7.3	Método de dosagem de Tutikian (2007).....	47
3.7.4	Método de Gomes (2002)	48
3.8	DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	50
3.8.1	Slump Flow Test	50
3.8.2	Cone de Marsh.....	52
3.8.3	Caixa L (L-box test)	53
3.8.4	FUNIL V (<i>V-funnel</i>).....	54
4	METODOLOGIA	56
4.1	MATERIAIS.....	56
4.1.1	Cimento Portland CP V – ARI	56
4.1.2	Agregado miúdo: areia natural	56
4.1.3	Agregado graúdo: brita.....	57
4.1.4	Aditivo	58
4.1.5	Adição: Areia de descarte de Fundação (ADF)	59
4.2	ELABORAÇÃO DO CAA	62
4.2.1	Estudo em Pasta.....	64
4.2.1.1	Definição da Relação água/cimento (<i>a/c</i>)	64
4.2.1.2	Definição do Teor de aditivo superplastificante.....	64
4.2.1.3	Influência da adição do fino de ADF no espalhamento e escoamento	66
4.2.2	ESTUDO EM ARGAMASSA	67
4.2.2.1	Definição do teor de aditivo superplastificante.....	67
4.2.2.2	Influência da adição dos finos da ADF no controle de exsudação e segregação.....	69
4.2.3	CONFECÇÃO DO CAA.....	70
4.2.3.1	Concreto no estado fresco	70
4.2.3.2	Concreto no estado endurecido	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
5.1	ENSAIOS EM PASTA.....	73
5.1.1	Ponto de saturação do Aditivo	73
5.1.2	Teor Ótimo de Fino (Adição) de ADF	76
5.2	ENSAIOS EM ARGAMASSA.....	77

5.2.1	Argamassa No Estado Fresco	77
5.2.2	Argamassa No Estado Endurecido	81
5.3	ESTUDO EM CONCRETO	82
5.3.1	Concreto no Estado Fresco.....	82
5.3.2	Concreto no Estado Endurecido	86
5.3.2.1	Resistência mecânica à compressão.....	86
5.3.2.2	Absorção de água por capilaridade	88
6	CONCLUSÃO	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	99
	AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO (ADF)	100
	AGREGADO MIÚDO	101
	AGREGADO GRAÚDO	103
	APÊNDICE B: DETERMINAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR	104
	APÊNDICE C: RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO	107

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos sólidos tem evoluído para uma das principais preocupações ambientais mundiais, isto em função da regulamentação estabelecida para as questões de desenvolvimento sustentável. O gerenciamento se torna imprescindível devido à grande quantidade de subprodutos industriais gerados a cada dia, sendo que a maioria não recebe destino adequado, comprometendo o meio ambiente por até centenas de anos. A partir disto, o reuso destes resíduos vem se tornando uma alternativa atraente para seu controle e eliminação. Dentre os subprodutos gerados, a areia de fundição apresenta um potencial de utilização em materiais à base de cimento (PHILIPPSEN, 2009).

A indústria da fundição, apesar de empregar em seu processo grandes quantidades de materiais metálicos recicláveis, possui como um dos principais excedentes de seu processo de fabricação as areias descartadas de seu sistema de moldagem e macharia (PEIXOTO, 2003).

A areia de fundição é classificada, com base na NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação, e sua classificação depende do processo de fundição empregado (moldagem ou macharia) (SCHEUNEMANN, 2005).

Em sua maior parte, a disposição final das areias a serem descartadas é feita através do envio para aterros industrial, porém, muitos desses resíduos ainda não têm uma destinação correta, contribuindo de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, constituindo tarefas potencialmente poluidoras do solo e de águas.

O método de moldagem mais utilizado em todo o mundo para a produção de peças fundidas, em processos metalúrgicos, é a moldagem em areia. O processo consiste em verter metais líquidos em moldes, onde, se caracterizará a peça após a solidificação do metal. A moldagem é formada pela areia aglomerada, constituída de areia do sistema regenerada, de areia base (sílica), pó de carvão, bentonita (argila) e água (ARMANGE, 2005).

Pode-se estimar que mais de 80% das peças fundidas produzidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada, cujo aglomerante mais comum é argila. Após vários ciclos de operação as características da areia são alteradas, tornando-a

imprópria para a moldagem. A partir deste instante, parte da areia tem de ser renovada, gerando então o resíduo de areia de fundição (SIDDIQUE et al., 2009).

A implementação de regulamentos ambientais mais restritos, tem nos últimos anos obrigado as fundições a gerenciar sustentavelmente seus resíduos no que consiste desde a não geração, passando pela redução, reutilização e reciclagem dos rejeitos. Muitas vezes esses processos, num primeiro momento, oneram consideravelmente os custos da produção, mas, por outro lado, também se tem perdas econômicas pelo aproveitamento desses materiais

Como alternativa para a destinação final da areia de fundição que não é reutilizada no processo de fabricação dos moldes, diversas pesquisas e estudos têm sido desenvolvidos atualmente buscando minimizar os efeitos ambientais e econômicos gerados pela destinação da implementação este resíduo, através da sua incorporação como matéria-prima total ou parcial em outros materiais de outras indústrias.

Assim, uma dessas indústrias que tem utilizado a areia de descarte de fundição como matéria-prima para a confecção de produtos é a Construção Civil, através dos materiais cimentícios.

Com o objetivo de facilitar a execução de estruturas mais complexas e com altas taxas de armadura, desenvolveu-se no Japão, em meados da década de 1980, um concreto que enquanto no seu estado 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) (FIORENTIN, 2011).

Caracteriza-se o concreto auto-adensável por satisfazer determinadas propriedades no estado fresco, como obter a capacidade e facilidade de preencher todos os vazios das fôrmas, até mesmo em locais com altas taxas de armadura, sobre o efeito apenas de seu peso próprio; passar entre obstáculos sem sofrer bloqueio, preenchendo todos os espaços das formas, mesmo os mais confinados pela concentração de armaduras e manter a estabilidade, sem sofrer segregação de seus componentes, até o momento pós-lançamento. Deve atender os mesmos requisitos de resistência e durabilidade dos concretos convencional e de alto desempenho (EFNARC, 2002; GOMES, 2002; ROONEY, 2002; GETTU; AGULLÓ, 2003).

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

A capacidade de se auto adensar é obtida com o equilíbrio entre alta fluidez com grande mobilidade e moderada viscosidade e coesão entre as partículas do concreto fresco. A alta fluidez é alcançada com a utilização de Aditivos Superplastificante de última geração; e, para a moderada viscosidade e coesão entre suas partículas é preciso que a quantidade de material fino presente no concreto seja aumentada, em geral, através geralmente do uso de adição mineral, como cinza volante e sílica ativa, ou materiais inertes, como o fíler calcário, o que pode resultar na elevação do custo do concreto (OKAMURA et al., 2000).

Assim, de acordo com Mizumoto (2006), para a confecção de CAA são utilizados os mesmos materiais do concreto convencional, mas em proporções distintas, sobretudo no que se refere à parcela dos componentes finos.

Inúmeras pesquisas sobre o CAA vêm se desenvolvendo com o objetivo de obter o concreto com diferentes materiais, conhecer seu comportamento, melhorar suas propriedades e verificar sua aplicabilidade em diferentes elementos estruturais. Propostas de novos equipamentos de ensaios e novos materiais são desenvolvidas com intuito de melhor caracterizar suas propriedades, principalmente no estado fresco.

A partir dos anos 90 surgiram vários métodos de dosagem de CAA, dentre eles: o de Ouchi et al. (1996) e Okamura (1997), Sedran et al. (1996), Petersson et al. (1996) e Billberg (1999), EFNARC (2001) e Gomes e Gettu (2002).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

No âmbito geral, este trabalho tem como objetivo principal verificar a viabilidade técnica da utilização da Areia de Descarte de Fundição como adição (fino) no controle da exsudação e segregação de argamassas e de Concreto Auto-adensável.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a Areia de Descarte de Fundição (ADF) visando a sua aplicação em CAA.
- Analisar a influência do fino da ADF no controle de segregação e exsudação de argamassas auto-adensáveis.
- Analisar a influência da ADF no tempo de escoamento e no espalhamento do CAA.
- Analisar a evolução do desenvolvimento da resistência mecânica e da porosidade nos CAA com Areia de Descarte de Fundição.

1.2 JUSTIFICATIVA

O conhecimento sobre os fatores que influenciam nas propriedades do concreto é fundamental para a obtenção de concretos especiais, como o concreto auto-adensável. Estudos sobre o comportamento dos materiais finos na adição de CAA utilizados para o controle da segregação e exsudação do concreto auxiliam e otimizam o momento da fabricação do concreto.

A influência dos finos para concretos auto-adensáveis é um assunto muito explorado no âmbito acadêmico, sendo grande parte dos trabalhos focados em

diferentes e alternativos materiais. Apesar de já haverem estudos e aplicações com a utilização da areia de fundição visando ações que conduzam a uma produção sustentável, no campo da Engenharia Civil, por exemplo, o uso dessas areias como agregado para concretos, na fabricação de blocos para a pavimentação (Carnin et. al., 2010), concretos asfálticos (Carnin, 2008), na fabricação de artefatos de cerâmica (Chegatti, 2004), no uso para assentamento de tubulações (Carnin et. al., 2013), na fabricação de artefatos de vidro (ABIFA, 2013), e na cobertura de aterros sanitários (Domingues, 2015) são exemplos de trabalhos que visam o gerenciamento deste resíduo.

Contudo não se estudou profundamente a sua utilização apenas como material fino, ou seja, como adição, portanto não se analisou o comportamento do concreto utilizando a areia descartada nas fundições como material para evitar principalmente a segregação e exsudação do concreto auto-adensável.

A importância desse estudo vem além da utilização da areia e observar o comportamento do concreto, mas sim tem uma relevância no aspecto ambiental, pois, pode ser uma forma de utilizar a areia que é descartada no meio ambiente, diminuindo assim o impacto ambiental provocado. Além disso, com o uso de materiais alternativos pode-se tornar o uso do concreto mais sustentável.

Em Pato Branco – PR, o acesso a essas areias descartadas é facilitado, devido que na cidade possuem três empresas de fundição que utilizam a areia como forma de moldagem, e com a sua utilização em concretos, pode-se tornar um meio mais econômico e mais limpo para o descarte dessa areia.

Estima-se que a geração anual de resíduo sólido esteja em torno de 3 milhões de toneladas de ADF pelo país. (ABIFA, 2012). Um cálculo feito juntamente com responsáveis por empresas de fundição em Pato Branco - PR, estimou-se que são geradas aproximadamente 15 toneladas do resíduo por mês na cidade.

Dessa forma, este trabalho se justifica pela necessidade de destinação da areia de descarte de fundição e da utilização de um elevado teor de finos (presentes na areia descartada), para manter as propriedades reológicas do concreto auto adensável.

Os equipamentos a serem utilizados para a confecção das argamassas e concretos auto-adensáveis serão disponibilizados pela Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, o que viabilizará a execução desta pesquisa.

2 AREIA DE FUNDIÇÃO

2.1 O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

O processo de fundição consiste na fusão de um metal que, em estado líquido, é vazado na quantidade necessária para o preenchimento de um molde e que, ao solidificar-se, gera uma peça com o formato desejado (Campos Filho & Davies, 1978).

Pablos (1995) afirma que existem diversos processos de moldagem utilizados na fundição, sendo que o mais utilizado é a moldagem em areia.

Os processos utilizados pela indústria de fundição para fabricação de seus moldes podem ser classificados de acordo com o tipo de aglomerante utilizado (MARRIOTO, 2000). De maneira resumida, é possível classificar os aglomerantes em orgânicos (resinas) e inorgânicos (argilas). Baseado no material aglomerante, o resíduo de areia é classificado de acordo com sua toxicidade e conseqüentemente descartado conforme recomendações da legislação pertinente.

Quanto à toxicidade, isto é, aos riscos potenciais para o meio ambiente, a Norma NBR 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) estabelece a classificação dos resíduos sólidos que podem ser enquadrados em uma das duas classes: Classe I: perigosos, que podem ser inflamáveis, corrosivos, reativos tóxicos e patogênicos; e Classe II: não perigosos e se subdividem em Classe II-A: não inertes e Classe II-B: inertes, como se observa na Figura 1.

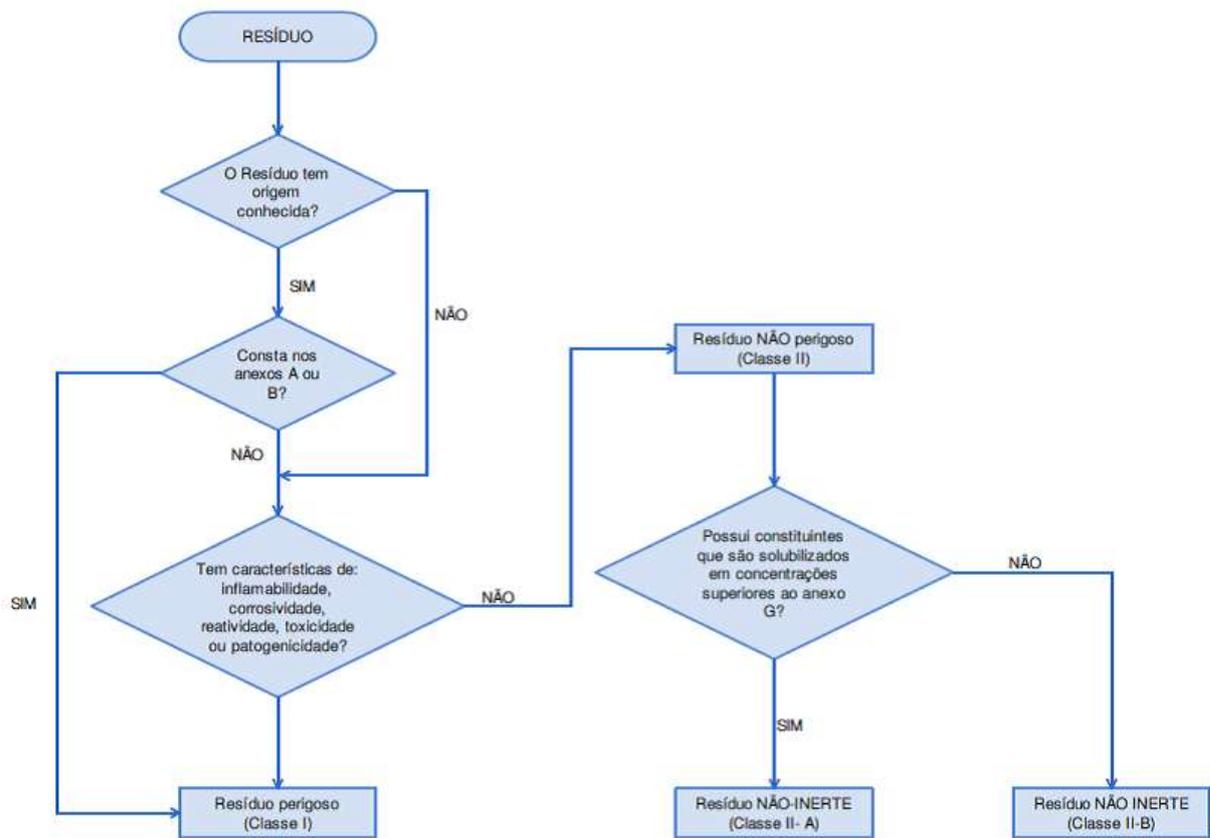


Figura 1 – Classificação de Resíduos Sólidos
 Fonte: Adaptado da ABNT NBR 10.004:2004.

O fluxograma do processo de fundição como um todo está representado na Figura 2, inclusive com os resíduos provenientes de algumas etapas do processo, como os resíduos gasosos provenientes da etapa de fusão do metal, sendo este o resíduo de maior complexidade para a reutilização ou simplesmente a disposição final. Outro resíduo proveniente do metal são as escórias, que já são empregadas em outras indústrias, como a do concreto. E a areia de fundição, que como sabe-se, é a maior parte entre os resíduos gerados pela indústria metalúrgica da fundição.

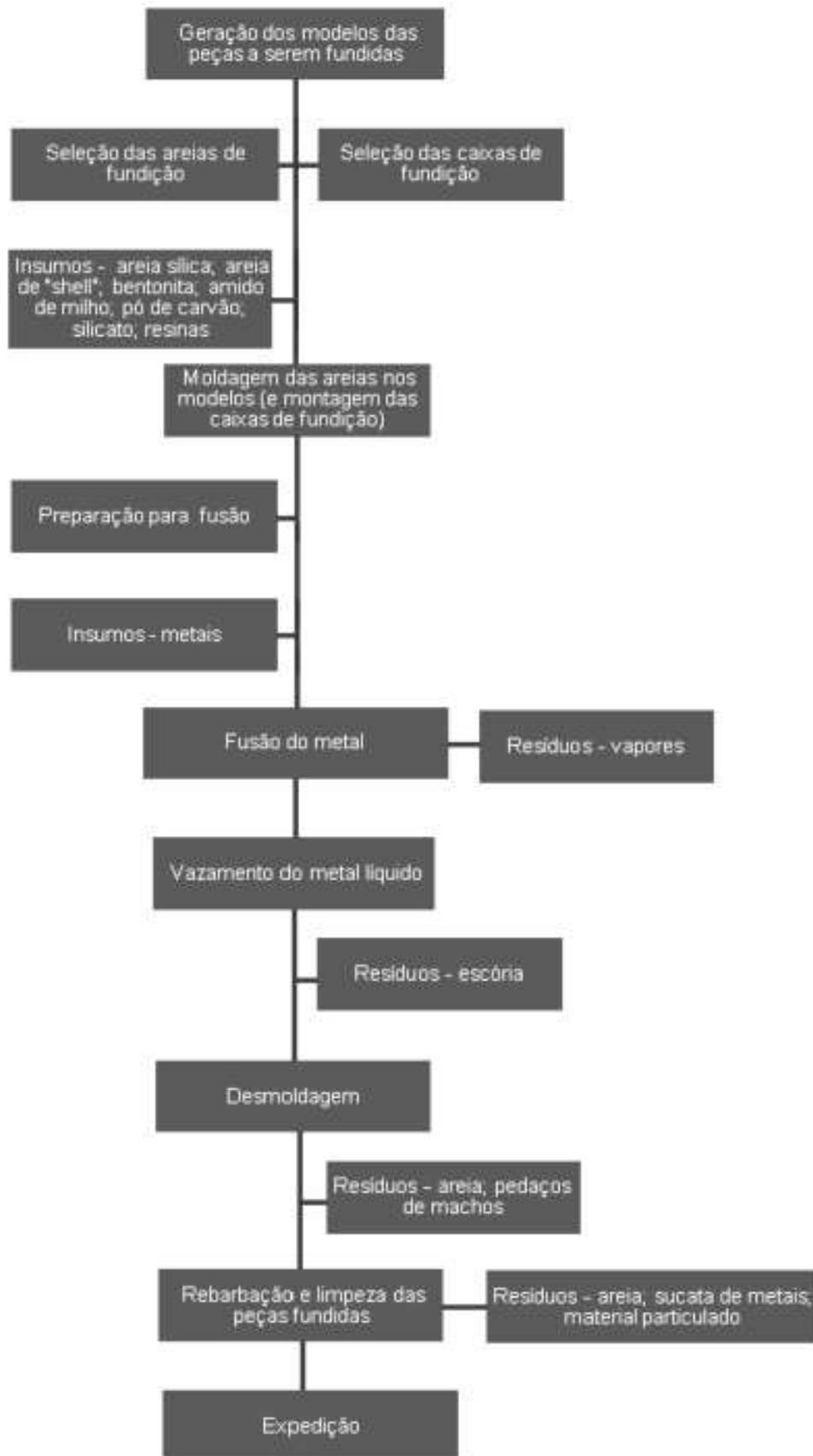


Figura 2 – Fluxograma do processo de fundição com as principais entradas de matérias-primas e insumos e saídas de resíduos e emissões.
 Fonte: Oliveira, 1998.

2.2 O PROCESSO DE MOLDAGEM

Segundo Matos e Schalch (1997), o processo de moldagem se inicia com alimentação de argila, areia base, areia de retorno e aditivos necessários que entram num misturador para garantir a homogeneização dos componentes de onde saem como areia de moldagem, que segue para a fase de preparação dos moldes onde são colocados os machos.

Antes da fusão do material, é necessária a preparação do molde. Este por sua vez consiste num componente cuja função é receber o produto liquefeito e transformá-lo por solidificação na peça correspondente ao modelo que serviu de base para sua formação. As principais etapas do processo de moldagem são:

- a) Confecção do modelo
- b) Confecção dos moldes
- c) Confecção dos Machos
- d) Fusão e Vazamento
- e) Esfriamento, solidificação
- f) Desmoldagem
- g) Outras operações

Os vários processos de fundição diferem, principalmente, com relação ao tipo de molde. Os processos básicos de fundição são caracterizados pelo sistema de moldagem empregado. Os processos de fundição segundo o molde podem ser classificados em: moldagem de areia, moldagem em casca, moldagem em gessos, moldagem por cera perdida, fundição de molde permanente, fundição sob pressão, fundição em molde cheio e fundição contínua (MACIEL, 2005).

Destes, a moldagem em areia, pelo sistema de areia verde, é o método mais empregado na atualidade, servindo para todos os metais. Estima-se que mais de 80% das peças fundidas produzidas utilizem moldes feitos de areia aglomerada (PABLOS, 1995). Essa técnica é largamente utilizada devido à sua facilidade de uso, baixo custo e abundância de matéria-prima.

A moldagem por areia verde consiste na elaboração do molde com areia úmida modelada pelo formato do modelo da peça a ser fundida. A areia verde é a combinação da areia-base de sílica com agentes aglomerantes, em geral a argila (bentonita), pó de carvão, conhecido como Cardiff e água.

Após a confecção dos moldes e machos, ocorre propriamente a fusão e vazamento do metal líquido para dentro dos moldes, conforme ilustrado na Figura 3.

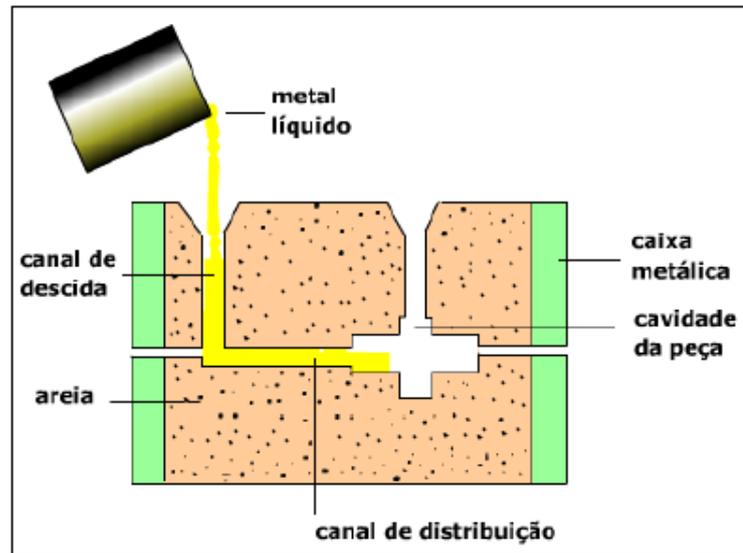


Figura 3 – Representação esquemática da fundição em molde de areia.
Fonte: Centro de Informação Metal Mecânica, 2010.

Por fim, é feita a desmoldagem e acabamento final da peça fundida, para eliminar vestígios de areia, rebarbas, pinturas, entre outros (DANTAS, 2003).

A areia resultante da desmoldagem pode ser, em proporções variáveis, reutilizada no próprio processo de moldagem que a originou, constituindo um sistema de areia recirculante, ao qual fica agregada, parcial ou totalmente, a areia que constituía os machos. Após diversos ciclos, a areia recirculada apresenta um acúmulo de materiais residuais, como restos de argilas, carvões e outros aditivos termicamente degradados no processo de vazamento. Para evitar problemas de qualidade dos moldes, em função desses contaminadores, torna-se necessário a diluição da areia recirculada com a adição de areia nova, criando um excedente de areia de desmoldagem e conseqüentemente o descarte da referida parcela (ABIFA, 1999)

2.2.1 Matérias-primas para moldagem em areia

O principal componente da areia de moldagem utilizada nas fundições é um agregado fino, mineralógicamente puro, denominado “areia-base” (ABIFA, 1999)

definido como um material mineral, sem consideração química, com granulometria que varia de 0,05 mm a 2 mm em seu diâmetro.

Com relação ao sistema ligante empregado, a indústria de fundição distingue dois principais tipos genéricos de areias de moldagem: a “areia verde” e a “areia ligada quimicamente” (ABIFA, 1999).

Ainda, segundo a ABIFA (1999), na areia verde o principal aglomerante é a argila, e estas areias apresentam materiais orgânicos provenientes do emprego de aditivos. A areia verde é utilizada em larga escala, pois é um processo de moldagem mais econômico e rápido. Já as areias ligadas quimicamente utilizam aglomerantes orgânicos, como resinas fenólicas, furânicas, entre outras.

Segundo Bonin et al. (1995), a areia de moldagem é a mistura de vários elementos que se combinam dando características de perfeita trabalhabilidade para formação da caixa de moldagem. Para atender a essa trabalhabilidade, ou seja, atendimento às características mínimas exigidas para a formação da caixa de moldagem e obtenção de peças com qualidade, é necessário que a composição da areia tenha características próprias, tais como: maleabilidade, compatibilidade, refratariedade, coesão, resistência a esforços mecânicos (tração e compressão), expansão volumétrica, permeabilidade e perfeita desmoldagem.

Outros requisitos básicos para se obter um desempenho satisfatório das areias verdes são:

- Possuir estabilidade dimensional-térmica a elevadas temperaturas;
- Possuir tamanho e formato de partículas adequados;
- Ser quimicamente inerte a metais fundidos;
- Não conter elementos voláteis que produzam gás no aquecimento;
- Possuir pureza e pH de acordo com os requisitos dos sistemas ligantes.

De acordo com Scheunemann (2005), qualquer que seja o tipo genérico da areia de moldagem a verde empregada na fundição, a areia resultante da desmoldagem é, em proporções variáveis passíveis de ser reutilizada no próprio processo de moldagem que a originou.

Segundo Armange (2005), a composição da areia de fundição pode ser apresentada na Tabela 1:

Tabela 1 – Composição da areia de fundição

COMPOSTO	PESO (%)
Areia de retorno	60
Areia base (SiO ₂)	34 – 37
Bentonita	1 – 4
Pó de Carvão	0,2 – 2
Água	Quantidade necessária para dar trabalhabilidade a areia

Fonte: Armange, 2005.

Porém, a composição varia conforme o metal a ser fluido, as propriedades físicas e químicas de cada material constituinte, assim como de acordo com a sua finalidade.

Os materiais básicos, conforme sua influência na massa total, são assim caracterizados por: (BONIN et al., 1995).

2.2.1.1 Areia base ou areia lavada (nova)

É o principal componente da mistura da areia de moldagem, e sua função é de agregado. A cada massa processada acrescenta-se, conforme a necessidade, uma quantidade nova deste componente. Os motivos de sua reposição na mistura são: perda das características refratárias devido às altas temperaturas quando do processo de vazamento do metal, acerto do percentual dos demais elementos em excesso, reposição das perdas volumétricas ocorridas durante o processo. Sua granulometria típica compreende grãos que podem variar de 3,36 a 0,053 mm. Geologicamente, a predominância de sua composição depende da jazida de extração e da necessidade do tipo de metal a ser moldado. Quanto ao teor de finos, as percentagens da areia retida nas peneiras de malhas na faixa de 0,05 mm, (#200 a 270) e fundo (determinação de materiais pulverulentos) devem ser controlados, pois o excesso deste material prejudica a permeabilidade do molde, aumenta o número de particulados suspensos no ar e aumenta a densidade da mistura. Sua concentração deve estar dentro do parâmetro que compreende de 3,5-6% no máximo.

As areias bases mais utilizadas na indústria da fundição são:

- Areia de Sílica (SiO₂);
- Areia de Olivina ((MgFe)₂SiO₄);
- Areia de Zirconita (Zr SiO₄);
- Areia de Cromita (FeCr₂O₅ ou FeCr₂O₄). (FERNANDES, 2001).

A areia de fundição mais comumente usada tem sido a areia de sílica por se encontrar com maior abundância na crosta terrestre e, também pelo motivo de ser um material de fácil extração quando comparados a outras areias (IYER et al., 1992).

Quanto maior é a porcentagem de SiO₂ na areia, maior é a refratariedade dessa areia.

2.2.1.2 Pó de carvão (Cardiff)

Para Marqueze (1985), define-se o pó de carvão, ou “Cardiff”, como um material orgânico que se decompõe por ação térmica. É um elemento carbonáceo de adição na mistura da areia de moldagem. É um material volátil com grande capacidade de se expandir quando aquecido com pouco ou nenhum oxigênio. Sua adição visa principalmente:

- Evitar a penetração do metal líquido no molde e reduzir a ocorrência de defeitos devido à expansão térmica da sílica (areia base);
- Reduzir a expansão térmica da areia base (sílica);
- Aumentar a plasticidade da areia;
- Melhorar o acabamento superficial da peça;
- Melhorar a facilidade de limpeza da peça fundida.

2.2.1.3 Argila (Bentonita)

A bentonita é o nome dado a argilas constituídas essencialmente de minerais do grupo das esmectitas (montmorilonita), independente de sua origem ou ocorrência (PORTO, 2005).

A ABNT caracteriza a bentonita como uma rocha constituída essencialmente por silicatos de alumínio hidratados, denominados argilo-mineral, que pode conter sílica livre e outras impurezas, e é o principal aglomerante da mistura na areia de moldagem, sendo responsável pela coesão da areia quando em contato com a água. Sua função coesiva permite que a resistência da caixa de moldagem seja suficiente durante o vazamento, não permitindo assim que a mesma se rompa durante o processo. Quando o vazamento ocorre, a bentonita perde características físicas

devido ao seu comportamento térmico e volumétrico de sua formação mineralógica. As moléculas da água são mantidas nas camadas da argila e conseqüentemente pela elevação da temperatura são eliminadas. Para todas as argilas, a perda de água da composição corresponde à perda das propriedades plásticas e o desenvolvimento progressivo de uma nova forma de coesão, do tipo que acontece com placas de cerâmica, por exemplo, tornando-se frágeis, ou seja, sintetizadas. Devido às perdas das características coesivas e refratárias há necessidade de constante reposição da bentonita, sendo, portanto, um dos fatores de descarte das areias já utilizadas.

Santos (1989), apresenta o Quadro 1 com algumas características aconselháveis para o emprego do aglomerante e aditivos em areias de moldagem.

Quadro 1 – Características Aconselháveis para os Aglomerantes em Areias.

BENTONITA	- Teor de partículas grossas: máximo de 15% retido na Peneira 200. - Mistura padrão: 5% em peso da mistura.
CARDIFF	- Teor de partículas grossas: máximo de 20 a 30% retido na Peneira 200. - Mistura padrão: 3 a 6% em peso da mistura.

Fonte: SANTOS (1989).

2.2.1.4 Água

A água tem como característica principal na mistura da areia de moldagem de tornar possível a coesão dos elementos da mistura através da tensão superficial.

Deve-se controlar a quantidade de água nas misturas, afim de não prejudicar o processo de moldagem, ou seja, comprometendo o trabalho de moldagem.

A água liga-se ao material aglomerante já que a areia por si só não tem resistência mecânica necessária para formar o molde no qual será vazado o metal líquido, assim, essa propriedade é conferida ao aglomerante, como a bentonita. (PEREIRA et al., 2000).

2.3 A AREIA DE FUNDIÇÃO COMO UM RESÍDUO SÓLIDO

Para as areias de moldagem, conhecidas como areias verdes, sendo o processo comumente utilizado, cerca de 80%, codifica segundo a NBR 10004:2004 –

Classificação de Resíduos Sólidos, em seu anexo H, a areia de fundição como um resíduo não perigoso, portanto classe II.

As areias descartadas também incorporam teores de elementos constituintes das ligas fundidas, mas estes raramente superam os limites da norma. (MARIOTTO, 2000).

Como visto, em determinados processos de fundição, à a utilização de aditivos e ligantes químicos (Fenóis), sendo estes, geralmente utilizados no processo de macharia, o que, gera nestes casos, um resíduo que preocupa ambientalmente, pois o classifica como resíduo sólido perigoso. Quando os metais incorporados as areias após a moldagem são excedidos aos valores estipulados em norma, quase sempre o resíduo da areia de fundição também é classificado como perigosos.

A presença de metais é proveniente da oxidação de constituintes das ligas metálicas fundidas e de sua reação com constituintes da areia de fundição, assim como de partículas metálicas que se depositam na areia. Quanto aos metais, a NBR 10.004 (2004), estipula uma série de valores medidos no solubilizado e no lixiviado. É comum que os teores de alumínio, manganês e ferro sejam ultrapassados nos ensaios de solubilização, classificando assim o resíduo como não-inerte (ABIFA, 1999).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos Sólidos (ABETRE), apenas 22% dos resíduos industriais gerados têm destinação correta, sendo que 16% desses resíduos vão para aterro, 1% é incinerado e 5% é co-processado, transformando-se em combustível para a indústria de cimento. E os restantes 78% são despejados no meio ambiente de maneira irregular. Ainda em seu levantamento, anualmente são gerados cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos industriais no Brasil (ABETRE, 2010).

2.3.1 As possibilidades de reuso

A utilização de resíduos como matéria prima na construção civil possibilita:

- A redução de uso de recursos naturais;
- A redução de demanda de energia para sua extração;
- A redução de transporte dos mesmos;
- O aumento da vida útil dos aterros sanitários e industriais pela redução do volume ocupado pelos resíduos;

- Redução dos custos totais, diretos e indiretos na construção.

Considerando-se a complexidade e custos envolvidos dos sistemas regenerativos, para a grande maioria das fundições brasileiras de pequeno e médio porte (BNDES, 1996), o reuso externo da areia de fundição apresenta-se como uma alternativa a ser desenvolvida para amenizar o problema dos excedentes de areia.

Entre os diversos problemas enfrentados atualmente pelo setor industrial, um dos principais é a necessidade de minimizar, quando não é possível eliminar, os efeitos da agressão ambiental que é causada pelos resíduos sólidos gerados pelo processo produtivo de bens manufaturados.

A minimização destes resíduos se enquadra num novo conceito de gerenciamento que possui uma estrutura de ação fundamentada na prevenção e reciclagem. Essa nova postura tem-se mostrado mais efetiva para combater o aumento da degradação do meio ambiente, bem como para atender a normas ambientais, além de melhorar a imagem pública de empresas e ajuda a reduzir desperdícios.

O setor da indústria de fundição tem tido participação dentro desse novo conceito de gestão de resíduos, pois um dos principais problemas gerados pelo setor tem sido a destinação da areia de fundição descartada por seus processos produtivos, geradora de um ônus devido à sua gestão e disposição final.

Neste contexto, a indústria da construção civil tem apresentado um grande potencial no que diz respeito à utilização destes resíduos nos mais variados produtos dentro do setor, tendo em vista a grande quantidade de matéria-prima utilizada pela construção civil. Este fato pode ser comprovado pelos vários trabalhos e estudos realizados para estudar a viabilidade técnica e ambiental da areia de fundição como matéria-prima na fabricação de argamassas e concretos.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi de investigar experimentalmente a influência da areia de descarte de fundição como adição em concretos auto-adensáveis, buscando substituir outros tipos de adições comumente usados, como o fíler calcário e o pó de casca de arroz, a fim de se tornar uma nova forma para a utilização desta areia que nem sempre tem uma correta destinação.

De modo geral, o setor de fundição, apesar de consumir sucatas metálicas como matéria-prima, gera grandes volumes de resíduos sólidos. Esses resíduos são constituídos basicamente de escórias, poeiras diversas e areia de moldagem descartada, entre outros (DANTAS, 2003). A areia de moldagem descartada de

fundição corresponde ao maior volume de resíduos gerados pela indústria de fundição, e apresenta características tanto qualitativas quanto quantitativas diferenciadas em função das peculiaridades de tecnologias e materiais utilizados no processo de fundição.

Entre as principais alternativas de minimização do impacto ambiental da areia de fundição, apresentam-se soluções como: o descarte em centrais de resíduos industriais, a regeneração e o reuso.

Segundo a ABIFA, 1999, a disposição da areia de fundição em centrais de resíduos específicos, para a maioria das fundições brasileiras corresponde a um custo muito elevado, o que conseqüentemente influencia no custo final dos produtos.

A regeneração de uma areia de fundição implica na limpeza superficial de seus grãos com o objetivo de tornar novamente a areia em condições de uso, permitindo assim sua reutilização no processo. (ABIFA, 1999; MARIOTTO, 2000). Porém, os custos para a regeneração da areia também são elevados, devido ao investimento em equipamentos e ao fato da regeneração de algumas areias ser tecnologicamente difícil. (MARIOTTO, 2000).

2.4 APLICAÇÕES DA AREIA DE FUNDIÇÃO

2.4.1 Em concretos e produtos correlacionados

No Brasil, Bonin (1995), em seu trabalho “Reutilização da Areia Preta de Fundição na Construção Civil”, sugere como sendo as melhores alternativas de aplicação de descarte de areia de fundição o uso em artefatos de concreto, tais como: tijolos, postes, guias e sarjetas, blocos de pavimentação entre outros, em proporções parciais ou até totais, conforme o caso.

2.4.2 Em asfaltos

As areias de fundição a serem usadas na substituição parcial dos agregados finos no concreto asfáltico, devem enquadrar-se na especificação granulométrica dos agregados finos.

Marino (2004), desenvolveu um estudo prático para a “Utilização de areia de Fundição em Pavimentação Asfáltica” com acompanhamento do CETSB.

2.4.3 Aplicações na fabricação de cimento Portland

A areia verde usada pode substituir a areia nova como fonte de sílica na fabricação de cimento Portland. Esta areia é utilizada para suprir as deficiências de sílica e alumina, matérias primas normalmente empregadas na fabricação do cimento.

Em pesquisa conjunta, a Sociedade Americana de Fundidores (AFS) e o Laboratório de Tecnologia de Construção da Associação de Cimento Portland dos Estados Unidos não encontraram diferenças tecnológicas nos cimentos produzidos com adições de até 13,4% de areia de fundição ao invés de areia virgem como suplemento de sílica. As condições de uso indicam que a areia de fundição deve satisfazer os requisitos básicos: teor de sílica maior que 80%, baixo teor de álcalis, granulometria uniforme (ABIFA, 1999).

3 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Aplicações técnicas do concreto e a sua compactação nos elementos estruturais são motivos de atenção e cuidados especiais nos processos da construção civil, sendo que propriedades como a resistência mecânica e a durabilidade das estruturas de concreto dependem, entre outros fatores, de um adequado adensamento do mesmo. Collepardi (2001) informa que na década de 70 já haviam estudos e pesquisas para o desenvolvimento de concretos autonivelantes e não segregantes.

Com a crescente utilização do concreto, na década de 1980, surgiram problemas nos produtos gerados por conta das variáveis dos processos de produção como a falta de homogeneização da etapa de adensamento do concreto e as suas consequentes reduções qualitativas do produto. No Japão, a durabilidade das estruturas de concreto exigia projetos mais complexos, principalmente com maior quantidade de armaduras; iniciaram-se então estudos e desenvolvimentos de concretos especiais, que fossem capazes de preencher espaços em fôrmas complexas com alta densidade de aço, de forma simples e eficiente. Também existiam agravantes técnicos gerados por conta do número reduzido de trabalhadores especialistas nesta atividade, bem como a falta de equipamentos sofisticados para o processo de lançamento e adensamento do concreto. Almejava-se desta maneira, até mesmo um tipo de concreto, que apresentasse uma boa durabilidade e que pela sua consistência, fosse até capaz de dispensar o adensamento, (GOMES, 2002; MELO, 2005; NUNES, 2001, REPETTE, 2005, OKAMURA E OUCHI, 2003).

Com a evolução das inovações tecnológicas para concretos, em especial a tecnologia de aditivos superplastificantes, foi possível a produção de concretos mais fluidos com segregação controlada (MELO, 2005). No entanto, a fluidez esperada só era obtida com redução da resistência à segregação e à exsudação da mistura (NUNES, 2001).

Como dito anteriormente a preocupação por volta dos anos 80 era eminente quanto à durabilidade e homogeneidade dos concretos executados. Desta maneira,

em Tóquio no Japão, por volta de 1986, começou o desenvolvimento do concreto auto-adensável proposto pelo professor Hajime Okamura, da Kochi University of Technology. E em 1988, na Universidade de Tóquio, empregou-se o primeiro protótipo com o concreto auto-adensável (NUNES, 2001; CAVALCANTI, 2006).

A obra mais notória a utilizar o concreto auto-adensável em sua estrutura foi a ponte Akashi-Kaikyo, Figura 04, inaugurada em 1998, no Japão, com 1991 metros de vão livre. Ela utilizou em sua ancoragem cerca de 290.000m³ de concreto auto-adensável. O que fortaleceu o uso desta tecnologia naquele projeto, foi a necessidade de uma execução rápida e a dificuldade do adensamento por conta da alta densidade de aço (GEYER e SÁ, 2005).



Figura 4 – Ponte Akashi-Kaikyo, Japão

Fonte: Laboratório do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações - PEF da Escola Politécnica da USP, 2013.

O CAA consiste em um concreto com alta fluidez, capaz de preencher as fôrmas onde é aplicado, compactando-se exclusivamente pela ação de seu peso próprio, prescindindo de energias externas de compactação e vibração. Este concreto deve, ainda, ser capaz de sustentar os grãos do agregado graúdo, mantendo-se homogeneamente distribuídos no interior da mistura (GEYER e SÁ, 2005; EFNARC, 2005). De acordo com EFNARC (2005), o concreto ainda sob a ação da gravidade é capaz de fluir e preencher completamente a fôrma e ao mesmo tempo alcançar

adensamento completo mesmo em regiões com alta presença de aço. Para tal feito, busca-se conseguir concretos fluidos e resistentes à segregação.

O concreto auto-adensável modificou e vem criando o panorama de possibilidades construtivas, estruturas que possuem formas e dimensões complexas podem ser executadas com esta tecnologia (COELHO e MESQUITA, 2010).

3.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

O concreto para ser considerado auto-adensável, deve apresentar, basicamente, três propriedades características e fundamentais no seu estado fresco, e que não competem aos concretos considerados convencionais (NUNES, 2001; EFNARC, 2002; TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008):

- Habilidade de preenchimento: preencher a fôrma onde é aplicado e se auto compactar, sem vibração e mantendo-se homogêneo;
- Habilidade de passagem: passar através de obstáculos, como barras de armaduras, sem apresentar bloqueios de partículas de agregados;
- Resistência à segregação: manter-se estável, ou seja, homogêneo durante a mistura, transporte e aplicação.

Em uma correlação direta, para proporcionar ao concreto alta fluidez utiliza-se aditivos superplastificantes, já para o controle da coesão a atuação dos aditivos modificadores de viscosidade combate a exsudação e a segregação do concreto (GEYER e SÁ, 2005).

Desta maneira, em sua composição, é utilizado aditivos superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade combinados com elementos finos, entre eles, o próprio cimento Portland, as adições minerais (vários resíduos em estudo) e/ou areia fina (LISBÔA, 2004; GOMES, 2002; TUTIKIAN, 2004).

O fenômeno da 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 quando não controlada diminui a resistência do concreto no estado endurecido. Esta diminuição da resistência ocorre principalmente durante o transporte e lançamento, quando os agregados podem separar-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).

Assim, a necessidade de estudos adequados da reologia do concreto no estado fresco, de modo que os parâmetros reológicos que caracterizam o material possam ser controlados – em geral no momento da dosagem, através do uso de adições minerais e aditivos químicos – para que se obtenham resultados satisfatórios de fluidez e estabilidade do concreto fresco, de forma que o concreto apresente o auto nivelamento e a coesão conveniente (BANFILL, 2003).

Outro indicativo da estabilidade da mistura do CAA é a viscosidade plástica, que precisa ser controlado e que caracteriza a resistência à deformação durante o escoamento do concreto. 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 empregado 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 (AITCIN, 2000).

3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A tecnologia dos concretos auto-adensáveis apresenta algumas vantagens relacionadas diretamente com o processo e outras associadas com o produto em si.

Para Lisbôa et al. (2005), algumas destas vantagens seriam: redução de custo na aplicação, maior rapidez na execução da obra, diminuição de ruídos, economia de energia elétrica, aumento de possibilidades de trabalho com formas de pequenas dimensões e eliminação da vibração.

Um enfoque maior é dado ao fato de que o uso do concreto auto adensável garante excelente compactação do material no estado fresco, mesmo em áreas densamente armadas, evitando-se, assim, a presença de falhas no interior do

elemento estrutural. Essa situação permite um melhor acabamento da peça de concreto e permite uma estrutura mais durável. (OKAMURA et al., 2000).

A eliminação da etapa de vibração do concreto resulta na eliminação de ruídos causados pelo vibrador causando uma melhora na qualidade do ambiente de trabalho, uma vez que os trabalhadores deixam de estar expostos a elevadas taxas de ruídos. Por fim, a eliminação da etapa de vibração permite ainda reduzir o tempo de construção, o que pode ser responsável pela diminuição no custo global da obra (GETTU e AGULLÓ, 2003).

Ainda, referindo-se ao CAA com a utilização de resíduos sólidos industriais, relaciona-se a vantagem de ser um produto ecológico devido a necessidade de uso de materiais finos em sua composição, assim, esta tecnologia interage com a proposta de emprego de resíduos industriais que não possuem uma destinação correta tornando-se nocivos a natureza. Gomes e Barros (2009) enfatizam a redução no tempo de concretagem, maior produtividade e até mesmo um ambiente de trabalho mais saudável. Repette (2005), informa sobre o combate a falhas internas do concreto. E, de acordo com Melo (2005), o concreto auto adensável apresenta elevado desempenho tanto no estado fresco quanto no endurecido, devido à alta deformabilidade, alta resistência à segregação, baixa permeabilidade e uma elevada resistência mecânica e durabilidade.

Juntamente com estas vantagens relacionadas, a fluidez do concreto permite que se elimine bolhas de ar e falhas de concretagem. A deformabilidade permite que o material percorra grandes distâncias tanto verticais como horizontais apenas sob ação da gravidade, moldando-se às fôrmas e possibilitando a concretagem de peças complexas, com altas taxas de armadura, além da garantia de melhor acabamento das peças (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008). Outro benefício que esta tecnologia proporciona é o aumento de durabilidade devido à redução de defeitos de concretagem (GEYER e SÁ, 2005).

Com relação ao custo, na conclusão de seus experimentos, Tutikian (2004) recomenda para obras especiais o uso do CAA, pois segundo ele, os custos com relação ao concreto convencional poderão ser equiparados principalmente pelos ganhos operacionais. Mesmo que com esta tecnologia auto-adensável, ocorra a elevação dos preços individuais dos materiais, as racionalizações dos processos construtivos aliada ao aumento da produtividade do canteiro de obras justificam o seu emprego (PROSKE e GRAUBNER, 2002).

A Figura 05 ilustra uma das vantagens do CAA em relação ao CCV. (Menor número de trabalhadores no momento da aplicação do concreto).



Figura 5 – a) Concretagem com CAA b) Concretagem em CCV
Fonte: FIORENTIN, 2011.

Por maiores que sejam as vantagens desta tecnologia de concreto, algumas das quais citadas acima, também se têm algumas desvantagens, ou elementos que necessitam de maior desenvolvimento.

Uma das principais desvantagens do CAA quando comparado ao CCV é o elevado custo para a produção, devido a altas percentagens de finos presentes em sua composição (NEPOMUCENO, 2005). Porém, pesquisas com novos materiais, incluindo resíduos industriais, como a areia de descarte do processo de fundição, têm sido desenvolvidas nos últimos anos com a finalidade de tornar o CAA mais viável. Contudo, deve-se considerar 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 concreto auto adensável necessita de mão de obra especializada em sua confecção e de um maior acompanhamento do que o concreto convencional em todas as suas fases (produção, transporte, lançamento e nivelamento). No caso do transporte, devem-se ter cuidados especiais pelo menor tempo disponível em relação ao concreto convencional bem como, o controle da segregação nesta etapa (LISBÔA, 2004). Estes cuidados em todas as etapas do CAA são necessários, pois as suas propriedades podem sofrer modificações devido a sua alta fluidez e a presença de aditivos na sua composição (ALMEIDA FILHO et al., 2008).

Diante do apresentado, acredita-se que as vantagens advindas da utilização do CAA são suficientes para a superação das possíveis desvantagens que podem ocorrer. Além disso, verifica-se que os aspectos negativos citados podem ser controlados e até eliminados, desde que alguns cuidados especiais sejam observados.

3.4 APLICAÇÕES E INDICAÇÕES DE USO

O desenvolvimento e a aplicação do CAA foram iniciados no Japão e, posteriormente se espalhou pelo mundo (NUNES, 2001).

Lisbôa (2004) informa que no Japão tiveram-se várias aplicações pioneiras de suma importância técnica para sequência dos desenvolvimentos mundiais, tais como: a ponte Akashi-Kaykio (figura 1), tanques para gases liquefeitos em Ozaka, alguns túneis em Yokohama e nas torres da ponte Shin-kiba Ohashi, em 1991.

De acordo com os estudos de Tutikian (2004), outros países da Europa como França e Espanha tiveram consideráveis aplicações ainda no século XX.

A partir dos anos 90, o CAA passou a ser utilizado em diversas situações em todo o mundo, como em pontes, edifícios, túneis, elementos estruturais pré-moldados, tanques e produtos de concreto em geral.

No Canadá, a aplicação do concreto auto adensável é voltada especialmente para a pavimentação e alguns reparos.

Nos Países Baixos, o CAA foi aplicado em uma edificação no ano de 1997, o que resultou na formação de um grupo de pesquisa com o objetivo de estudar as aplicações desse material.

Na Suécia, em 1998, aplicou-se concreto auto adensável em pontes e iniciou-se um planejamento do uso do CAA em edificações residenciais.

Além destas, se tem notícias sobre a aplicação do concreto auto adensável em países como EUA, Áustria, Reino Unido, França, Tailândia, Taiwan entre outros (OKAMURA et al. 2000).

No Brasil, algumas obras no centro-Norte, mais especificamente em Goiânia e no sul do país, representam a maior aplicabilidade (CAVALCANTI, 2006). Porém, no país ainda há poucas obras realizadas com o CAA, estima-se que este fato se deve

à falta de estudos e principalmente a falta de adaptação da tecnologia à nossa realidade (TUTIKIAN, 2007).

As obras que utilizam esta tecnologia de concreto, geralmente respaldam-se de valores relacionados com seus ganhos globais, referentes ao processo e a possibilidade de construção de sofisticados produtos estruturais. Um destaque especial da aplicação do CAA está na confecção de peças pré-fabricadas (NUNES, 2001; CAVALCANTI, 2006)

Em termos gerais, o CAA pode ser aplicado nos seguintes projetos (NUNES, 2001; OKAMURA e OUCHI, 2003):

- Paredes, vigas e colunas especiais,
- Lajes de pequenas espessuras ou lajes nervuradas,
- Parede diafragma,
- Reservatório de água e piscinas,
- Locais de difícil acesso,
- Peças de pequenas dimensões, com formatos não convencionais,
- Fôrmas com grande concentração de ferragem,
- Obras com apreciação do concreto aparente,
- Fundações executadas por hélice contínua,
- Túneis, barragens e estruturas mistas como o uso de fibra de aço.

Para Gomes e Barros (2009), o CAA pode ser aplicado em obras correntes da engenharia civil, no entanto possuem maiores recomendações para elementos estruturais com alta taxa de armadura, formas complexas e cantos de difícil acesso. Segundo eles, tais aplicações apresentam características que dificultam o processo de vibração. Victor (2007), no congresso RILEM, realizado em Chicago no ano de 2005, informa que as autoridades, pesquisadores e desenvolvedores de concreto, realçaram o enorme potencial de utilização do CAA e intensificaram os interesses e investimentos nestes desenvolvimentos.

3.5 MATERIAIS CONSTITUÍNTES DO CAA

Sabe-se que a estrutura de concreto auto adensável se constitui em quatro elementos básicos, os mesmos materiais utilizados na produção do concreto

convencional: cimento, agregados (gráudo e miúdo), água somados às adições minerais e aditivos químicos (SIMONETTI, 2008).

Aïtcin (2000), afirma que a qualidade desses materiais é fator determinante para garantir as propriedades do CAA.

Uma característica marcante do CAA, como o apresentado na Figura 6, é a relação de acréscimo de finos na sua composição em comparação a concretos convencionais. Os materiais finos abrangem elementos com diâmetros inferiores a 0,125mm, ou seja, a quantidade de finos influencia na superfície específica, isto é, uma maior abrangência em tono dos agregados. Assim, como consequência, tem-se uma maior capacidade para absorção de água da mistura (SIMONETTI, 2008). Com isso, tem-se uma redução do volume de agregado gráudo, sendo a argamassa fator determinante das propriedades do CAA no estado fresco (NUNES, 2001).



Figura 6 – Comparação do uso de finos no CAA versus convencional
 Fonte: Adaptado de Simonetti (2008)

De maneira geral, as recomendações da EFNARC (2002), para o uso de materiais para o concreto auto-adensável deve seguir a EN 206-1 (especificação, desempenho, produção e conformidade de concreto).

No Quadro 02, Lisbôa (2004) apresenta faixas de composição de CAA extraídas de alguns pesquisadores e faixas para composição de concreto auto-adensável de alta resistência (CADAR) recomendada por Gomes (2002).

Quadro 2 – Composições de CAA por alguns pesquisadores

Proporções para 1m³ de CAA	* CAA	**CADAR
Volume de pasta (%)	35 – 40	38 – 45
Massa de finos (kg/m ³)	400 – 650	605 – 735
Cimento (kg/m ³)	200 – 400	430 – 480
Massa de água (kg/m ³)	150 – 180	170 – 185
Rel. água/finos (massa)	0,25 – 0,40	0,25 – 0,29
Rel. água/(finos+ag.miúdo) (massa)	0,12 – 0,14	0,11 – 0,14
Volume de agregado graúdo (%)	30 – 35	26 – 31
Rel. agregado graúdo/concreto (massa)-(%)	32 – 40	29 – 35
Massa de agregado graúdo (kg/m ³)	750 – 920	695 – 835
Rel. agregado graúdo/agregados (volume)	0,44 – 0,64	0,47 – 0,50
Tamanho do agregado graúdo (mm)	10 – 20	12
Rel. agregado miúdo/argamassa (volume)-(%)	40 – 50	39 – 45
Massa de agregado miúdo (kg/m ³)	710 – 900	740 – 790

Fonte: LISBÔA, 2004.

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

3.5.1 Cimento Portland

Na indústria da construção civil, para a produção de argamassas e concretos, utiliza-se o cimento Portland, que é um aglomerante hidráulico cujo endurecimento ocorre por meio de reações químicas entre esse material e a água (hidratação), havendo assim a formação de um produto final estável em meio aquoso (MEHTA, MONTEIRO, 1994; NEVILLE, 1997).

De acordo com Gomes e Barros (2009), todos os tipos de cimento Portland podem ser utilizados para a confecção dos CAA, respeitando a escolha da classe pela exigência específica de sua aplicação. Não existem especificações científicas sobre o melhor cimento para obtenção do CAA. Todavia, o tipo de cimento aplicado e a finura do mesmo interferem nas propriedades no estado fresco e na dosagem dos aditivos no CAA (TUTIKIAN e DAL MOLIN, 2008).

Para a produção de CAA, é necessário um elevado teor de finos para que o concreto apresente uma viscosidade adequada, sendo o cimento um material que

contribui para parte destes finos. Porém, o aumento do consumo de cimento pode gerar efeitos indesejáveis no concreto fresco e endurecido, como o aumento da liberação do calor de hidratação e aumento da retração plástica do mesmo.

Sabe-se que quanto maior a área específica do cimento livre para hidratação, maior é a viscosidade da mistura, pois o número de partículas presentes é maior o que implica num aumento da colisão entre estas partículas (NUNES, 2001). Neville (1997), ressalta que, cimentos com maior teor de finos tem a tendência de hidratar-se mais rapidamente, apresentando conseqüentemente maior rapidez no desenvolvimento da resistência.

Para a EFNARC (2002), estes cimentos na sua composição devem ter até 10% de aluminato tricálcico (C_3A). Este composto juntamente com o ferroaluminato tetracálcico (C_4AF), são responsáveis pela adsorção do aditivo superplastificante pelas partículas do cimento. Ainda segundo EFNARC (2002), para que se tenha o controle de retração do concreto, devido ao alto calor gerado, o consumo de cimento deve estar entre 350 kg/m^3 e 450 kg/m^3 no CAA.

Em resumo, 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, gerando um maior calor de hidratação.

3.5.2 Agregados

A influência dos agregados mostra que eles têm importância na trabalhabilidade das misturas, na resistência, estabilidade e durabilidade do concreto (MEHTA, MONTEIRO, 1994).

Assim, a qualidade do agregado utilizado para a confecção de concretos é de extrema importância, sendo que em algumas situações, o agregado é limitante para a resistência do concreto no estado endurecido (NEVILLE, 1997).

De uma maneira geral as especificações para agregados são as mesmas exigências para o concreto convencional. Recomendam-se que partículas menores que $0,125 \text{ mm}$ devem ser consideradas como material fino da mistura (GOMES e BARROS, 2009).

As composições de CAA possuem elevado volume de pasta (cimento + água) e solicitam de uma minimização do volume de agregados graúdos utilizados, bem como reduções das suas dimensões máximas características (CAVALCANTI, 2006).

A fim de se garantir uma viscosidade adequada no CAA, deve-se reduzir a quantidade de agregado graúdo em função do aumento do teor de partículas finas. A proporção entre agregado graúdo e agregado miúdo é um dos principais fatores que influenciam nas propriedades reológicas do concreto (MELO, 2005).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), o controle de umidade do agregado miúdo deve ser rigoroso, pois aferições erradas da umidade dos agregados é a principal causa de variação de fluidez da mistura, além de alterar as propriedades mecânicas e de durabilidade do CAA.

A quantidade de agregado miúdo que deve ser empregado em razão do volume de sólidos na argamassa, representa valores baixos, entre 40% e 50%, o que evita a redução da deformabilidade motivada pelo contato entre as partículas. Além disso, a utilização de areias muito grossas, com módulo de finura superior a 3,0 podem causar a segregação da mistura e devem ser evitadas (OKAMURA e OUCHI, 2003).

Com relação à dimensão dos grãos, a norma NBR 9935/2005 denomina de fíler todo material granular que passa na peneira de malha 150 μm ; e de material pulverulento as partículas com dimensão inferior a 75 μm .

3.5.2.1 Propriedades dos agregados

Em geral, é uma exigência ter o conhecimento da massa específica, a composição granulométrica e o teor de umidade para a dosagem dos concretos e tem influência significativa nas propriedades do concreto no estado fresco (MEHTA, MONTEIRO, 1994).

A distribuição granulométrica dos agregados é importante visto que quando a distribuição for uniforme, o concreto possuirá maior trabalhabilidade. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a continuidade granulométrica é responsável por diminuir a quantidade de poros no interior do concreto endurecido, o que irá por consequência, melhorar a resistência mecânica do produto final.

Quando o agregado possui uma granulometria descontínua, nota-se problemas nos concretos como a elevação no consumo de cimento, redução da

fluidez e formação de vazios, o que torna sua utilização inapropriada (CHEN et al., 2003 apud MELO, 2005). Neville (1997) ressalta, ainda, que concretos produzidos com agregados distribuídos descontinuamente possuem maior tendência à segregação.

As figuras 7 e 8 apresentam faixas granulométricas dos agregados dadas pela NBR 7211/2005, juntamente com as faixas ideais para o CAA, propostas no método de dosagem de Melo, 2005.

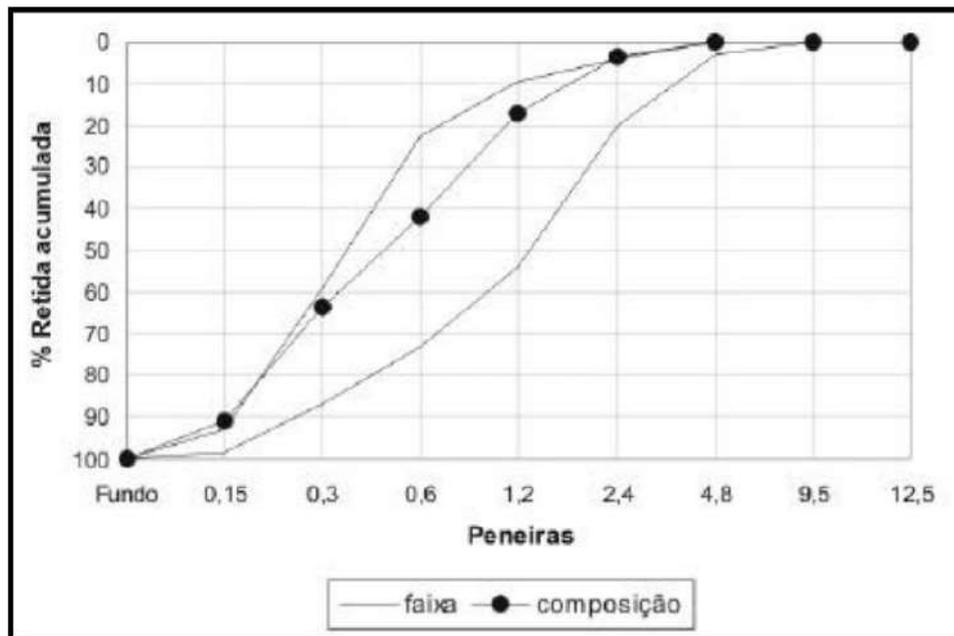


Figura 7 – faixas granulométricas consideradas na literatura, para agregado miúdo. Fonte: Mello, 2005.

Da figura 7, verifica-se que as curvas propostas pelo método de Melo (2005), está dentro dos limites especificados na norma. Verifica-se uma continuidade de do material, o qual é sujeito a utilização em CAA. Assim, agregados com curva granulométrica mais contínua, são facilitadores para que o concreto possua menos teores de vazios, e com a incorporação de partículas menores são utilizados para a promoção de viscosidade adequada.

Para o agregado graúdo, quando um material não é enquadrado dentro das faixas granulométricas referidas pela norma, há a possibilidade de se realizar uma mescla de materiais, assim, como em Melo (2005) fez-se uma mescla entre britas nº 0 e nº1, conforme faixa granulométrica da Figura 8.

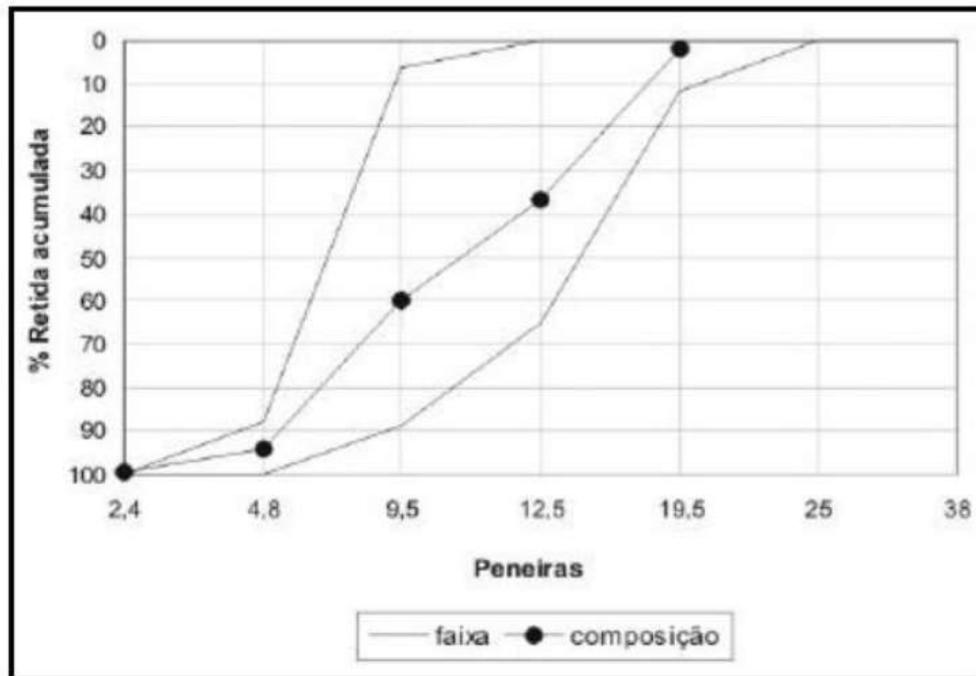


Figura 8 – faixas granulométricas consideradas na literatura, para agregado graúdo. Fonte: Mello, 2005.

3.5.3 Água

De acordo com a ABNT NBR 15823-1:2010, a água para utilização no CAA deve estar de acordo com a ABNT NBR 15900 em especial a parte 1 que define os requisitos.

A quantidade de água a ser utilizada no concreto auto-adensável é definida pela relação a/c (água por cimento) (CAVALCANTI, 2006). Para GOMES (2002) 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 apud LEITE, 2007).

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

Segundo Leite (2007) o CAA no estado endurecido, da mesma forma que para o CCV, a quantidade de água influenciará na resistência mecânica como exposto pela Lei de Abrams. A quantidade de água também influencia na tensão de escoamento

do concreto que é inversamente proporcional a quantidade de água, assim, um aumento de água diretamente repercute no aumento da deformabilidade e na diminuição da viscosidade do concreto.

3.5.4 Aditivos

O uso de aditivos em concretos, pastas e argamassa tem crescido significativamente em todo o mundo. Segundo Mehta e Monteiro (1994), alguns dados mostram que de 70 a 80% de todo o concreto produzido no mundo contenham um ou mais aditivos.

Os aditivos são materiais orgânicos ou inorgânicos, no estado sólido ou líquido, adicionados aos concretos, argamassas ou pastas em quantidades não superiores a 5% sobre a massa de cimento. Esses aditivos interferem na hidratação do cimento, por meio de efeitos químicos ou físicos, modificando assim uma ou mais propriedades do concreto, argamassa ou pasta tanto no estado fresco quanto endurecido (PAILLÈRE et al., 1992 apud Klein, 2008).

Há diversos tipos de aditivos, tendo estes composições químicas diferenciadas e, conseqüentemente, produzindo efeitos individualizados sobre o concreto. Os aditivos mais comumente utilizados são os redutores de água ou plastificantes, redutores de água de alta efetividade ou superplastificantes, incorporadores de ar, aceleradores de pega e retardadores de pega (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Para concretos auto adensáveis, a adição de aditivos superplastificantes são utilizados para se obter a fluidez e a viscosidade desejada para o concreto.

Os aditivos superplastificante exercem sobre o concreto uma função semelhante à exercida pelos aditivos plastificantes: permite reduzir a quantidade de água de amassamento necessária ao concreto sem alterar a consistência do material no estado fresco ou, aumentar a fluidez do concreto fresco sem que para isso seja aumentada a quantidade de água presente na mistura (NEVILLE, 1997).

3.5.5 Adições

A utilização de adições na dosagem do concreto se dá pela busca da otimização do empacotamento mecânico dos componentes, bem como, pelas suas contribuições desejáveis no estado fresco, atuando principalmente sobre a viscosidade e conseqüente resistência a segregação.

Segundo Mehta e Malhotra (1996), os principais benefícios alcançados com a utilização de adições minerais são:

- Ambiental – quando a adição é um resíduo industrial, pois evita que o material seja lançado ao ambiente sem nenhuma finalidade benéfica;
- Econômico – devido à substituição parcial do cimento, o que reduz o consumo de cimento, e conseqüentemente, o custo do m³ do concreto;
- Tecnológico – pela melhora das propriedades do concreto nos estados frescos e endurecidos.

Nas propriedades frescas, com relação à fluidez, quantidade de água e ausência de segregação e/ou exsudação. E nas propriedades do concreto no estado endurecido, pela melhora nas propriedades mecânicas, tais como: resistência, permeabilidade e durabilidade, provocada pelo aumento da quantidade de finos e do refinamento dos poros.

A caracterização e seleção dos materiais utilizados no CAA, com uma grande quantidade de finos para preenchimento dos vazios existentes, é uma grande contribuição para a fluidez do material ESPING (2003).

Com a necessidade do alto teor de finos para a produção do CAA, o uso de adições minerais é importante, tendo em vista os seguintes fatores:

- Contribui para a diminuição da dosagem do cimento;
- Reduz o calor de hidratação e evita a presença de fissuras internas no concreto;
- Melhora o comportamento da microestrutura do concreto, preenchendo assim os poros de menor escala e aumentando a viscosidade, o que reduz a fricção entre os agregados, e conseqüentemente, aumenta a resistência à segregação e/ou exsudação.

Das propriedades relacionadas a dimensões dos grãos dos finos, uma que se destaca é a superfície específica. Segundo Nunes (2001), quanto maior a superfície

específica dos finos, maior a viscosidade da mistura. No CAA, a dimensão das partículas das adições minerais utilizadas tem tido uma influência importante no alcance de suas propriedades.

3.6 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

As propriedades do concreto no estado fresco é o que diferenciam o CAA dos CVV, sendo assim, o controle dessas características é importante para obter um material de qualidade e um desempenho satisfatório durante a vida útil do concreto.

Como visto anteriormente, segundo RILEM (2006), as propriedades fundamentais para o CAA são:

- ✓ Habilidade de preenchimento;
- ✓ Habilidade de Passagem;
- ✓ Resistência à segregação ou estabilidade.

A tabela a seguir, apresenta as propriedades exigidas ao CAA no estado fresco juntamente com os mecanismos que governam essas propriedades (GOMES, 2002).

Tabela 2 – Propriedades e mecanismos que governam o CAA, no estado fresco

PROPRIEDADE	MECANISMO QUE GOVERNAM
Habilidade de preenchimento	Fluidez elevada e coesão da mistura
Habilidade de passagem	Viscosidade moderada da pasta e argamassa Propriedades dos agregados, em especial, dimensão máxima do agregado graúdo
Resistência à segregação ou estabilidade	Viscosidade e Coesão da mistura

Fonte: GOMES, (2002).

3.7 MÉTODOS DE DOSAGEM

O método de dosagem tem por objetivo a determinação de uma combinação mais adequada, ou seja, uma combinação técnica e economicamente mais adequada dos materiais que constituem o CAA (AÏTCIN, 2000).

Há diversos métodos de dosagem para o proporcionamento do CAA. Como o de Gomes, 2002; Melo, 2005; EFNARC, em 2005; Tutikian, 2007.

Contudo, muitos estudos para o desenvolvimento de métodos de dosagem do CAA têm sido criados, buscando principalmente atender as habilidades de fluir com estabilidade e garantir a ausência de segregação do concreto. Através de alguns estudos do CAA a respeito do seu comportamento reológico, possibilita a aplicação de métodos de dosagem mais técnicos, racionais e precisos (GOMES e BARROS, 2009).

Para Cavalcanti (2006), além dos aspectos relacionados com a fluidez do concreto, um ponto fundamental para o desenvolvimento dos traços de concreto auto adensável é a capacidade deste concreto passar entre obstáculos sem ocorrer bloqueio e resistência à segregação.

3.7.1 Método de Dosagem Proposto por Repette-Melo (2005).

O método de dosagem Repette-Melo baseia-se no estabelecimento de composições de CAA para resistências à compressão previamente requeridas, estando estas resistências entre 20 e 45 MPa. A descrição do método se encontra em Repette (2005) e Melo (2005).

Em resumo o método divide-se em ensaios em pasta, argamassa e concreto, de modo que os materiais constituintes são definidos em cada uma destas etapas. Primeiramente, inicia-se a dosagem determinando-se a relação água/cimento a ser utilizada, com base no tipo de cimento empregado e nas resistências requeridas. A seguir, define-se a relação finos/cimento para cada relação água/cimento estabelecida, buscando corrigir a instabilidade da pasta, através da eliminação de exsudação e segregação, com a adição de materiais finos.

Assim, passa-se, então, ao estudo da argamassa, onde se determina os teores de agregado miúdo e de aditivo superplastificante. Nesta etapa, ajustam-se os teores buscados apenas para a relação água/cimento intermediária, sendo o valor encontrado utilizado, também, para as relações água/cimento dos extremos.

Devido ao uso do aditivo superplastificante, a quantidade de adição definida na pasta pode ser aumentada, para que sejam obtidas misturas mais econômicas.

Para os estudos em concreto, determina-se o teor de agregados graúdos da mistura. São realizados os ensaios de *slump flow*, funil em V e caixa em L, ajustando-se o teor de aditivo para que se atinjam os requisitos exigidos sempre que houver

perda nas propriedades de auto-adensabilidade, devido ao aumento de agregado. Os limites de aceitação para o CAA, de acordo com o método proposto são apresentados na tabela 03, descrita por Melo (2005):

Tabela 3 – Limites de aceitação do CAA

MÉTODO DE ENSAIO	VALORES ACEITÁVEIS PARA O CAA
Espalhamento (d)	600 a 700 mm
Funil-V (t)	< 10 s
Caixa-L (H ₂ /H ₁)	≥ 0,8 s

Fonte: Melo (2005)

3.7.2 Método da EFNARC 2005

A EFNARC (*The European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*) foi fundada em 1989, na Europa, desde sua criação já era apresentada como uma das principais associações mundiais que estudam e desenvolvem novas tecnologias de concreto.

Estas novas tecnologias desenvolvidas têm ganhado maior força e intensidade ao longo dos últimos anos, haja visto a quantidade de desenvolvimentos e de programas de CAA no mundo (LISBÔA, 2004; CAVALCANTI, 2006).

Para cada especificação de cada um dos componentes do CAA, existem algumas recomendações e avaliações características para cada situação.

Com relação ao cimento a EFNARC, aconselha-se que seu consumo esteja na faixa de 350kg/m³ a 450kg/m³, para que o concreto não seja submetido a retrações excessiva. Os finos devem possuir dimensão menor que 0,125 mm, se assim não ocorrer devem ser usados agentes reguladores de viscosidade (CAVALCANTI, 2006).

O método é criterioso na orientação com relação às propriedades a serem estudadas na mistura do seu estado fresco, tais como, capacidade de preenchimento, capacidade de passagem entre obstáculos e resistência à segregação. No Quadro 3, apresenta-se alguns dos ensaios recomendados pela EFNARC juntamente com a propriedade a ser testada.

Quadro 3 – Lista de testes e demais informações para o CAA

	Teste	Propriedade testada	Unidades	Faixas típicas	
				Mínimo	Máximo
1	Espalhamento no Cone Abrams	Habilidade de enchimento	mm	650	800
2	T _{500 mm}	Habilidade de enchimento	seg.	2	5
3	Funil-V	Habilidade de enchimento	seg.	6	12
4	Orimet Filling ability	Habilidade de enchimento	seg.	0	5
5	Anel-Japonês	Habilidade de passagem	mm	0	10
6	Caixa-L	Habilidade de passagem	H2/H1	0,8	1
7	Caixa U	Habilidade de passagem	(H2/H1)mm	0	30
8	Fill-box	Habilidade de passagem	%	90	100
9	Funil-V para T _{5min}	Resistência a segregação	seg.	0	3
10	GTM	Resistência a segregação	%	0	15

Fonte: EFNARC, 2005.

3.7.3 Método de dosagem de Tutikian (2007)

Tutikian (2007) propôs um método de dosagem para CAA, cujo esquema de procedimento está mostrado na Figura 9. A dosagem realizada neste método é experimental; inicialmente é feita a escolha dos materiais a serem adotados na mistura, e o empacotamento granular máximo dos agregados. Determina-se a relação água/cimento ou o teor de aditivo superplastificante para o traço intermediário, sendo os ajustes da mistura feitos experimentalmente.

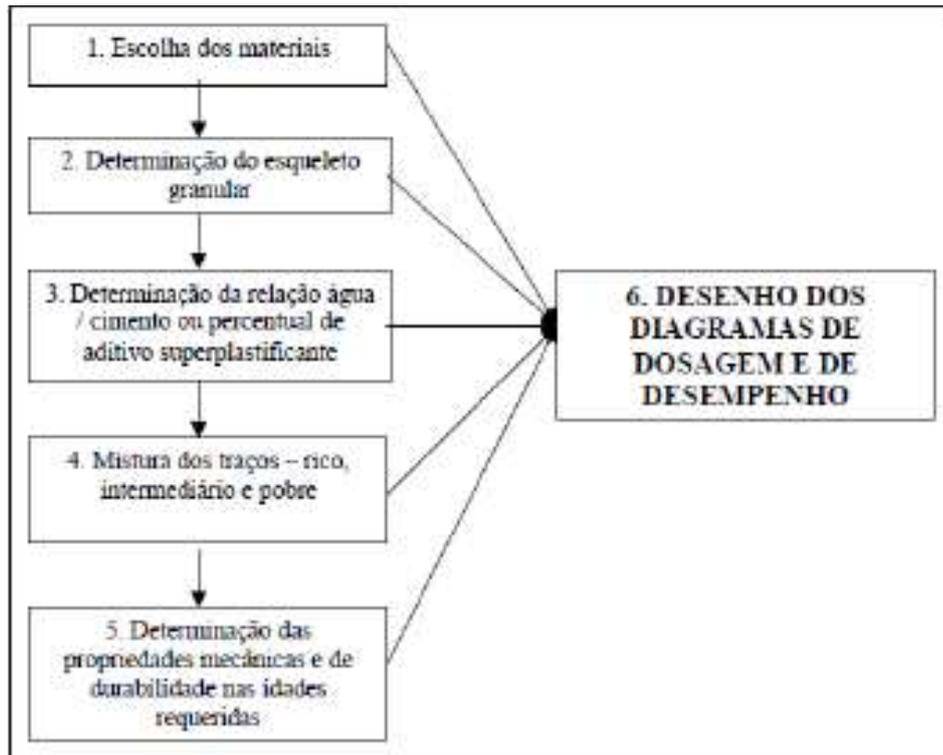


Figura 9 – Esquema do procedimento do Método de dosagem de Tutikian (2007)
Fonte: TUTIKIAN, 2007

3.7.4 Método de Gomes (2002)

O método proposto por Gomes (2002) foi desenvolvido com o propósito de gerar um concreto auto-adensável de alta resistência designado de CADAR. O método em seus critérios define a busca pelo atendimento de uma resistência mínima a compressão e por uma série de cumprimento de requisitos técnicos do concreto no seu estado fresco. Na sua lógica, objetiva-se o uso de quantidades mínimas de superplastificantes e cimento.

No desenvolvimento da metodologia são observadas duas fases distintas, tratadas individualmente, que se combinam posteriormente na etapa de geração do concreto. Trata-se do estudo do esqueleto granular e o estudo da pasta de cimento, que são otimizadas individualmente, a fim de se obter as propriedades desejadas do composto final de CADAR.

Na Figura 10, apresenta-se o fluxograma das principais atividades propostas na determinação do CADAR por Gomes (2002):

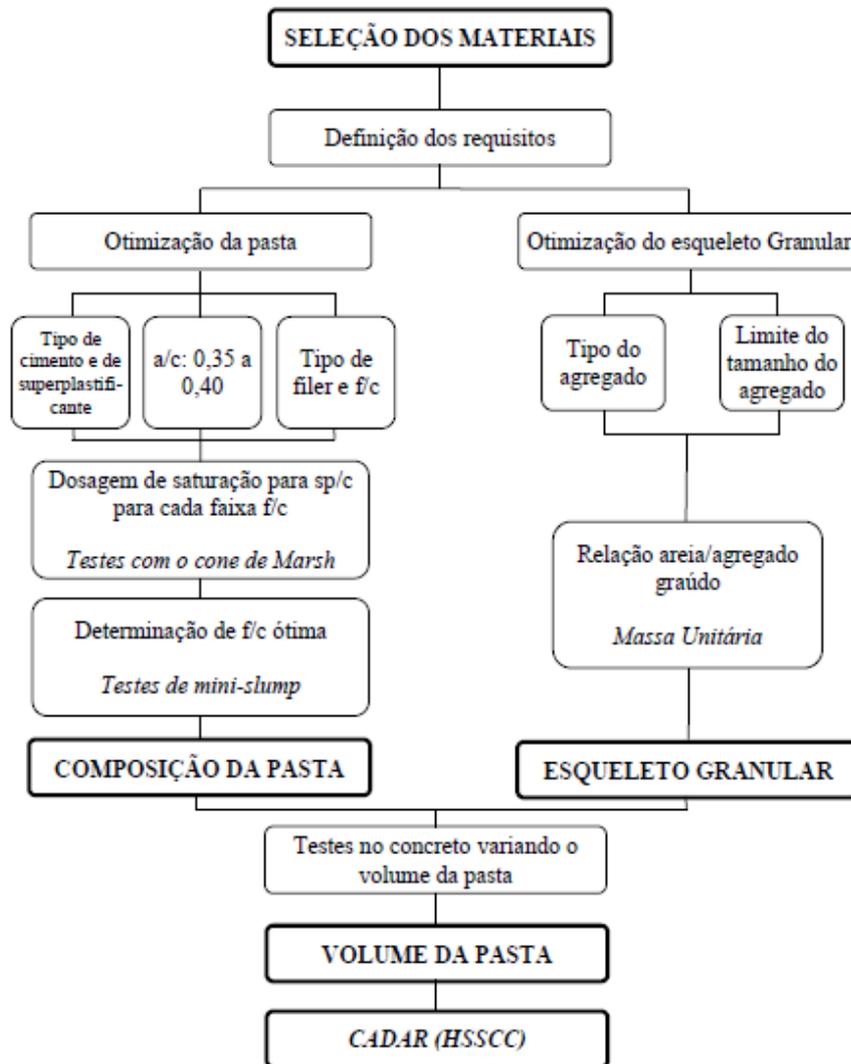


Figura 10 – Fluxograma das principais atividades propostas na determinação do CADAR.

Fonte: Gomes (2002).

Assim, para realizar a composição ótima da pasta, é realizado o ensaio do Funil de Marsh e o ensaio do *mini Slump*. Através destes ensaios, busca-se a definição das relações a/c, sp/c e f/c, de tal maneira que se mantenha a coesão com controle de sua segregação e ao mesmo tempo a sua fluidez. Também, para avaliar a capacidade de espalhamento de argamassa auto-adensáveis, faz-se o ensaio do tronco de Cone (*mini Slump*).

Com relação aos critérios de aprovação e classificação dos concretos como auto-adensáveis, nos ensaios realizados, são seguidos os parâmetros da ABNT NBR 15823-1:2010, complementados pelos parâmetros de Gomes e Barros (2009), apresentados no Quadro 4.

Nesta pesquisa, para a classificação de um concreto como auto-adensável era necessário que o mesmo obtivesse classificação conforme em todos os ensaios realizados, por pelo menos um dos dois critérios exemplificados no quadro abaixo.

Quadro 4 – Faixa de parâmetros para ensaios de auto adensamento

Método de ensaio	Propriedade investigada	Parâmetros			
		Classe	Unidade	ABNT 15823-1:2010	Gomes e Barros (2009)
TESTE DE ESPALHAMENTO	Espalhamento (Slump flow)	SF 1	mm	550 a 650	600 a 800
		SF 2		660 a 750	
		SF 3		760 a 850	
	Viscosidade plástica aparente t500 sob fluxo livre	VS 1	s	≤ 2	2 a 7
VS 2		> 2			
CAIXA – L	Tempo de escoamento TL20	TL20	s	-	≤ 2
	Tempo de escoamento TL40	TL40	s	-	≤ 4
	Habilidade passante pela Caixa-L	PL 2 (com três barras de aço)	(H2/H1)	≥ 0,8	≥ 0,8
FUNIL – V	Viscosidade plástica aparente (fluidez)	VF 1	s	< 9	6 a 15
		VF 2	s	9 a 25	

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2006).

3.8 DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS

3.8.1 Slump Flow Test

O *Slump Flow Test*, também conhecido como ensaio de espalhamento, tem a função de determinar a fluidez e a deformabilidade do CAA.

No concreto, o ensaio é realizado através do cone de Abrams (Figura 11.a), utilizado para medir o abatimento, porém, no caso de pastas auto-adensáveis, o ensaio denomina-se *mini Slump*, pelo fato de utilizar um molde parecido com o cone de Abrams, mas com dimensões reduzidas, conforme a Figura 11.b (MELO, 2005).

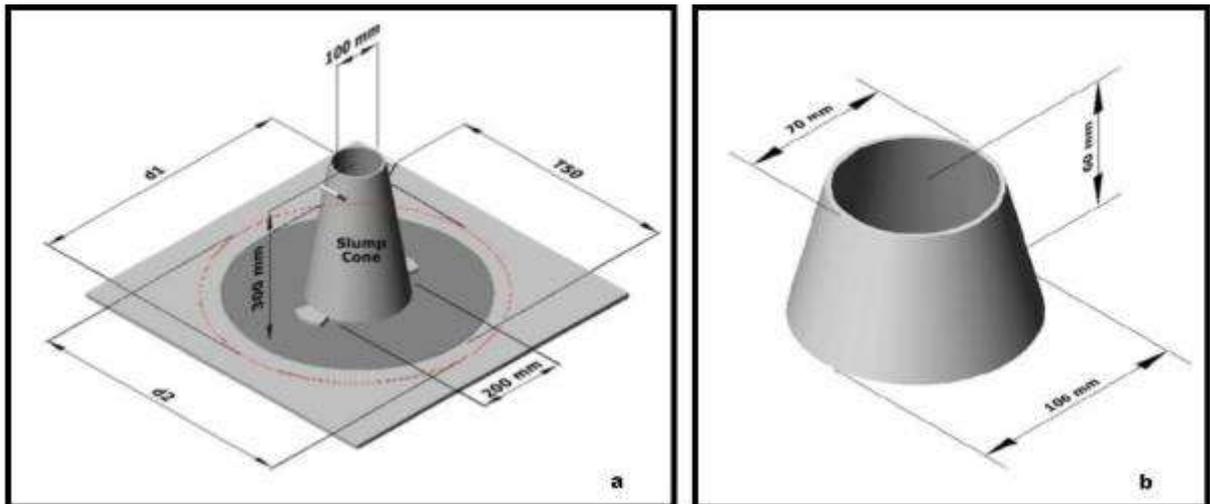


Figura 11 – (a) Cone de Abrams; (b) tronco de cone (*mini Slump*)
 Fonte: Adaptado de Cavalcanti, 2006

No ensaio de *Slump flow*, porém, devido à alta fluidez do concreto, mede-se o espalhamento do concreto após a retirada do cone e não o abatimento.

Para Alencar (2008), o ensaio do *Slump flow* também possibilita avaliar visualmente o aspecto do material quanto a ocorrência ou não de exsudação – que é avaliada verificando-se a presença de uma camada fina de água ao redor da região espalhada –, e segregação da mistura – avaliada conforme a uniformidade da borda, de acordo com a figura 12.

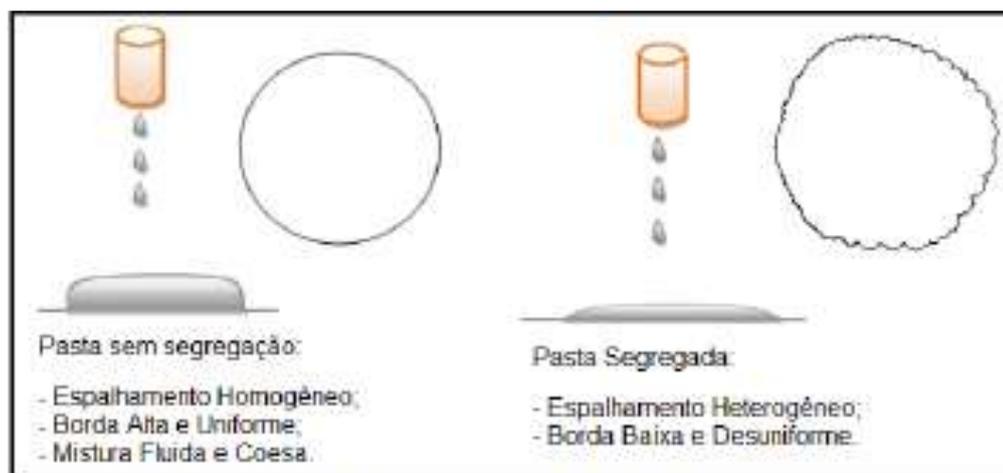


Figura 12 – análise visual da borda da pasta após escoamento
 Fonte: Hasse, 2014.

3.8.2 Cone de Marsh

Ensaio este realizado em pastas auto-adensáveis para a verificação da fluidez e trabalhabilidade da mesma.

O ensaio do cone de Marsh, figura 13, baseia-se em um funil pelo qual a mistura escoa, cronometrando-se o tempo para o escoamento de um determinado volume de pasta.

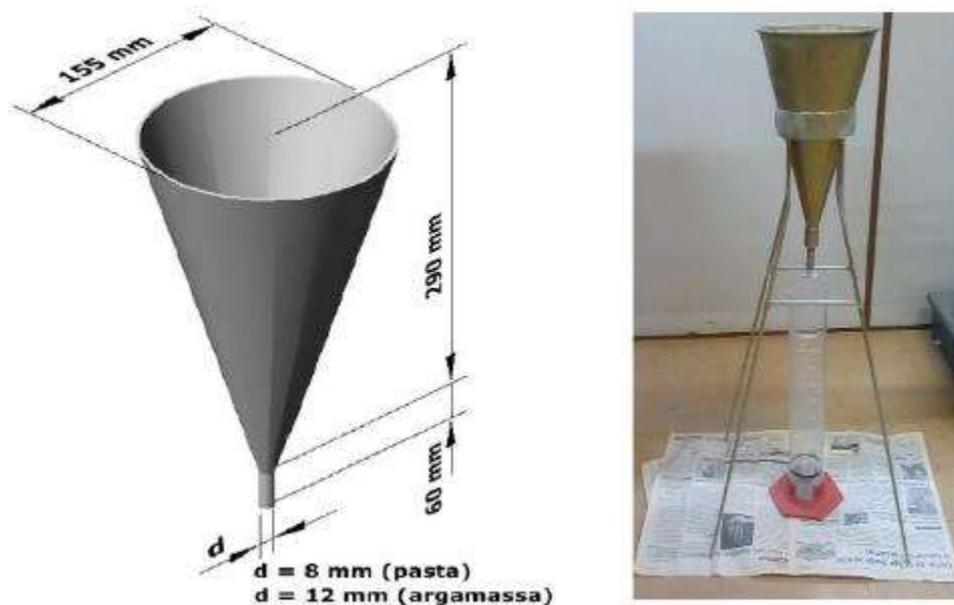


Figura 13 – Ilustração do Cone de Marsh
Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2006) e o Autor (2015).

Neste ensaio busca-se avaliar a capacidade da pasta auto-adensável em fluir através de áreas restringidas, isto é, de pequenas aberturas na direção vertical, mediante seu peso próprio. É possível a avaliação da tendência à segregação e bloqueio mediante observação da variação da velocidade de fluxo.

Recomenda-se 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 (RONCERO, 2002). Segundo Melo (2005), acrescenta-se superplastificante até que o tempo para escoamento entre uma adição e outra apresente variação menor que um segundo.

3.8.3 Caixa L (L-box test)

O ensaio da caixa L (*L-box test*) busca avaliar a capacidade do CAA escoar e resistir ao bloqueio entre as armaduras e as laterais com a armadura – habilidade passante – (ABNT NBR 15823-4:2010; REPETTE, 2005). O método descrito foi baseado na proposta de Gomes (2002) com respaldo nas informações da ABNT NBR 15823-3:2010.

A caixa L, ilustrada na figura 14, é um dos ensaios mais exigentes para a avaliação do desempenho do CAA no estado fresco (REPETTE apud ISAIA, 2005).

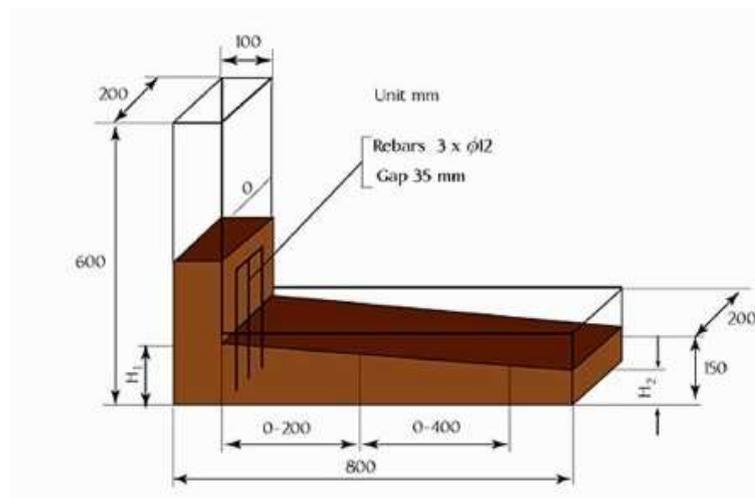


Figura 14 – Esquema básico da Caixa L
Fonte: Tutikian, 2008

A caixa em L é constituída por um depósito vertical com uma abertura para um canal horizontal, sendo esta abertura fechada por uma comporta, que se abre para a passagem do concreto, conforme figura acima. Atrás dessa comporta são colocadas barras de armaduras espaçadas umas das outras a uma distância mínima de três vezes o tamanho máximo do agregado graúdo utilizado, segundo recomendações de Efnarc (2002) e Gomes (2002).

A avaliação visual do concreto traz informações do seu comportamento. Quando há um acúmulo de agregado graúdo junto às barras de restrição indica que o concreto tem baixa capacidade de passar por bloqueio e coesão insuficiente para mover-se homoganeamente ao redor de obstáculos; demonstrando falta de argamassa e agregado graúdo com tamanho maior que o ideal (REPETTE apud ISAIA, 2005).

Quando o concreto entra em repouso, mede-se as alturas nos dois extremos do canal horizontal, sendo h_1 próxima à comporta e h_2 ao final do canal, conforme a figura 14 de modo que a razão h_2/h_1 é definida como o coeficiente de bloqueio, e que, de acordo com GETTU et al. (2004) esta razão deve ser superior a 0,80 para que a resistência ao bloqueio do concreto seja considerada satisfatória. Para EFNARC (2002), o coeficiente de bloqueio deve ser superior a 0,80 e inferior a 1,00.

3.8.4 FUNIL V (*V-funnel*)

De forma análoga ao cone de Marsh, o ensaio no funil V, tem a função – agora para o Concreto Auto-adensável –, de avaliar a capacidade de o concreto escoar e de passar por áreas restringidas (pequenas aberturas) (REPETTE apud ISAIA, 2005).

Através deste ensaio, é possível avaliar a tendência à segregação e bloqueios mediante a observação da variação da velocidade de fluxo.

A ABNT NBR 15823-5 (2010) prescreve o ensaio do funil V para a determinação da viscosidade do CAA, em função do tempo de escoamento do concreto através do funil V.

A Figura 15 ilustra o esquema do aparato recomendado para o ensaio.

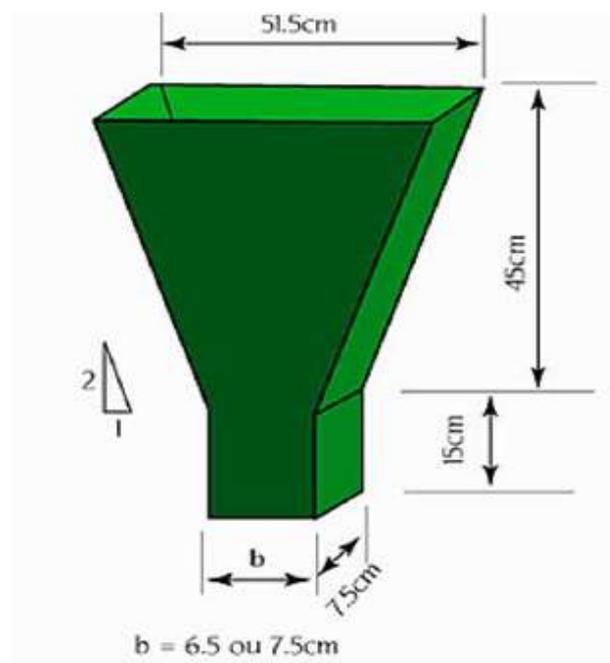


Figura 15 – Esquema básico do funil V.
Fonte: Tutikian, 2008.

Para realização do ensaio, preenche-se o interior do funil com CAA. Registra-se o tempo necessário para o escoamento do concreto pela abertura inferior do funil. Durante a tomada de tempo, deve-se observar o interior do funil, de modo que a contagem do tempo é encerrada ao primeiro sinal de luz na abertura da base. Para funil de seção retangular de 65 x 75 mm – conforme figura acima – considera-se que o tempo de fluxo é adequado quando varia de 5 a 25 segundos, segundo Gettu et al. (2004) e de 6 a 12 segundos, de acordo com Efnarc (2002). Para Lisbôa et al. (2005), esta faixa admissível pode ser de 6 a 13 segundos. Gomes (2002) indica para este controle o tempo de 7 a 13 segundos.

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Cimento Portland CP V – ARI

O cimento Portland CP V – ARI (cimento Portland de alta resistência inicial) apresenta densidade de $3,12 \text{ g/cm}^3$ e, devido a disponibilidade, foi utilizado o cimento da empresa Itambé.

Tal cimento foi escolhido por apresentar uma maior área específica com cerca de $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ de cimento (NBR 5733/91).

Obter uma maior área implica em possuir uma maior finura, cimento do tipo CP V – ARI contribuem para um aumento da fluidez em concretos (NUNES, 2001).

Assim, como o CAA se trata de um concreto de alta resistência, empregou-se esse tipo de cimento pois como característica ele possui um maior calor de hidratação, ele ganha resistência já nas primeiras idades, e continua ganhando após os 28 dias atingindo valores mais elevados que os demais (ITAMBÉ, 2015).

4.1.2 Agregado miúdo: areia natural

A areia utilizada nesta pesquisa foi areia natural quartzosa proveniente de fundos de rios. Optou-se por este tipo de areia por ser a mais usual na confecção de argamassas e concretos e, por isso, como objetivo do estudo é a utilização da areia de fundição, preferiu-se manter os materiais usualmente utilizados, afim de não interferirem nos resultados.

Os ensaios de caracterização, podem ser verificados no Apêndice A do presente trabalho.

Pode-se, através da Figura 16, comparar a faixa granulométrica do agregado miúdo utilizado com a granulometria proposta por Melo (2005), como recomendação.

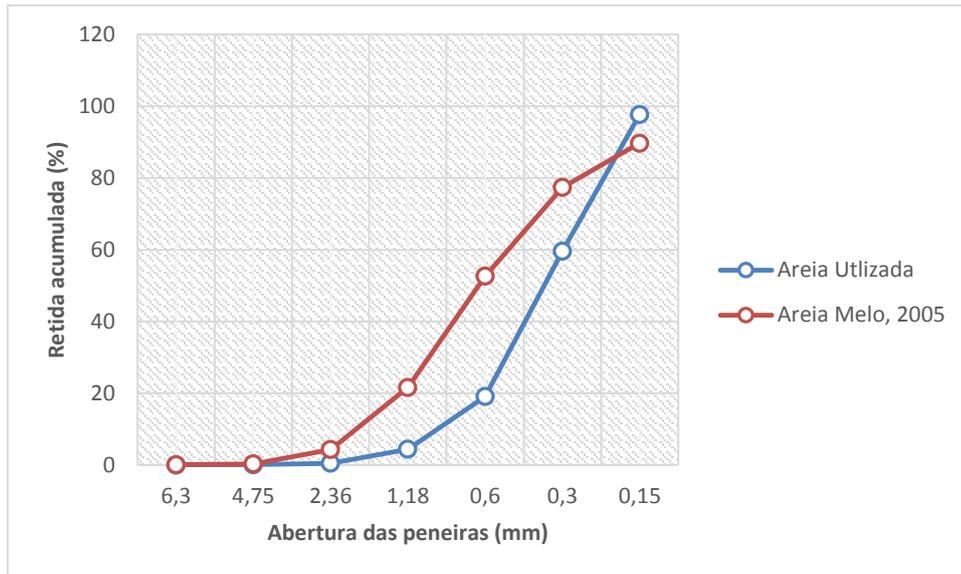


Figura 16 – curva granulométrica do agregado miúdo utilizado e do agregado miúdo proposto por Melo (2005)

Fonte: O Autor, 2015.

Observa-se que ambas as faixas granulométricas estão dentro dos limites estipulados pela NBR NM 248:2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Porém, mesmo não sendo curvas semelhantes, pode-se considerar que a areia natural a ser utilizada como agregado miúdo nesta pesquisa é aplicável em concreto auto adensável (CAA).

4.1.3 Agregado graúdo: brita

Assim como para o agregado miúdo, buscou-se utilizar um material graúdo comumente utilizado na confecção de concretos, com o intuito de não se alterar as propriedades do concreto produzido.

Sabe-se que para o CAA, é utilizado britas com sua dimensão máxima característica ($d_{máx}$) de no máximo 19 mm – classificada como brita nº1. Contudo, neste trabalho, devido a disponibilidade preferiu-se trabalhar com uma dimensão característica inferior, isto é, a brita de número 0, afim também de melhorar o empacotamento dos agregados.

Pode-se analisar os resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo no Apêndice A deste trabalho.

Através o ensaio granulométrico, se observou que o material ensaiado não era apenas classificado como brita 0, com dimensão máxima característica de 9,5 mm, mas sim uma mescla de materiais, onde parte do material, passou da peneira 4,75mm, o que já o classifica como material miúdo.

Com isso, mesmo ocorrendo esta mescla, comparou-se a faixa granulométrica encontrada com a faixa granulométrica recomendada pela literatura, proposta por Melo (2005), conforme Figura 17.

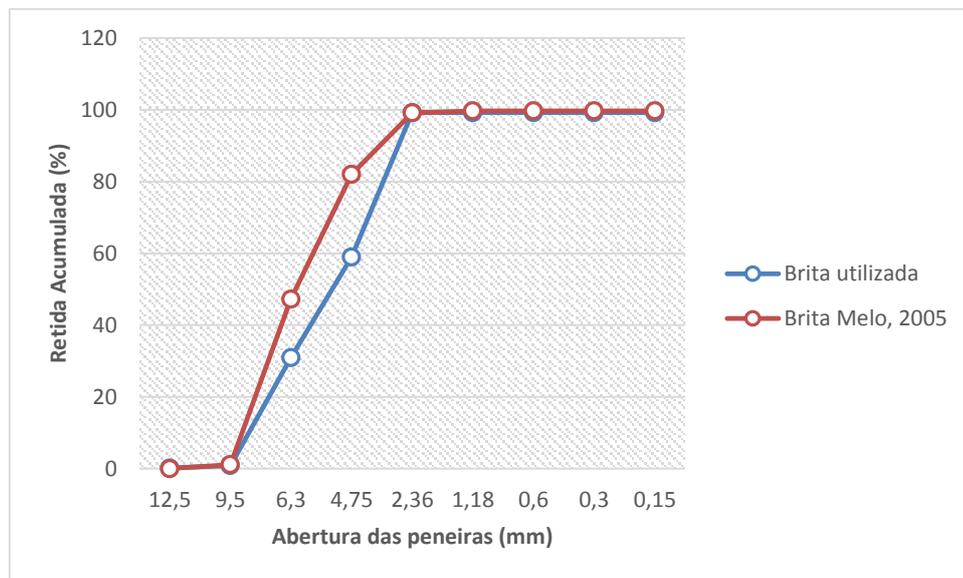


Figura 17 – curva granulométrica da mescla do agregado graúdo utilizado e do agregado proposto por Melo (2005)

Fonte: O Autor, 2015.

Assim, visto que o material é uma mescla, e segundo o método de dosagem a ser utilizado nesta pesquisa – Método de Gomes (2002) –, há a necessidade de se realizar o esqueleto granular dos agregados, assim, pode-se, caso necessário, corrigir os teores de cada material de acordo com o índice de vazios proveniente deste ensaio.

4.1.4 Aditivo

Segundo Metha e Monteiro (2008), os superplastificantes são capazes de reduzir de 3 a 4 vezes a água de amassamento de uma determinada mistura de concreto quando comparado aos aditivos redutores de água, além de que, devido a sua composição química, os aditivos superplastificante são considerados ótimos fluidificantes, isto é, são capazes de elevar acentuadamente a fluidez de um sistema.

Dessa maneira, os aditivos superplastificantes mais aconselháveis na produção de CAA são os de 3ª geração até os de 4ª geração, compostos por éteres policarboxílicos, que propiciam elevada redução de água e aumentam a eficácia na produção de concretos fluidos e que não necessitam de maior tempo de trabalho para aplicação e com requisitos de alta resistência inicial.

Assim, para a produção desta pesquisa, fez-se o uso do aditivo superplastificante MasterGlenium® 3400, da marca BASF, cuja dosagem recomendada é de 0,2% a 1,2% em relação a massa de cimento.

Este produto visa o controle reológico do concreto, além da elevada redução de água, melhoria na trabalhabilidade, e contribui de forma significativa para obter-se resistências iniciais superiores, o que a curto e longo prazo, auxiliar no aumento da durabilidade dos concretos (BASF, 2014).

Portanto, concretos produzidos com este aditivo, por apresentarem características como alta resistência inicial, maior facilidade no lançamento e uma mínima exsudação são altamente indicados para a confecção do CAA desta pesquisa.

4.1.5 Adição: Areia de descarte de Fundição (ADF)

Visto que as adições minerais incorporadas ao concreto são materiais finamente moídos, que são geralmente utilizados com a finalidade de reduzir os custos, melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco, podendo até melhorar a sua resistência à fissuração térmica, à expansão álcali-agregado e ao ataque por sulfatos (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O uso de resíduos industriais como materiais finos, em pastas, argamassas e concretos, geralmente proporcionam uma melhora das suas propriedades nos estados fresco e endurecido (GOMES, 2002).

Atualmente, motivados por tais resultados, o uso de resíduos provenientes de indústrias têm sido também indicador para seu uso no concreto, e, no presente trabalho, a utilização do resíduo gerado pela indústria metalúrgica, a areia de descarte de fundição (ADF), será o objeto de estudo, a qual incorporada ao concreto pretende-se controlar fenômenos de exsudação e segregação.

A areia de descarte de fundição (ADF) mostrada na Figura 18, da qual se obtêm o material fino utilizado neste trabalho foi doado pela empresa Fundição Tonetti Ltda. da cidade de Pato Branco – PR.



Figura 18 – Areia de Descarte de Fundição (ADF)
Fonte: O Autor, 2013.

Assim, a obtenção do material fino se deu através de peneiramento com o objetivo de se obter as partículas passantes na peneira de nº 200, com abertura de 75 μm . Porém, ao analisar a caracterização do material, que pode-se visualizar no Apêndice A do presente trabalho, optou-se por utilizar o material passante na peneira com abertura de 150 mm, devido também ao fato da necessidade de uma grande quantidade de areia de descarte de fundição para se recolher pouco material passante na peneira 200. Assim, visando a otimização, utilizou-se o material passante na peneira 150, isto porque obteve-se pouco material passante na peneira 0,075 mm.

A massa específica (γ) encontrada para o material obtido foi de 2,185 g/cm³.

A curva granulométrica obtida pode ser observada na Figura 19 a seguir.

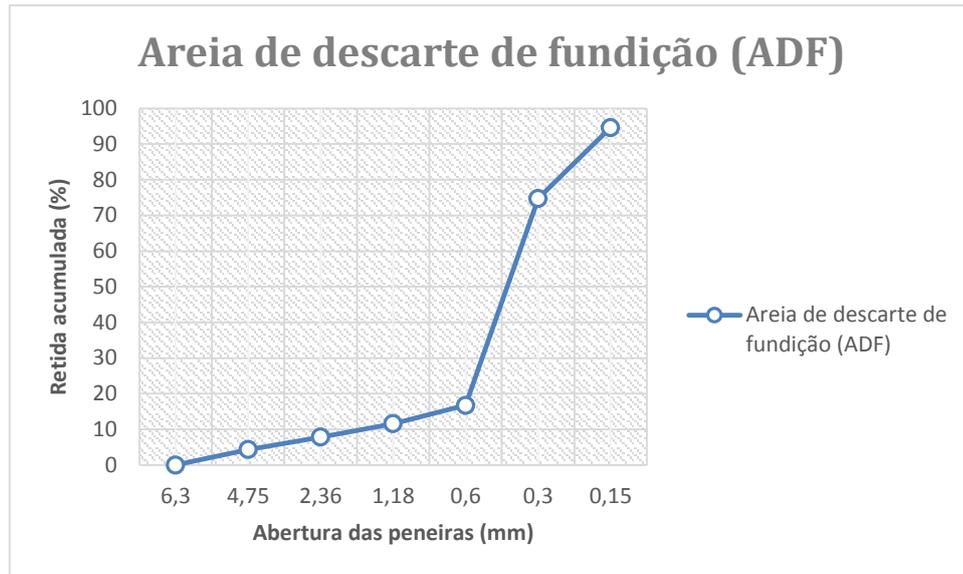


Figura 19 – Curva Granulométrica da Areia de descarte de Fundição (ADF)
Fonte: O Autor, 2015

Como caracterização do material já peneirado e separado, fez-se junto ao Laboratório de Análise de Solos da UTFPR – Campus Pato Branco, o ensaio de suas propriedades físicas, de acordo com a necessidade para viabilizar o material a ser estudado, pois sabendo que a areia de fundição é um produto composto. Os resultados dessa análise física se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 – Análise física do Fino da Areia de Descarte de Fundição (ADF)

ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)
< 0,002 mm	0,002 < d < 0,058 mm	> 0,058 mm
14,40	16,90	68,70

Fonte: Laboratório de Análises de Solos UTFPR (2013)

Como o material possui uma granulometria fina, devido aos componentes que o formam, e, pelos ensaios de granulometria e físicos apresentados acima, pode-se dizer que o material está apto para ser utilizado em CAA como adição.

Assim como para os agregados, gráudo e miúdo, o material obtido através do peneiramento foi secado em estufa a uma temperatura de aproximadamente 105°C por pelo menos 24 horas, isto para que o mesmo não fosse influenciado pela umidade e viesse a alterar e comprometer os resultados do estudo.

4.2 ELABORAÇÃO DO CAA

Para alcançar os objetivos dessa pesquisa, foi primeiramente realizado uma revisão bibliográfica acerca das características, dos métodos de dosagem e dos procedimentos para a avaliação do CAA.

A dosagem escolhida para a produção do CAA, foi a proposta por Gomes (2002), já revisada na bibliografia deste trabalho. O procedimento de dosagem propõe o esqueleto granulométrico para os agregados através do teste de compacidade. Os resultados desse teste podem ser verificados no Apêndice B do presente trabalho.

Através da metodologia de Gomes (2002) também se verifica a quantidade de finos ideal em relação a massa de cimento, fazendo com que seja utilizado uma quantidade racionalizada de material. Esta metodologia assume também que o comportamento da fluidez do concreto é amplamente dirigido pela fluidez encontrada nos estudos em pasta, podendo ser encontrada pela otimização separada da composição da pasta e do esqueleto granular, e o volume definido no concreto (GOMES, 2002).

Com base no método adotado, elaborou-se um fluxograma da sequência da pesquisa, apresentado na Figura 20.

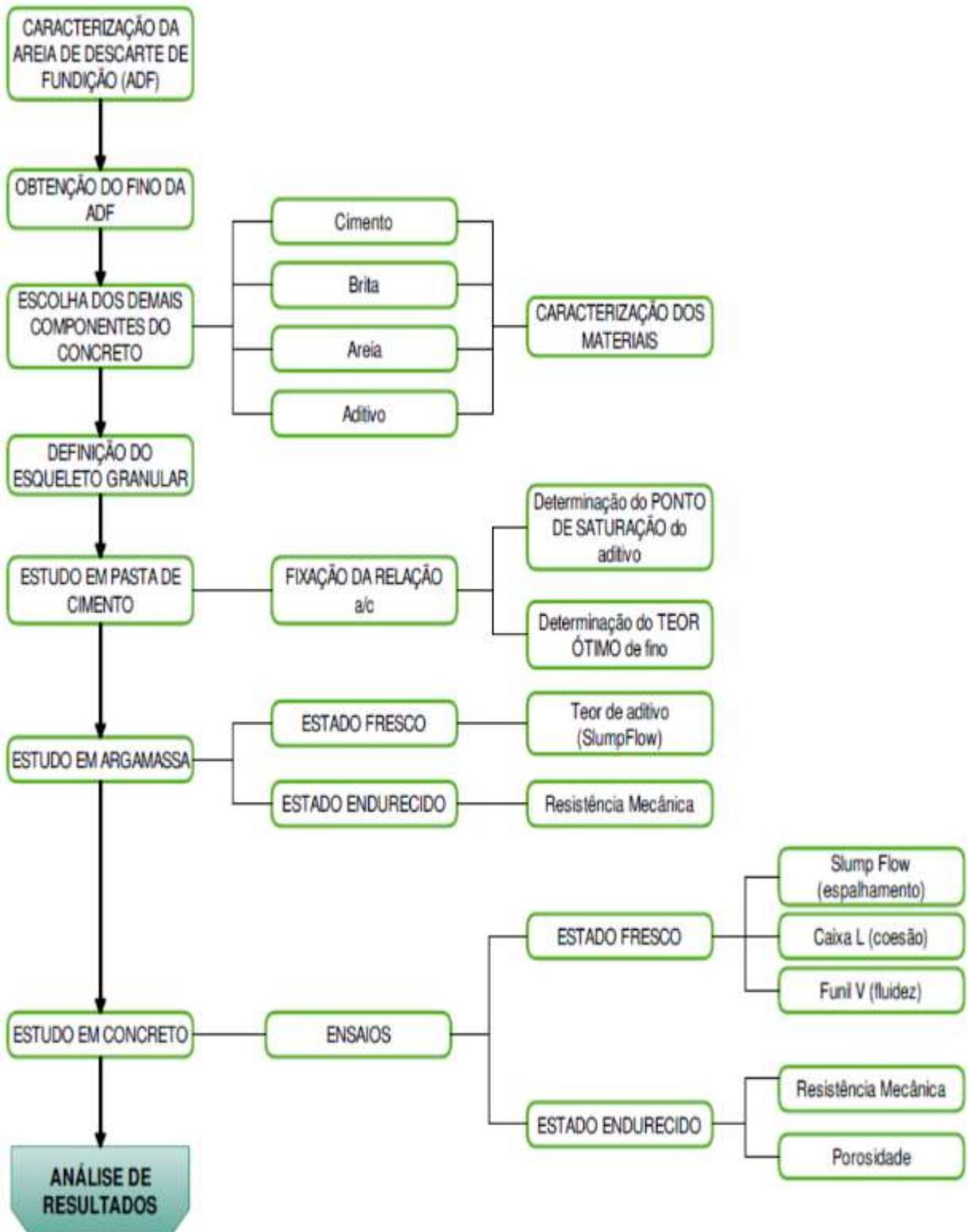


Figura 20 – Fluxograma das etapas da pesquisa
 Fonte: o Autor, 2015.

4.2.1 Estudo em Pasta

Para os ensaios em pasta, buscando a otimização dos materiais envolvidos, foi definido a relação água/cimento (a/c) e os teores de aditivo e adição necessários para a auto adensabilidade da mistura.

4.2.1.1 Definição da Relação água/cimento (a/c)

Definiu-se a relação água/cimento com base no escoamento da pasta no cone de Marsh. Para isso, foi necessário determinar uma relação a/c onde a pasta fosse fluida o suficiente para escoar no cone mesmo sem o incremento do aditivo superplastificante.

Ao adicionar o aditivo superplastificante, o tempo mensurado para o escoamento de 200 ml da pasta produzida deve estar por volta de três segundos, pois, quando inferior, torna a aferição do tempo imprecisa.

Assim, fixou-se a relação a/c em 0,40 com base na literatura do método utilizado (de Gomes, 2002), onde o mesmo indica uma relação entre 0,35 a 0,40.

4.2.1.2 Definição do Teor de aditivo superplastificante

Inicialmente fez-se uma mistura tomada como base, sem o uso de aditivo-superplastificante, ensaiando-a no tronco de cone (*mini Slump*), e no cone de Marsh, afim de tomarmos como a pasta de referência.

A mistura foi preparada na seguinte sequência com o auxílio da argamassadeira mecânica (Figura 21).



Figura 21 – Argamassadeira Mecânica
Fonte: O Autor, 2014

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

Após o preparo da mistura, realizou-se os ensaios no cone de Marsh verificando a influência que o aditivo superplastificante tem no tempo de escoamento da pasta, isto é, na fluidez da mistura.

O procedimento do ensaio foi descrito por Roncero (2000), onde adiciona-se inicialmente 800 ml de pasta ao cone e em seguida cronometra-se o tempo para que 200 ml de pasta escoem, medidos em um recipiente graduado.

Após o ensaio do cone de Marsh, realizou-se o ensaio do *mini Slump*, que consiste no preenchimento do tronco de cone sob uma superfície plana, sem qualquer forma de adensamento; em seguida, o tronco de cone é levantado perpendicularmente a superfície, resultando no espalhamento da pasta. Ao cessar o espalhamento, mede-se o diâmetro da pasta. Também neste ensaio, foi observado de forma visual, a ocorrência ou não de segregação e/ou exsudação na pasta.

Inicialmente, empregou-se uma quantidade de aditivo igual a 0,05% da massa de cimento, e o ensaio se deu na seguinte sequência:

- Adição do aditivo superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo o aditivo em vários pontos da mistura, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica durante trinta segundos, com velocidade baixa;
- Mistura manual durante trinta segundos, retirando material sedimentado no fundo sempre que necessário;
- Mistura mecânica durante trinta segundos com velocidade baixa.

A cada nova mistura, acrescentou-se teores de aditivos superplastificantes na ordem de 0,02% da massa de cimento, seguindo o procedimento descrito acima.

Define-se o ponto de saturação do aditivo, quando mesmo acrescentando maiores teores de aditivo à pasta, não ocorre mais o aumento do diâmetro do espalhamento, isto é, quando os valores tendem a ficar constantes.

4.2.1.3 Influência da adição do fino de ADF no espalhamento e escoamento

Para a determinação da influência que a adição de ADF provoca nos controles de segregação e exsudação do CAA, repetiu-se os ensaios de espalhamento e escoamento (fluidez), com a relação a/c e o ponto de saturação do aditivo definidos, variando apenas os teores de adição da ADF.

Iniciou-se os ensaios com teor de 2,5% da massa de cimento utilizada, e a cada novo incremento, adicionou-se de 2,5 em 2,5% de adição, até um teor de 15%.

Para cada nova adição de finos de ADF, era confeccionada uma nova pasta, conferindo o escoamento, e o espalhamento, verificando também o aspecto da pasta quanto à forma das bordas, à exsudação e a segregação.

A produção da mistura, se deu com o auxílio da argamassadeira mecânica na seguinte sequência:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;
- Adição de água, com argamassadeira ligada na velocidade baixa, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa, por trinta segundos;

- Mistura manual durante um minuto, verificando possíveis materiais segregados a mistura;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa, por trinta segundos;
- Adição de finos de ADF, com a argamassadeira desligada;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa, durante um minuto;
- Mistura manual por um minuto;
- Adição do aditivo superplastificante, com a argamassadeira ligada em velocidade baixa, distribuindo-o em vários pontos, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa, por trinta segundos;
- Mistura manual por trinta segundos;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa, por mais trinta segundos.

A preparação das pastas, teve duração de 6 minutos cronometrados, não incluindo o tempo para a adição do fino.

Para cada ensaio descrito, foi confeccionada uma nova mistura, devido as alterações provocadas pela perda de material. Assim diminuindo as possibilidades de erros e falhas nos resultados finais obtidos.

4.2.2 ESTUDO EM ARGAMASSA

4.2.2.1 Definição do teor de aditivo superplastificante

Inicialmente, necessitou-se definir o teor ideal de aditivo superplastificante a ser empregado.

Primeiramente, preparou-se uma argamassa utilizando de um determinado traço inicial definido por Perius (2009) de 1:3,08:0,58, em massa.

Confeccionou-se uma mistura sem o uso do aditivo, para obtenção de uma argamassa com valores de referência.

O ponto de partida para as adições de teores de aditivo superplastificante à mistura se deu no valor encontrado como ponto de saturação do aditivo nos ensaios em pasta.

Assim, como nos ensaios em pasta, a definição do ponto de saturação do aditivo superplastificante se dá através do ensaio do mini Slump, onde se deve

verificar um espalhamento maior que 300 mm e também os aspectos visuais de segregação e exsudação.

Para os ajustes necessários, afim de atingir o espalhamento desejado, fez acréscimos de 0,20 a 0,20% de aditivo em relação a massa de cimento.

Com a argamassadeira mecânica, preparou-se a argamassa da seguinte forma:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;
- Adição de água, com argamassadeira ligada na velocidade baixa, durante trinta segundos;
- 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 aditivo 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.

O tempo para a mistura cronometrado foi de cinco minutos.

No decorrer dos ensaios, foi observado que a argamassa não apresentava um bom aspecto, pois com teores já elevados de aditivo superplastificante, a mesma não fluía, ou seja, ao retirar-se o tronco de cone, a argamassa não escoava, apenas apresentava exsudação, o que pode ser visualizado na Figura 26.

Devido a isto, permitiu-se alterar o traço pra 1:2,0:0,4.

Da mesma forma que para o traço anterior, confeccionou-se uma argamassa sem aditivo para tomarmos os valores base. Em sequência, fez-se as adições dos teores de aditivo na mesma proporção já exemplificada.

A cada ensaio, além da verificação quanto ao espalhamento, analisou-se os fenômenos de exsudação e segregação.

4.2.2.2 Influência da adição dos finos da ADF no controle de exsudação e segregação

Para verificar o controle da exsudação e da segregação da argamassa auto adensável, se deu também através da adição do fíler de areia de descarte de fundição.

Iniciou-se então o estudo a partir do teor de aditivo superplastificante definido anteriormente para argamassa com traço de 1:2:0,4 que foi de 1,01% da massa de cimento; e, assim como para o estudo em pasta, iniciou-se a adição com teor de 2,5% de fino, e a cada nova mistura, acrescentava-se mais 2,5%.

A sequência para a produção das argamassas se deu da seguinte maneira:

- Adição de cimento com argamassadeira desligada;
- Adição de água, com argamassadeira ligada na velocidade baixa, durante trinta segundos;
- 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 de ADF com a argamassadeira desligada;
- Mistura mecânica, por mais um minuto, em velocidade baixa;
- Mistura manual durante um minuto;
- Mistura mecânica, em velocidade baixa, por mais um minuto e trinta segundos;
- Adição de aditivo superplastificante em vários pontos da mistura, com mistura mecânica em velocidade baixa, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, com velocidade baixa, por trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos;
- Mistura mecânica, com velocidade baixa por trinta segundos.

Assim também, como para as pastas, para cada novo incremento, confeccionou-se uma nova mistura, devido as perdas de material, o que poderia influenciar negativamente nos resultados.

Buscou-se realizar os ensaios até o ponto considerado satisfatório, ou seja, até que a segregação e a exsudação sejam controladas, e ainda apresentar um escoamento de pelo menos 300 mm.

Quando definido o teor ótimo de adição, moldou-se 6 corpos de prova para a realização de ensaio de resistência mecânica à compressão no estado endurecido nas idades de 3, 7 e 28 dias de idade, empregando-se dois corpos de prova por idade.

Após 24 horas da realização da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura úmida imersos em tanque de água até os respectivos dias para o rompimento.

4.2.3 CONFECÇÃO DO CAA

Com a composição desenvolvida nos estudos em pasta e em argamassas, assim com a definição do esqueleto granular, Apêndice B, partiu-se a confecção do concreto auto adensável.

4.2.3.1 Concreto no estado fresco

Com os ensaios em pasta e argamassa, definiu-se como 1:2,0:0,40 (cimento : areia : água) o traço ideal para a produção de CAA. O teor de aditivo definido nos ensaios anteriores foi de 1,01% da massa de cimento, e a quantidade de adição de ADF foi de 12,5% em relação também a massa de cimento.

Observou-se, por meio do esqueleto granular, que a melhor mescla de materiais desenvolvido foi na proporção de 60/40%, brita e areia respectivamente, pois possui um menor índice de vazios (20,66%).

Procurou-se manter a relação cimento/materiais secos (m) em 4,0 como recomendado pela bibliografia, definiu-se o traço inicial para a confecção do concreto, em 1:1,6:2,4:0,40 com aditivo de 1,01%.

No desenvolvimento dos ensaios para o traço definido, percebeu que o consumo de cimento estava acima do recomendado pela bibliografia, então, decidiu-se corrigir a proporção entre os agregados, de forma a não alterar o valor de m . Lembrando que a brita era uma mescla de material graúdo e miúdo, analisou-se a

composição do esqueleto granular e alterou-se para uma mescla de 50/50%, desta forma, o traço corrigido ficou sendo 1:2,0:2,0:0,40 e 1,01% de aditivo superplastificante.

Assim, a partir daí, elaborou-se a primeira mistura. O primeiro ensaio definido para a correção da exsudação e segregação foi através do *Slump flow*.

Verificou-se já, que com a primeira quantidade de adição de ADF, de 12,5%, chegou-se ao espalhamento superior a 600 mm.

Contudo, ao realizar o ensaio notou-se a ocorrência de exsudação e também de segregação, necessitando assim fazer correções no teor do fino de ADF.

Aumentou-se de 2,5% a 2,5 % cada correção até que o ensaio de espalhamento fosse considerado satisfatório, isto é, sem exsudação, sem segregação e diâmetro de pelo menos 600 mm.

Após atendido os parâmetros do primeiro ensaio, partiu-se executar o próximo ensaio, através da caixa L, onde verificou-se a habilidade passante do concreto, isto é, a sagacidade (capacidade) do concreto ultrapassar obstáculos.

Segundo a ABNT NBR 15823-4:2010 - Concreto Auto-Adensável: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L *apud* Hasse, 2014, o ensaio da caixa L é realizado preenchendo-se a porção vertical da caixa com o concreto produzido abrindo em seguida a tampa deixando com que o concreto escoar, passando por entre as barras de aço que simulam a armadura de uma peça em concreto armado. Após o escoamento, mede-se a altura final e inicial do concreto na caixa, e se verifica a relação $H_{inicial}/H_{final}$ está condizente com a literatura.

Realizado o ensaio da caixa L, partiu-se então a ensaiar o concreto no funil V, afim de se obter os parâmetros quanto a viscosidade do concreto auto adensável.

O ensaio do funil V, conforme a ABNT NBR 15823-5:2010 - Concreto Auto-Adensável: Determinação da viscosidade - Método do funil V prevê o preenchimento do funil, sem nenhum tipo de adensamento. Em seguida libera-se o concreto para o escoamento, mensurando o tempo para o escoamento total da mistura.

Ao ser atingido os objetivos dos ensaios, moldou-se 15 corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro da base por 20 cm de altura, para os posteriores ensaios do concreto no estado endurecido, nas idades de 24 horas, 3, 7 e 28 dias.

4.2.3.2 Concreto no estado endurecido

Após 24 horas da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e em seguida 12 foram submetidos à cura em câmara úmida com temperatura controlada em 23°C, e foram cobertos com material plástico (impermeável) afim de evitar a perda desigual e brusca de água para o ambiente.

Os corpos de prova foram ensaiados a compressão de acordo com a NBR 5739:2007 para analisar a resistência mecânica do concreto produzido. As idades para o ensaio foram de 24 horas, 3, 7 e 28 dias.

Três dos corpos de prova foram ensaiados quanto a porosidade e a absorção de água por capilaridade, conforme NBR 9779/2012 - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por capilaridade. Ao serem desmoldados, os mesmos foram secos em estufa a temperatura de 110°C até apresentarem constância na massa e, uma vez atingido, foram submetidos ao ensaio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIOS EM PASTA

5.1.1 Ponto de saturação do Aditivo

A primeira fase nos ensaios em pasta, se deu pela determinação do ponto de saturação do aditivo. Essa determinação é analisada através do espalhamento no *mini slump* e do tempo de escoamento no cone de Marsh. O gráfico relacionando o tempo de escoamento e o teor de aditivo adicionado a mistura é apresentado na Figura 22.

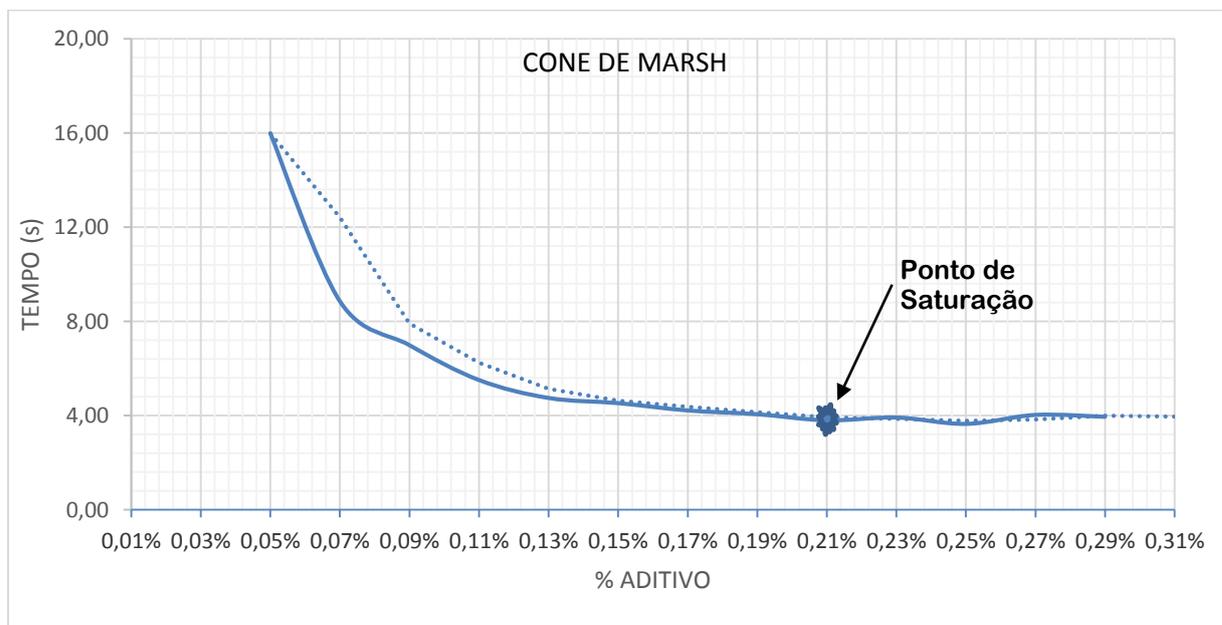


Figura 22 – Ponto de Saturação de Aditivo
Fonte: O Autor, 2015.

Observa-se, que a partir do ponto 0,21% da massa de cimento empregada, o aumento da quantidade de aditivo não altera o tempo de escoamento da mistura. As imprecisões ocorridas após o ponto de saturação em relação do tempo, seja provável da imprecisão na verificação dos tempos, porém, como os tempos foram relativamente próximos, a tendência é a constância desse tempo de escoamento.

Em seguida, através do tronco de cone, o *mini slump*, foi realizado o ensaio de espalhamento dessas pastas, quais os resultados estão na Figura 23.

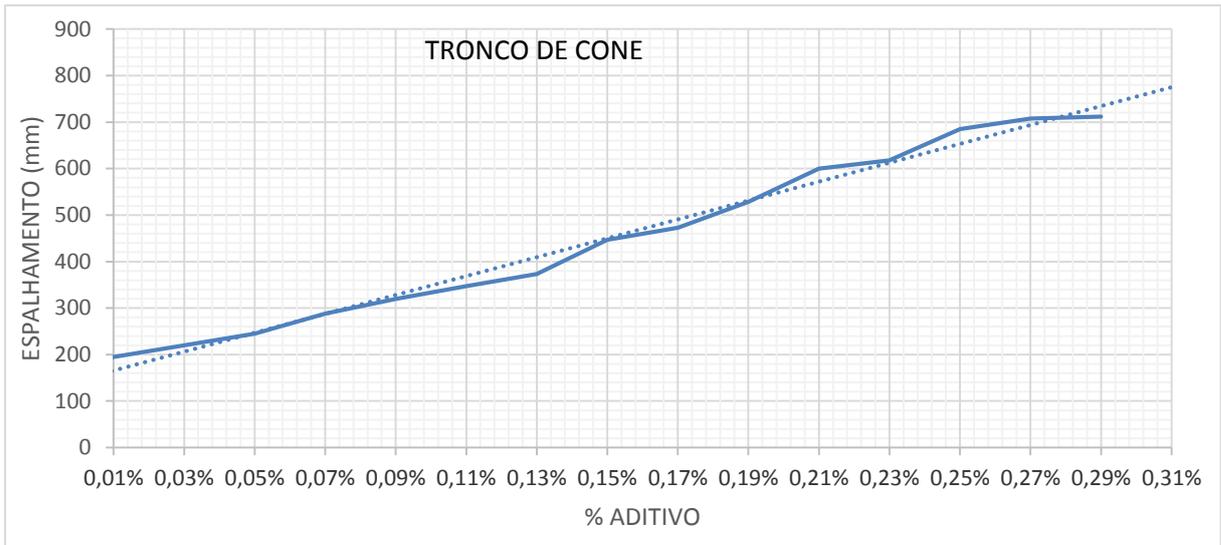


Figura 23 – Espalhamento da pasta em relação a porcentagem de aditivo.
Fonte: O Autor, 2015.

Na Figura 24 pode-se verificar o aspecto visual das pastas elaboradas.

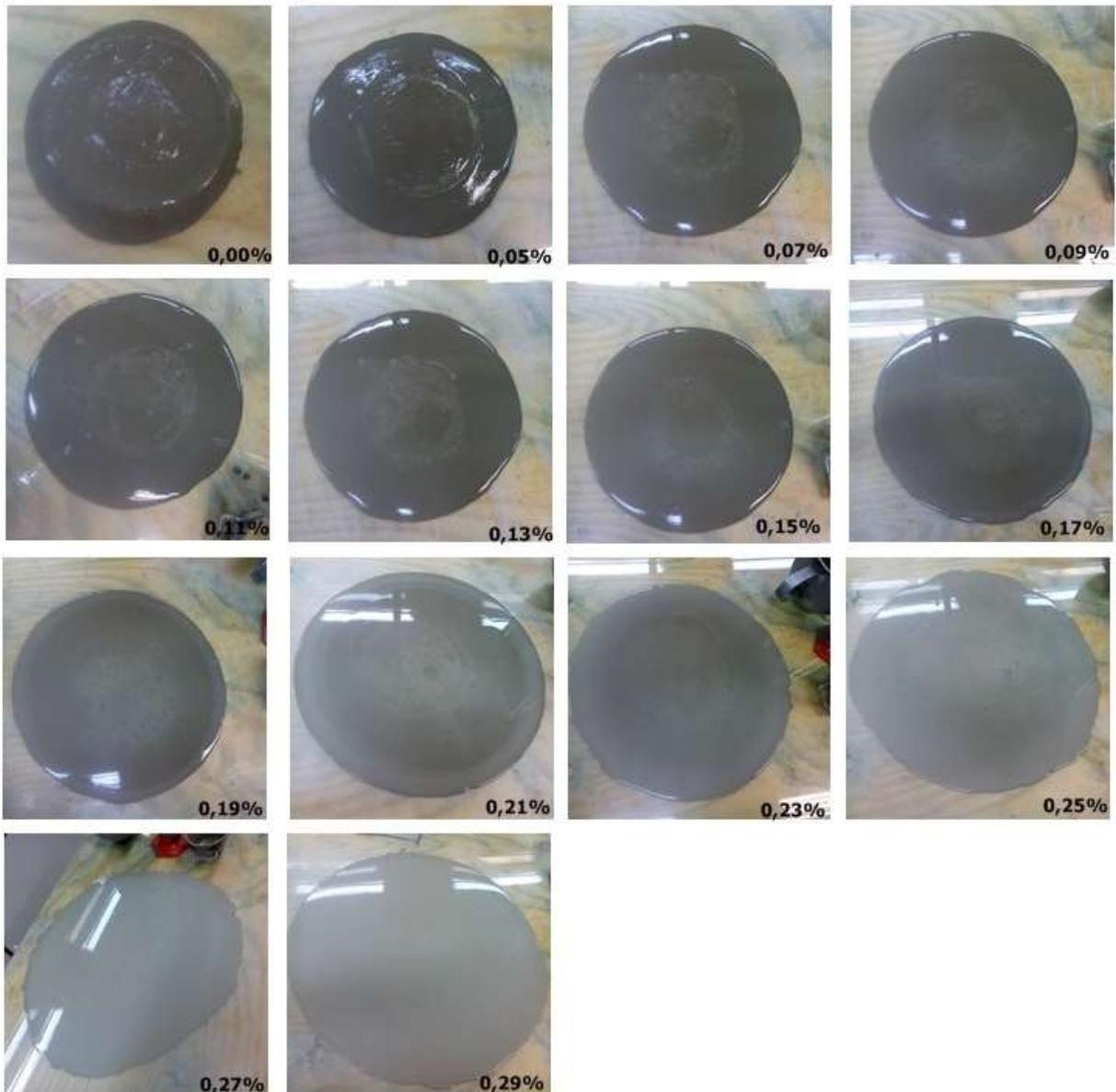


Figura 24 – Aspectos das pastas elaboradas
Fonte: O Autor, 2015.

Conclui-se que na proporção de 0,21%, obteve-se uma pasta com espalhamento médio de 600 mm, o que nas quantidades anteriores essa medida não foi atendida, e, a partir de 0,21%, houve um aumento do espalhamento, porém as bordas se tornavam mais irregulares, o que caracteriza a ocorrência de segregação de material, e ainda, a exsudação se tornou maior e mais rápida.

Assim, aliando os dois ensaios, do *mini slump* e do cone de Marsh, concluiu-se como ponto de saturação do aditivo a quantidade de 0,21% da massa de cimento.

5.1.2 Teor Ótimo de Fino (Adição) de ADF

Definido o ponto de saturação do aditivo, partiu a determinar o teor ótimo de material fino, com o intuito de amenizar a exsudação e a segregação da pasta de cimento. A Tabela 5 apresenta os resultados observados no ensaio do *mini Slump* (espalhamento) e do cone de Marsh para as adições de material fino.

Tabela 5 – Resultados para o ensaio de espalhamento e escoamento com teores diferentes de adição.

CONE DE MARSH			ESPALHAMENTO (TRONCO DE CONE)		
ADIÇÃO	MASSA (g)	TEMPO (s)	ϕ (mm)	ϕ (mm)	ϕ médio (mm)
2,5%	30	4,03	687	695	691
5%	60	4,46	650	667	658,5
7,5%	90	5,29	582	573	577,5
10%	120	5,41	521	519	520
12,5%	150	6,68	460	467	463,5
15%	180	9,09	417	415	416

Fonte: O Autor, 2015.

Na Figura 25, pode-se observar as pastas obtidas.

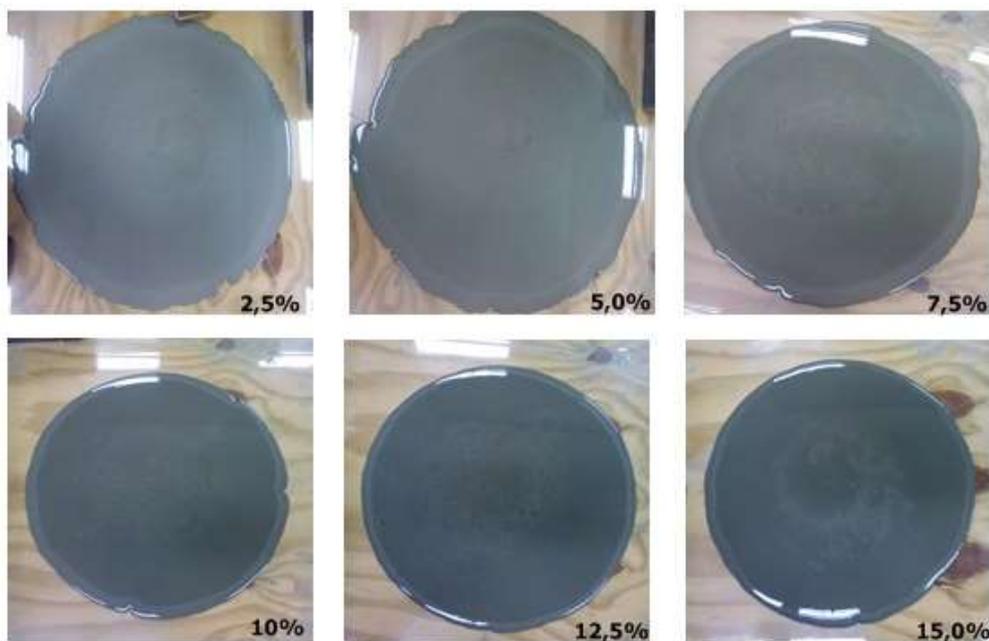


Figura 25 – Pastas com seus respectivos teores de adição de ADF
Fonte: O Autor, 2015.

Embora para o teor de 15% o aspecto da pasta estivesse mais em acordo com o que se esperava, o tempo para o escoamento da mesma teve um acréscimo significativo. Assim, optou-se por adotar que o teor ótimo de fino se deu a 12,5%, devido o mesmo não apresentar uma segregação considerável. Da mesma forma ocorreu com os teores de 2,5 a 10%.

Com isso, ainda pode-se concluir que mesmo em pequenas quantidades do fino da areia de descarte de fundição, produz melhorias no controle da exsudação e da segregação são significativos.

5.2 ENSAIOS EM ARGAMASSA

5.2.1 Argamassa No Estado Fresco

Como descrito no procedimento metodológico, iniciou-se os ensaios em argamassa através do traço 1:3,08:0,54, descrito por Perius (2009). Conforme observado, a argamassa não atendeu aos requisitos necessários para utilização, sendo necessário uma quantidade de aditivo exorbitante, encarecendo ainda mais o custo do concreto, como pode-se observar na Figura 26.



Figura 26 – Argamassa desenvolvida com o Traço 1 e seus respectivos teores de aditivos.
Fonte: O Autor, 2015

Definiu-se então um novo traço de acordo com a bibliografia de 1:2,0:0,4. A partir disso, encontrou-se o ponto de saturação do aditivo, definindo como inicial o ponto de saturação encontrado nos ensaios em pasta de 0,21%.

Pode-se verificar os valores para o espalhamento na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores do ensaio de espalhamento para diversos teores de aditivo.

			ESPALHAMENTO (TRONCO DE CONE)		
	MISTURA	MASSA (g)	φ (mm)	φ (mm)	φ_{médio} (mm)
0,00%	Sem aditivo	0,00	0	0	0
0,21%	0,21% de aditivo	2,52	0	0	0
0,41%	0,41% de aditivo	4,92	343	350	346,5
0,61%	0,61% de aditivo	7,32	358	349	353,5
0,81%	0,81% de aditivo	9,72	373	375	374
1,01%	1,01% de aditivo	12,12	375	378	376,5
1,21%	1,21% de aditivo	14,52	370	385	377,5
1,41%	1,41% de aditivo	16,92	382	374	378

Fonte: O autor, 2015.

Como todas as argamassas a partir de 0,41% ultrapassaram o valor mínimo de 300 mm de espalhamento. De acordo com o analisado, definiu-se o ponto de saturação do aditivo em cerca de 1,01%; contudo, este podendo ser corrigido até pelo menos 1,21%, que seria a recomendação máxima dada pelo fabricante do aditivo. Vê-se na Figura 27, que praticamente o espalhamento a partir de 1,01% é considerado constante.

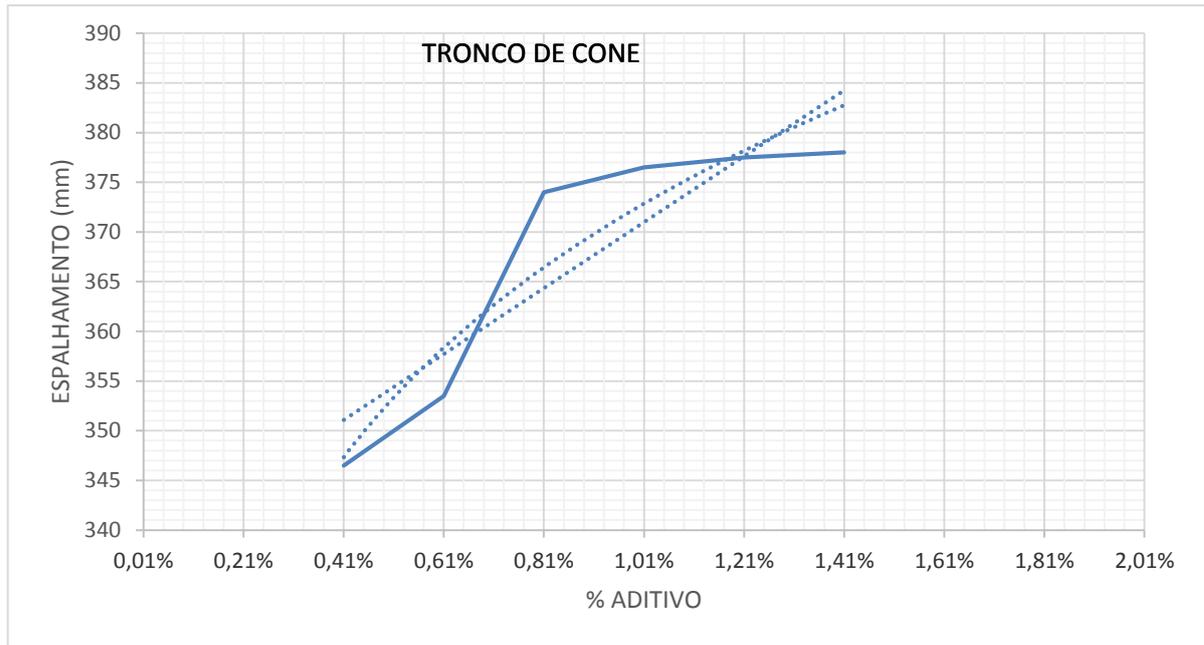


Figura 27 – Evolução do espalhamento com o aumento do teor de aditivo.
Fonte: o Autor, 2015.

A Figura 28 abaixo, ilustra as argamassas com seus respectivos teores de aditivos.

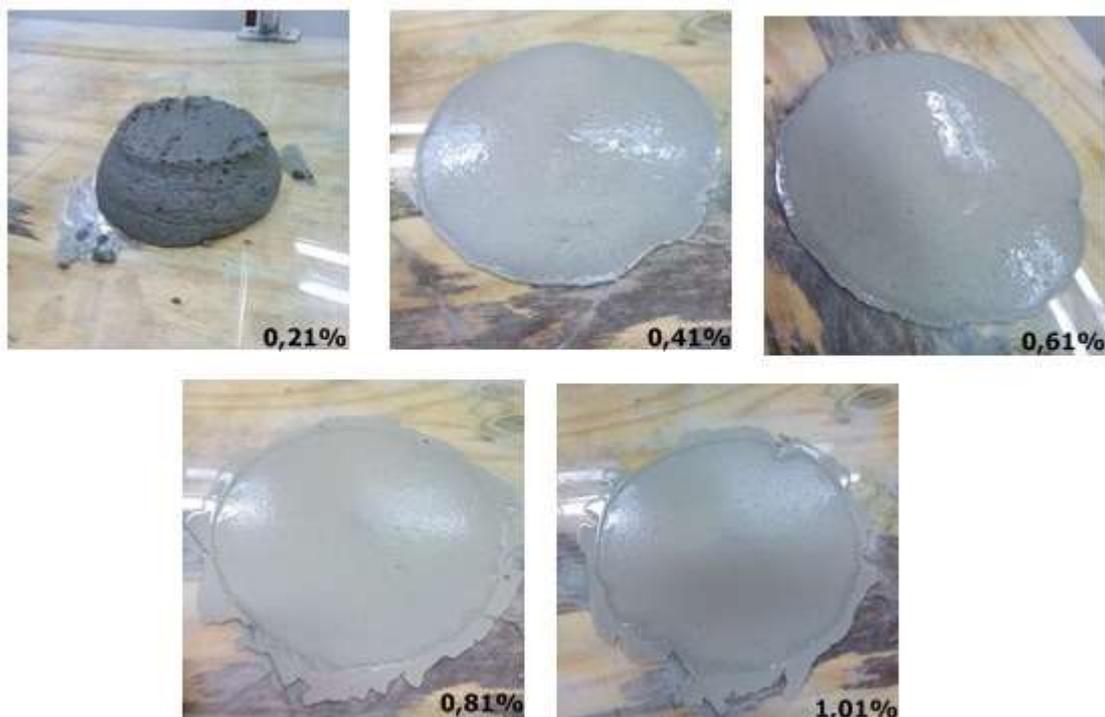


Figura 28 – Argamassas com o traço 2 e seus respectivos teores de aditivos
Fonte: O Autor, 2015.

Como a exsudação foi considerável para esta porcentagem de aditivo, considerou-se corrigi-la então com a incorporação de adição.

Desta forma, segue-se o ensaio com teores de adições incorporadas a mistura. Os valores do espalhamento (espalhamento interno) e da quantidade exsudada (espalhamento externo) podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores para o espalhamento das argamassas com incorporação de adição de ADF

ADIÇÃO	MASSA (g)	ESPALHAMENTO (TRONCO DE CONE) - INTERNO			ESPALHAMENTO (TRONCO DE CONE) - EXTERNO		
		φ (mm)	φ (mm)	φ médio (mm)	φ (mm)	φ (mm)	φ médio (mm)
2,5%	30	395	387	391	462	476	469
5%	60	365	374	369,5	435	425	430
7,5%	90	351	357	354	417	423	420
10%	120	344	347	345,5	393	374	383,5
12,5%	150	352	340	346	362	368	365
15%	180	314	307	310,5	316	320	318
17,5%	210	239	230	234,5	240	230	235

Fonte: O autor, 2015.

Da mesma maneira como ocorrido nas pastas, a correção da exsudação da argamassa pode ser observada na Figura 29.

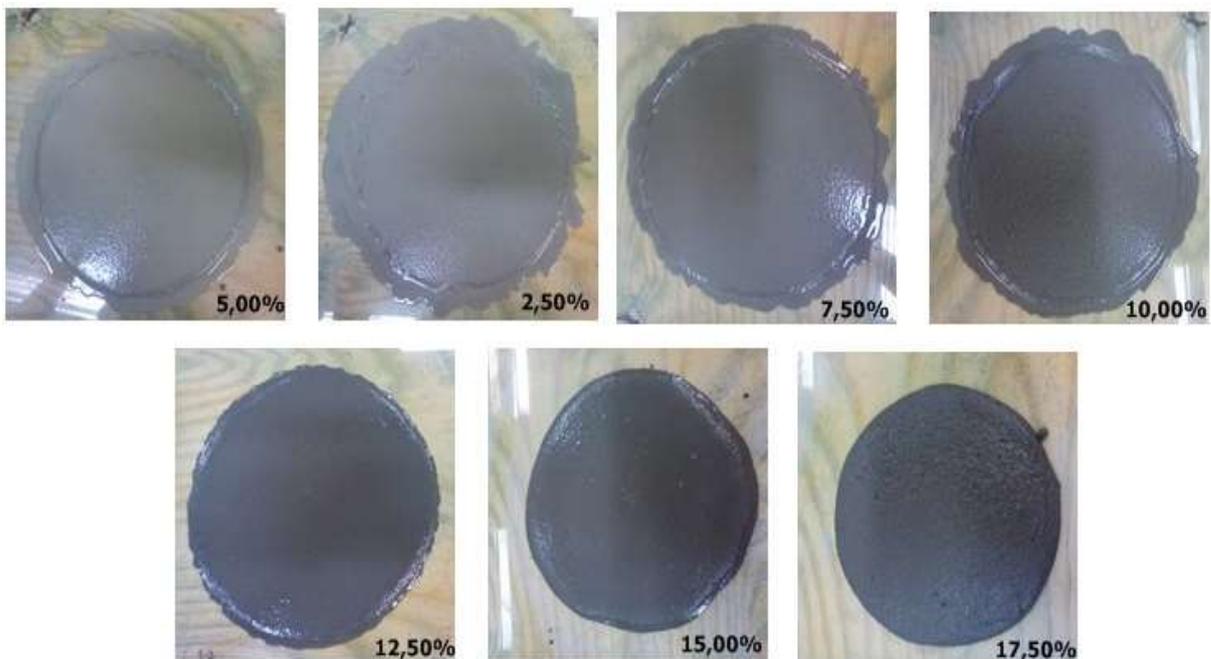


Figura 29 – Correção da exsudação com a adição de ADF
Fonte: O Autor, 2015.

Relacionando o aspecto visual e os valores tomados no espalhamento, determinou-se o teor ótimo de fino de 12,5%. Isto devido ao espalhamento da argamassa com 15% quase não atingir os 300 mm mínimos.

Devido aos resultados obtidos até então, pode-se verificar que o fino da areia de descarte de fundição como adição para argamassa auto adensável é eficaz, pois se enquadra dentro dos parâmetros estabelecidos.

5.2.2 Argamassa No Estado Endurecido

A partir da definição dos teores de aditivo e de adição (fino) presente na argamassa, moldou-se os corpos-de-prova afim de se obter a resistência a compressão das mesmas. Os resultados médios para a resistência podem ser observados na Figura 30:

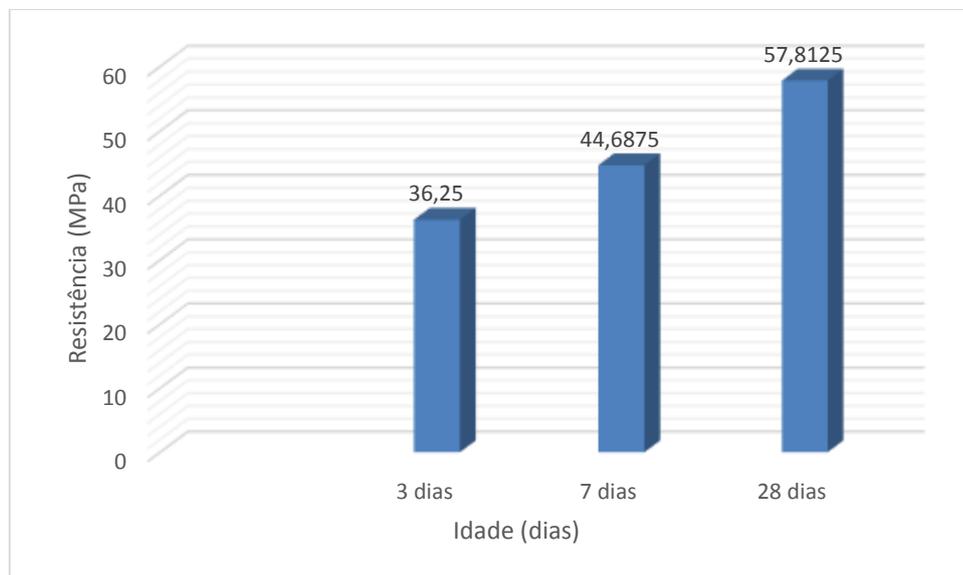


Figura 30 – Resultados médios para a resistência à compressão
Fonte: O Autor, 2015.

Como observado, a argamassa com adição de finos da areia de descarte de fundição (ADF) até 12,5% apresentam resistência satisfatória.

5.3 ESTUDO EM CONCRETO

5.3.1 Concreto no Estado Fresco

A relação de materiais empregados primeiramente, pode ser verificada na tabela 8.

Tabela 8 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 1 do CAA

MATERIAL	TRAÇO 1	MASSA (KG)	VOLUME DE CONCRETO (M ³)	CONSUMO DE CIMENTO (KG/M ³)
CIMENTO:	1	23,03	0,050	460,60
AREIA (40%):	1,6	36,85		
BRITA (60%):	2,4	55,27		
ÁGUA:	0,4	9,21		
ADIÇÃO (12,5%):	0,125	2,88		
ADITIVO (1,01%):	0,0101	0,233		

Fonte: O autor, 2015.

Como visto, com o traço 1, o consumo de cimento ficou elevado, e optou-se por utilizar a relação entre os agregados em 50% de agregado miúdo e 50% de agregado graúdo. Mesmo assim, o consumo ficou acima do recomendado. Contudo, corrigiu-se o traço e decidiu-se seguir em frente com os ensaios.

O quantitativo dos materiais utilizados nos ensaios então listadas nas Tabelas 9 a 13.

Tabela 9 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 2 do CAA

MATERIAL	TRAÇO 2	MASSA (KG)	VOLUME DE CONCRETO (M ³)	CONSUMO DE CIMENTO (KG/M ³)
CIMENTO:	1	22,86	0,0504	453,92
AREIA (50%):	2,0	45,73		
BRITA (50%):	2,0	45,73		
ÁGUA:	0,40	9,15		
ADIÇÃO (12,5%):	0,125	2,86		
ADITIVO (1,01%):	0,0101	0,231		

Fonte: O autor, 2015.

A partir dos dados acima, elaborou-se a primeira mistura e realizando o ensaio de espalhamento (*Slump Flow*). Verificou-se que já para o primeiro lançamento atingiu-se o espalhamento superior a 600 mm.

Contudo, notou-se a ocorrência tanto de segregação quanto de exsudação, necessitando assim corrigir o teor de adição.

Aumentou-se para 15% a quantidade de fino, conforme quantitativo na tabela abaixo.

Tabela 10 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 3 do CAA

MATERIAL	TRAÇO 3	MASSA (KG)	VOLUME DE CONCRETO (M³)	CONSUMO DE CIMENTO (KG/M³)
CIMENTO:	1	22,86	0,0504	453,92
AREIA (50%):	2,0	45,73		
BRITA (50%):	2,0	45,73		
ÁGUA:	0,40	9,15		
ADIÇÃO (15%):	0,15	3,429		
ADITIVO (1,01%):	0,0101	0,231		

Fonte: O autor, 2015.

Porém, ainda era observado a segregação do concreto e a exsudação do mesmo, resultando numa nova correção de adição, conforme dados da tabela abaixo.

Tabela 11 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 4 do CAA

MATERIAL	TRAÇO 4	MASSA (KG)	VOLUME DE CONCRETO (M³)	CONSUMO DE CIMENTO (KG/M³)
CIMENTO:	1	22,86	0,0504	453,92
AREIA (50%):	2,0	45,73		
BRITA (50%):	2,0	45,73		
ÁGUA:	0,40	9,15		
ADIÇÃO (17,5%):	0,175	4,001		
ADITIVO (1,01%):	0,0101	0,231		

Fonte: O autor, 2015.

Verificou-se que o concreto já estava demorando para atingir o patamar dos 600 mm de espalhamento, contudo, a exsudação já estava em menor quantidade, e resolveu-se realizar o ensaio seguinte, da caixa L, mas o concreto não teve um bom desempenho, não atingindo sequer o final da caixa.

Assim, fez-se uma nova correção na adição, chegando aos 20%, e mantendo o teor de aditivo em 1,01%.

Tabela 12 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 5 do CAA

MATERIAL	TRAÇO 5	MASSA (KG)	VOLUME DE CONCRETO (M³)	CONSUMO DE CIMENTO (KG/M³)
CIMENTO:	1	22,86	0,0504	453,92
AREIA (50%):	2,0	45,73		
BRITA (50%):	2,0	45,73		
ÁGUA:	0,40	9,15		
ADIÇÃO (20%):	0,20	4,572		
ADITIVO (1,01%):	0,0101	0,231		

Fonte: O autor, 2015.

Com esse novo traço, o concreto apesar de não exsudar e apresentar mínima segregação, porém, o mesmo não abriu o suficiente, ficando abaixo dos 600 mm, implicando na não realização do ensaio da caixa L.

Assim, para aumentar a fluidez do concreto, incrementou-se uma nova quantia de aditivo superplastificante, a fim de aumentar novamente o espalhamento e buscar atender aos demais ensaios.

Tabela 13 – Relação e quantitativo de materiais para o TRAÇO 6 do CAA

MATERIAL	TRAÇO 6	MASSA (KG)	VOLUME DE CONCRETO (M³)	CONSUMO DE CIMENTO (KG/M³)
CIMENTO:	1	22,86	0,0504	453,92
AREIA (50%):	2,0	45,73		
BRITA (50%):	2,0	45,73		
ÁGUA:	0,40	9,15		
ADIÇÃO (20%):	0,20	4,572		
ADITIVO (1,21%):	0,0121	0,277		

Fonte: O autor, 2015.

Assim, com os valores acima, se produziu o concreto, agora com 1,21% de aditivo, o que se determinou como sendo o máximo indicado pelo fabricante.

Com este traço, o concreto voltou a obter um espalhamento maior que 600 mm, porém com um pouco de exsudação, como observado na Figura 31.



**Figura 31 – Aspecto do CAA submetido ao ensaio do espalhamento.
Fonte: O Autor, 2015.**

Após satisfazer as recomendações quanto ao espalhamento, realizou-se o ensaio da caixa L, o mesmo obteve um desempenho aceitável, isto é, verificou-se a habilidade passante por obstáculos.

Em seguida, fez-se o ensaio do funil V, onde, o concreto novamente apresentou resultados satisfatórios, ficando dentro dos valores recomendados para o escoamento da mistura.

Assim, de acordo com os procedimentos realizados, seus respectivos valores encontrados podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados dos ensaios de CAA

	Adição (%)	Aditivo (%)	Slump Flow			Caixa L			Funil V	OBS.:
			M1 (mm)	M2 (mm)	M _{médio} (mm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H2/H1 (cm)	Tempo (s)	
Traço 1	12,5	1,01	-	-	-	-	-	-	-	*Não se produziu concreto com este traço
Traço 2	12,5	1,01	632	618	625	-	-	-	-	* Muito exsudado, * material segregado
Traço 3	15	1,01	627	633	630	-	-	-	-	* Muito exsudado, * material segregado
Traço 4	17,5	1,01	612	595	603,5	17,5	0	0	-	* Pouco exsudado, * pouco segregado
Traço 5	20	1,01	586	579	582,5	-	-	-	-	* NÃO exsudado, * material segregado
Traço 6	20	1,21	688	700	694	7,7	6,5	0,844	8,73	* NÃO exsudado, *NÃO segregado

Fonte: O Autor, 2015.

5.3.2 Concreto no Estado Endurecido

5.3.2.1 Resistência mecânica à compressão

O resultado da resistência à compressão encontrados no CAA produzido nas idades de 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias podem ser verificados na Figura 32.

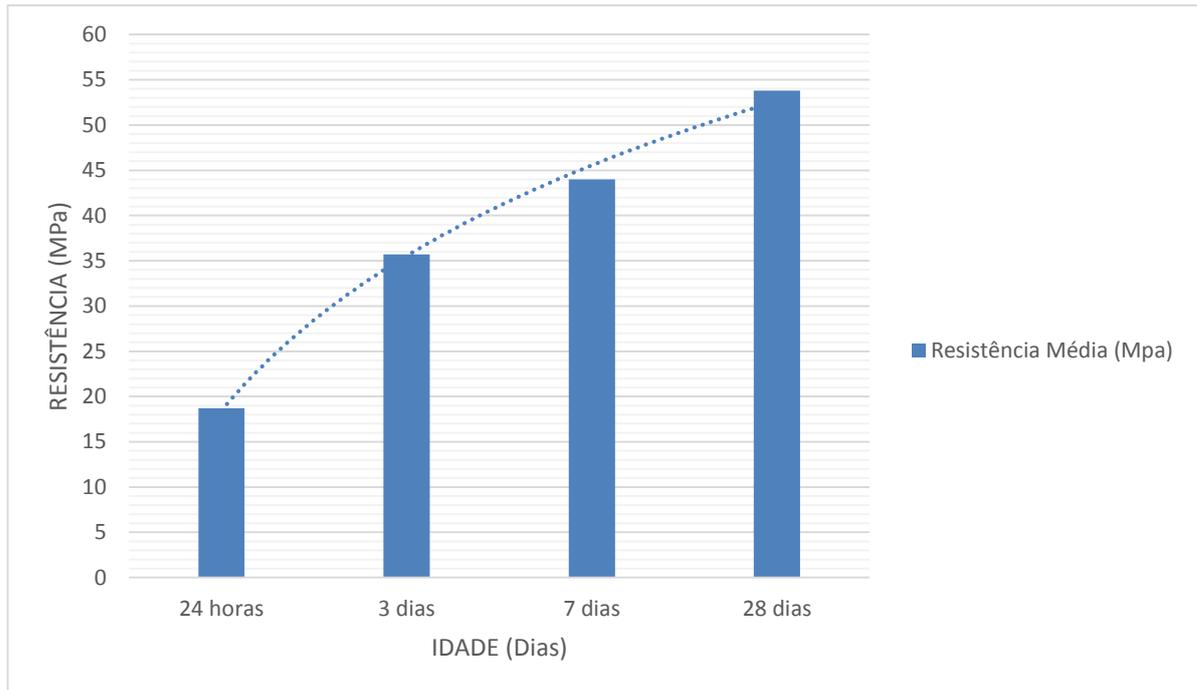


Figura 32 – Resistência média à compressão do CAA
Fonte: O Autor, 2015.

Pode-se verificar uma evolução na resistência do concreto.

A aparência final não ficou como o esperado, com o aparecimento de algumas falhas externas nos CP's, como observado na Figura 33; o que se leva em conta alguns fatores como: a integridade (limpeza) do molde de corpo-de-prova, e talvez o fator principal foi o tempo que levou a produção até a moldagem, pois o mesmo pode ter perdido algumas propriedades durante os ensaios.



Figura 33 - Aparência dos CP's
Fonte: O Autor, 2015.

Visualmente, não se observou uma mudança na coloração devido a utilização da areia de descarte de fundição.

5.3.2.2 Absorção de água por capilaridade

A evolução da água absorvida por capilaridade pode ser analisada pelo gráfico abaixo, Figura 34, onde a cada instante de tempo fez-se a conferência da massa de cada corpo de prova.

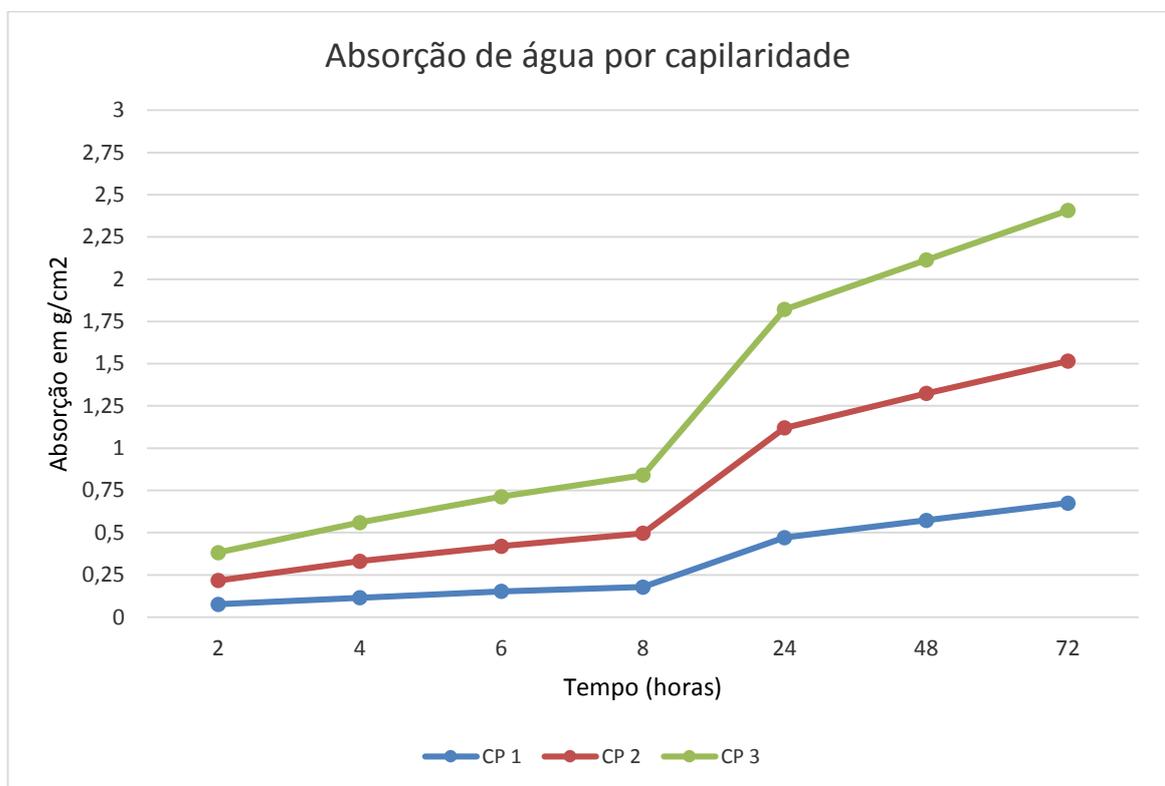


Figura 34 – Evolução da absorção de água nos 3 Cp's.

Fonte: O Autor, 2015.

Pelo gráfico acima, analisa-se uma diferença entre os corpos de prova, o que não deveria ter acontecido. Assim, justifica-se pela ausência de falhas durante a confecção dos corpos de prova, onde o ar que provavelmente foi incorporado não foi na mesma proporção para os três corpos de prova.

Visualmente, pode-se verificar através da Figura 35, a profundidade atingida pela água no interior do corpo de prova, e os valores da ascensão podem ser verificados na Tabela 15.



Figura 35 – Profundidade da absorção de água
 Fonte: O autor, 2015.

Tabela 15 – Ascendência da água nos respectivos corpos de prova.

	Altura atingida pela água no CP (cm)
CP 1	4,3
CP 2	5,9
CP 3	6,8

Fonte: O Autor, 2015.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs inicialmente em determinar a viabilidade técnica do uso de Areia de descarte de Fundição – ADF como um subproduto, porém necessário para a produção e aplicações em CAA.

A proposta desta pesquisa é tida como vantajosa, pois visa auxiliar na eliminação de um passivo ambiental que pesa sobre o gerador e sobre a sociedade, enquanto esse ainda for um resíduo.

Ainda, a falta de gerenciamento desses resíduos, por motivos como os financeiros, implica num descaso, principalmente com o meio ambiente, tornando a longo prazo, um material que, segundo a NBR 10004:2004 para resíduos sólidos classifica a ADF como um material não-perigoso, passível de reutilização, em um forte poluídos de solos e águas.

Quando um resíduo é utilizado como subproduto em outro processo industrial, seja ele no próprio setor ou em outros setores da indústria, oferece grandes oportunidades para promover o desenvolvimento sustentável. Contudo, há a necessidade de muitas pesquisas até que este resíduo seja reaproveitado de forma correta e eficiente.

Além do meio ambiente ter ganhos substanciais com a economia de resíduo que seria descartado, a indústria da fundição terá destinação econômica e ambientalmente melhor que a disposição de um material em aterro industrial. Por sua vez, a indústria da construção civil será beneficiada por poder utilizar uma matéria-prima de custo inferior ao de outros materiais finos empregados.

O emprego de uma porção da areia descartada de fundição, utilizada como fino na produção de CAA, viabilizou outra maneira de reaproveitar este resíduo, que não a utilização dela como já visto, em agregados. Esta possibilidade se deu devido aos resultados obtidos conciliando os aspectos técnicos buscados em concretos auto-adensáveis e os benefícios ambientais.

O uso de finos passantes na peneira de abertura 150 µm foram bem empregados na realização dos ensaios, atendendo aos requisitos estabelecidos pelo método empregado para a aceitação de um concreto auto-adensável, como a fluidez, a capacidade de preenchimento e de passagem por obstáculos, verificando-se ainda a ausência de exsudação e/ou segregação.

Quanto a este requisito, em especial, pode-se afirmar que o fino de ADF foi satisfatório, pois foi possível fazer o controle da exsudação e da segregação com pequenas quantidades empregadas.

Verificou-se, que no ensaio de absorção de água por capilaridade, o concreto com a utilização do material fino empregado, obteve pouca porosidade, o que se deve ao melhor empacotamento entre os componentes do concreto auto-adensável. Esta propriedade nos permite afirmar que a durabilidade do concreto também é aumentada.

A relação obtida para o CAA estudado entre a resistência exemplificada pela literatura e a resistência final obtida nos ensaios é atendida quando comparada, visto que o CAA produzido obteve altas resistências, caracterizando-o como um concreto de alta resistência.

Como sugestão a trabalhos futuros, avaliando a elevada quantidade de areia descartada do processo de fundição, sem um devido reaproveitamento, sugere-se mesclar o material não aproveitado como fino em substituição total e/ou parcial dos agregados naturais por ADF na confecção de argamassas e concretos auto-adensáveis.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 10004. **Classificação dos Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR 7211. **Agregados para concreto – especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. The Europe Guidelines for Self-Compacting Concrete – Specification, Production and Use. In: EFNARC Maio, 2005. Disponível em: <http://www.EFNARC.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2013.

_____. NBR 15823-2. **Concreto Auto-Adensável - Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823-4. **Concreto Auto-Adensável - Determinação da habilidade passante - Método da caixa L**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823-5. **Concreto Auto-Adensável - Determinação da viscosidade - Método do funil V**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 9779. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR NM 248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 46. **Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm, por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003.

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição. Índices de Mercado. Disponível em: <<http://www.abifa.com.br>>. [Acesso em 16 mai. 2013].

ABIFA: Associação Brasileira de Fundição. **Revista Agosto 2014, Edição 171**. 2014. Disponível em <http://abifa.org.br/wp-content/uploads/2014/09/ABIFA-171-agosto.pdf>, acesso em 09/05/2015.

ABIFA, Anuário, 2012

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

ALENCAR, Ricardo S. A. - **Dosagem do concreto auto-adensável: produção de pré-fabricados**. 2008. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

ARMANGE, L. C. **Utilização de Areia de Fundição Residual para Uso em Argamassa**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGCEM, Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2005.

BANFILL, P.F.G. **The Rheology of Fresh Cement and Concrete - A Review**. Proceedings of 11th International Cement Chemistry Congress, Durban, May 2003, 13p.

BASF. The Chemical Company. **Ficha Técnica do Produto: MasterGlenium® 3400**. Disponível em <<http://www.basf-cc.com.br/PT/produtos/aditivos/Pages/default.aspx>>, acesso em 29/03/2014.

BONIN, André L. - **Reutilização da Areia Preta de Fundição na Construção Civil**. Congresso de Fundição. São Paulo, p-203- 221. Setembro, 1995.

CAMPOS FILHO, M. P. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

CARNIN, Raquel L.P. et al. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado**. Revista Pavimentação, pg. 56- 67, Ano V, Out/Nov/Dez de 2010.

CARNIN, Raquel L.P. **Estudo da viabilidade do uso da areia descartada de fundição em assentamento e recobrimento de tubulações: monitoramento do trecho experimental do bairro Vila Nova**. Anais, ABES, 2013.

CARNIN, Raquel L.P. - **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas**. Tese de Doutorado do Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2008.

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

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br/portal/>>. Acesso em: 15 out 2012.

CHEGATTI, S. - **Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmicas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

COLLEPARDI, M. - **A very close precursor os self-compacting concrete**. In: Supplementary volume of the Proceedings of Three-day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development and Concrete Technology, Setembro 16-19, 2001. Disponível em <http://www.encosrl.it/enco%20srl%20ITA/servizi/pdf/additivi/89.pdf>. Acesso em 19 dez. 2013.

Comissão de Meio Ambiente da Abifa. **Manual de Regeneração e Reuso de Areias de Fundição**. São Paulo: ABIFA, 1999.

DANTAS, J. M. - **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundição: Regenerador Térmico - Plano de Trabalho da Fase II**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo, 2003.

EFNARC. **Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete**. Farnham, Reino Unido, 2002. 32 p.

FERNANDES, D. L. **Areias de fundição aglomeradas com ligantes furânicos**. Itaúna: SENAI-DR.MG, 2001.

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

GETTU, R.; AGULLÓ, L. **Estado del arte del hormignón autocompactable y su caracterización**. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluna, 2003.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R. R. De. **Concreto Auto-adensável: Uma tecnologia a disposição da construção civil de Goiânia**. Informativo técnico. Ano 1, n. 1 de abril de 2005. Disponível em: http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/informativo_realmix.pdf>. Acesso em: em 12 de julho de 2013.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Ed. Pini, 2009.

GOMES, P. C. C. - **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. 139 p. Tese - Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalúnya, 2002.

ILIESCU, Marcelo. **Concreto auto-adensável. Iliescu Structural Repair**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.iliescu.com.br/palestras/concretoautoadensavel.pdf>> Acesso em: 29 setembro 2013.

ISAIA, G. C. (Ed.). **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005, v-1.

IYER, S.R.; WEAVER, C. - **Bonding properties of reclaimed system sand and their effect on casting quality**. American Foundrymen's Society Transactions, v. 100, 1992, p. 733-735.

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

LISBÔA, E. M.; GOMES, P. C. C.; LIMA, F. B. e BARBOZA, A. S. R. **Concreto Auto-Adensável uma opção para os Pré Moldados**. In: 1o. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. Anais. São Carlos, SP, 2005.

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

LMC - Laboratório do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações - PEF da Escola Politécnica da USP - POLI. Acesso em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinda/Estruturas/akashi.htm>>

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.

MARIOTTO, C. L. - **Regeneração de Areias de Fundação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, 2000.

MATOS, S. V.; SCHALCH, V. - **Alternativas de minimização de resíduos da indústria de fundição**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª. ed. São Paulo: PINI, 1994.

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.

MIZUMOTO, C.; SEGANTINI A. A. S.; SALLES F. M. - **Estudo de Dosagem de Concreto Auto-Adensável para uso em Empresas de Artefatos de Cimento**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 2º Workshop “Concreto: Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”. 2002.

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

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Trad. Salvador e. Giannusso. 2. Ed, São Paulo: Pini, 1997.

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

OKAMURA Hajime; OUCHI Masahiro. - **Self-Compacting Concrete**. Journal of Advanced Concrete Technology. Japan Concrete Institute, Japão. 2003.

Oliveira, T. M. N. - **Eco-estratégia empresarial no setor metal-mecânico da escola técnica Tupy**, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PABLOS, J. M. - **Utilização do Resíduo Sólido Gerado pelo Descarte das Areias de Fundição Aglomeradas com Argila no Setor da Construção Civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Escola de

PEIXOTO, F. - **Regeneração térmica de areia ligada quimicamente**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos), Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2003.

PERIUS, Gustavo R. - **Influência das propriedades físicas de agregados reciclados sobre a retração por secagem em concreto auto-adensável**. 2009. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

PHILIPPSEN, R.; A. LUZ, C. A. - **Valorização da Areia de Fundição em Concreto**. 51º Congresso Brasileiro de Concreto. IBRACON, 2009.

REPETTE, W. L. **Concretos de Última Geração: Presente e Futuro**. In: Geraldo Cechella Isaia. (Org.). Concreto - Ensino, Pesquisa e Realizações. 1 ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

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

ROONEY, M. J. - **Assessment of the Properties of Fresh Self-Compacting Concrete with Reference to Aggregate Segregation**. Tese - University of Paisley/USA, 2002.

SANTOS, P. S. - **Ciência e Tecnologia das Argilas**. 2a . ed. Edgar Blucher Ltda, São Paulo, 1989, 143-149

Scheunemann, R. - **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SIDDIQUE, R.; SHUTTER, G.; NOWMOWE, A. **Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete**. Construction and Building Material. 2009.

MACIEL, Cristiane. B. - **Avaliação da geração do resíduo sólido areia de fundição visando sua minimização na empresa Metalcorte Metalurgia-Fundição**. Tese de Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia com ênfase em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas. UFRS. Porto Alegre – RS. 2005

SIMONETTI, C. - **Análise Teórico-Experimental da Deformação Instantânea e Lenta de Vigas de Concreto Auto-adensáveis**. 2008. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil, UFRS, Porto Alegre, 2008.

SKARENDAHL, A. **The present – the future**. Edição: O. Wallevik; I. Nielsson. In: International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete, 3rd, 2003, Reykjavik. Proceedings... France: RILEM Publications, 2003. p. 6-14.

TUTIKIAN, Bernardo. F. - **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

TUTIKIAN, Bernardo F. - **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

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

VICTOR, J. W. R. - **Estudio de la sensibilidad e influencia de la composición en las propiedades reológicas y mecánicas de los hormigones autocompactantes.** 2007. Tese de Doutorado. Departamento de engenharia de construção e projetos de engenharia civil. Universidade Politécnica de Valência, Valência, Espanha, 2007.

**APÊNDICE A: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO
AGREGADO MIÚDO, AGREGADO GRAÚDO E AREIA RESIDUAL DE FUNDIÇÃO
(ARF)**

AREIA DE DESCARTE DE FUNDIÇÃO (ADF)

O ensaio de caracterização dos agregados se deu a partir da determinação granulométrica da Areia de Descarte de Fundição (ADF), de tal modo a analisar se o mesmo se enquadra nas propriedades de fino, e para saber qual seria a quantidade ideal para utilização como adição em concreto auto adensável.

Para a determinação granulométrica fez-se o uso da ABNT NBR 248:2003: Agregados – determinação da composição granulométrica.

Ensaiou-se aproximadamente duas amostras com 1000g de material. Os resultados obtidos do ensaio são apresentados na Tabela A.1.

Tabela A.1: Granulometria da Areia de Descarte de Fundição (ADF)

REALIZAÇÃO DE ENSAIOS FÍSICOS DA ADF							
Data:	21-out-13	1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO - NBR NM 248:2003					
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) =		1.042,0		(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	b) massa inicial seca (gr) =		1.004,0		Massa retida Variações	Massa retida Média	Massa retida Acumulada
	Mr(g) Massa retida (gr)		Mr(%) Massa retida (%)				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	62,5	27,2	6,0%	2,7%	3,3%	4,4%	4,4%
2,36	40,0	31,7	3,8%	3,2%	0,7%	3,5%	7,8%
1,18	40,7	36,5	3,9%	3,6%	0,3%	3,8%	11,6%
0,6	51,8	53,3	5,0%	5,3%	0,3%	5,1%	16,8%
0,3	492,8	690,4	47,3%	68,7%	21,4%	58,0%	74,8%
0,15	287,4	122,7	27,6%	12,2%	15,4%	19,9%	94,7%
Fundo	67,0	42,9	6,4%	4,3%	2,2%	5,3%	100,0%
Mt) Total	1.042,2	1.004,6	Módulo de Finura =			2,10	
			Diâmetro Máximo (dmáx) =			4,75 mm	

Fonte: O Autor, 2015.

O Módulo de Finura encontrado para o material ensaiado foi de 2,10, e a dimensão máxima característica do mesmo foi de 4,75mm.

A massa específica da areia residual de fundição foi determinada por meio do Frasco de Chapman – NBR 9776, e assim, determinou-se em 2,185 g/cm³.

Como objetivo do trabalho, a utilização da areia de fundição seria como uma adição ao concreto e não como agregado propriamente dito, assim apenas a parte fina do material será utilizada, isto é, o material pulverulento presente no agregado

Para determinar e separar o material fino, utilizou-se a ABNT NBR NM 46/2003 – Agregados: Determinação do material fino que passa através da peneira #200 (0,075mm) por lavagem.

Partindo de uma amostra seca inicial de 1000g de material, obtendo-se um teor médio de material pulverulento de 35,90%, conforme visto na Tabela A.2.

Tabela A.2: Teor de Material Pulverulento

TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS – NBR 7219		
	Ensaio A	Ensaio B
Mi) Massa inicial do agregado seco (g)	1.001,5	1.000,0
Mf) Massa final agregado seco após lavagem (g)	638,0	645,0
Teor de material pulverulento = [(Mi - Mf) /Mi]*100	36,30%	35,50%
Teor médio de material pulverulento (%)	35,90%	

Fonte: O Autor, 2015.

A partir desse resultado, pode-se então constatar da possibilidade de utilizar o material fino da areia de descarte de fundição como adição para concreto auto adensável.

Para a caracterização do fino, utilizou-se das mesmas propriedades da areia residual de fundição, visto que o mesmo é apenas uma parte da areia, não ocorrendo diferenças físicas ou de suas características quando separado.

AGREGADO MIÚDO

Da mesma forma que para a Areia de Descarte de Fundição, a caracterização do agregado miúdo (areia natural) se deu inicialmente pelo ensaio da granulometria, regido pela ABNT NBR 248:2003: Agregados – determinação da composição granulométrica.

Para uma melhor representação do material, ensaiou-se duas amostras de aproximadamente 500 g, quarteadas manualmente e agitadas manualmente.

Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela A.3.

Tabela A.3: Granulometria do Agregado Miúdo (Areia natural)

REALIZAÇÃO DE ENSAIOS FÍSICOS DA AREIA							
Data:	09-abr-15	1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO - NBR NM 248:2003					
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) =		500,0		(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	b) massa inicial seca (gr) =		500,0		Massa retida Variações	Massa retida Média	Massa retida Acumulada
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	0,16	0,68	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
2,36	1,86	2,11	0,4%	0,4%	0,0%	0,4%	0,5%
1,18	17,53	21,76	3,5%	4,4%	0,8%	3,9%	4,4%
0,6	68,82	77,65	13,8%	15,6%	1,7%	14,7%	19,1%
0,3	201,85	201,64	40,5%	40,4%	0,1%	40,5%	59,6%
0,15	195,77	184,37	39,3%	36,9%	2,4%	38,1%	97,7%
Fundo	11,99	11,03	2,4%	2,2%	0,2%	2,3%	100,0%
Mt) Total	498,0	499,2	Módulo de Finura =			2,81	
			Diâmetro Máximo (dmáx) =			1,18 mm	

Fonte: O Autor, 2015.

Através do ensaio de granulometria, pode-se determinar o módulo de finura do material, que definida pela NBR acima citada como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, das peneiras de série normal, divididos por 100. Assim, obteve-se um valor para o módulo de finura (MF) igual a 2,81.

Outro fator determinado através do ensaio de granulometria, é a dimensão máxima característica do material, que é definida pela mesma norma como a abertura pela qual a porcentagem de material retido acumulado seja igual ou inferior a 5%, portanto, neste caso o $d_{máx}$ é igual a 1,18mm.

Para a validação dos resultados, a NBR recomenda que, observando-se as diferenças entre as porcentagens retidas em cada uma das aberturas não sejam excedidos quatro pontos percentuais, e ainda, que a dimensão máxima característica do agregado para cada uma das amostras seja igual, tendo sido estes critérios obedecidos, e desta forma, o ensaio é considerado válido.

Segundo a caracterização do material, determinou-se através do método do picnômetro a massa específica do material, a qual é utilizada no cálculo do consumo de cimento do traço a ser obtido.

O valor definido para a massa específica do agregado miúdo foi de 2,64 g/cm³.

AGREGADO GRAÚDO

Da mesma forma que para os demais materiais secos, o ponto de partida da caracterização do agregado graúdo se deu pela granulometria, de modo a se obter um material que estivesse enquadrado dentro das faixas granulométricas ideais especificadas por Melo (2005), para tanto, utilizou-se a ABNT NBR 248:2003: Agregados – determinação da composição granulométrica.

Ensaiou-se duas amostras com cerca de 1500 g de material, previamente quarteado e seco, seguindo da agitação manual conforme especificado em norma.

A apresentação dos resultados do ensaio se encontram na Tabela A.4.

Tabela A.4: Granulometria do Agregado Graúdo (Pedra britada)

REALIZAÇÃO DE ENSAIOS FÍSICOS DA BRITA							
Data:	10-mai-15	GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003					
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) =		1500,0		(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	b) massa inicial seca (gr) =		1500,0		Massa retida Variações	Massa retida Média	Massa retida Acumulada
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida(%)				
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)
12,5	0,0	5,000	0,0%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%
9,5	10,000	10,000	0,7%	0,7%	0,0%	0,7%	0,8%
6,3	478,000	424,000	31,9%	28,3%	3,6%	30,1%	30,9%
4,75	423,000	420,000	28,2%	28,0%	0,2%	28,1%	59,0%
2,36	585,000	621,000	39,0%	41,4%	2,4%	40,2%	99,2%
1,18	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,2%
0,6	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,2%
0,3	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,2%
0,15	0,000	0,000	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,2%
Fundo	3,000	20,000	0,2%	1,3%	1,1%	0,8%	100,0%
Mt) Total	1499,0	1500,0	Módulo de Finura =			5,56	
			Diâmetro Máximo (dmáx) =			9,50 mm	

Fonte: O Autor, 2015.

Como os critérios de dimensão máxima iguais e, ainda, de porcentagens retidas em casa abertura seja inferior a 4%, foi atendido, deu-se a determinação do módulo de finura (MF) igual a 5,56, além ainda da dimensão máxima característica do agregado obtida de 9,5mm.

Seguindo a caracterização do agregado graúdo, determinou-se a massa específica através do método do picnômetro – IPT-M9 – 76.

Obteve-se assim, uma massa específica de 2,841 g/cm³.

APÊNDICE B: DETERMINAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR

Devido a este ensaio não ser normatizado, determinou-se o esqueleto granular dos agregados de acordo com recomendações de autores sobre o assunto.

Primeiramente, obteve-se um recipiente com volume conhecido, para tal, tomou-se um molde de corpo-de-prova em PVC com dimensões de 10x20cm, apresentando uma massa de 280g e um volume igual a 1570,8 cm³.

O procedimento do ensaio consistiu na formação de uma mescla de areia e brita, de modo a se colocar uma máxima quantidade de material no recipiente, sempre nivelando a superfície de modo que não houvesse material extravasando o volume inicialmente aferido, até que se completasse a maior quantidade possível da mistura.

Foram realizadas um total de 5 mesclas, sendo as proporções de brita e areia respectivamente 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 e 30/70.

A massa unitária das mesclas se deu pela divisão da massa final obtida em cada uma das misturas, pelo volume do recipiente inicialmente determinado. As massas específicas das mesclas, pela combinação das proporções acima relacionadas com as massas específicas dos dois materiais, obtidas segundo Apêndice A deste trabalho.

Com base nos valores alcançados para as massas específicas e para as massas unitárias das misturas, fez-se a determinação do índice de vazios. Esse consiste em reduzir a massa unitária da massa específica e dividir essa diferença pela massa específica, e é expresso em porcentagem ao ser multiplicado por 100.

Os resultados das mesclas foram comparados e, assim, definiu-se o esqueleto granular, apresentado na tabela B.1.

Tabela B.1: Esqueleto Granular

MASSAS UNITÁRIAS COMPACTADA DAS MISTURAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS COM O MIÚDO												
(gMar) Massa específica absoluta da areia	(gMP) Massa específica absoluta das	(gMm) Massa específica absoluta da mistura	Porcentagens dos agregados		(AAR) Acréscimo de areia	(PAR) Peso do agregado miúdo areia	(PTB) Peso total das Britas	Tara do recipiente	Volume do recipiente	Massa dos agregados mais o recipiente	(gMuc) Massa unitária compactada	Porcentagens de vazios
(kg/dm ³)	(kg/dm ³)	(kg/dm ³)	Areia	Britas	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(dm ³)	(kg)	(kg/dm ³)	(%)
2,641	2,841	2,781	70	30	1,191	1,191	2,780	0,280	1,510	2,780	1,656	40,47
2,641	2,841	2,761	60	40	0,662	1,853	2,780	0,280	1,510	3,130	1,887	31,64
2,641	2,841	2,741	50	50	0,927	2,780	2,780	0,280	1,510	3,470	2,113	22,93
2,641	2,841	2,721	40	60	1,390	4,170	2,780	0,280	1,510	3,540	2,159	20,66
2,641	2,841	2,701	30	70	2,317	6,487	2,780	0,280	1,510	3,490	2,126	21,29

$$gMm) = [(gMar \times \% \text{Areia}) + (MP \times \% \text{Britas})] / 100$$

$$\% \text{ Vazios} = [(gMm - gMuc) / gMm) \times 100]$$

$$[PAR = ((PTG / (\% \text{Britas} / 100)) - PTG)] \quad [Massa \text{ Unitária} = (Massa \text{ do agregados} + recipiente - Tara. recipiente.) / Volume \text{ do recipiente}]$$

Acréscimo de areia → AAR = (Coluna PAR seguinte subtraído da coluna PAR anterior)

Fonte: O Autor, 2015.

A proporção ideal a ser escolhida é aquela que possua um menor índice de vazios, e por consequência, ofereça um concreto de maior densidade, e que ainda, proporcione uma mistura homogênea, capaz de oferecer um empacotamento ideal à mistura, obedecendo as propriedades de autoadensabilidade.

Assim, definiu-se a mistura 60% de brita e 40% de areia.

APÊNDICE C: RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO

Tabela C. 1: Resistências dos concretos com adição.

DATA DE MOLDAGEM	DATAS DE ROMPIMENTO		Diâmetro CP	Área do CP	LEITURA NA PRENSA (kgf)			RESULTADO RESISTÊNCIA (MPa)			RESISTÊNCIA MÉDIA
			(cm ²)	(cm ²)	A	B	C	A	B	B	Mpa
18-mai-15	24 horas	19-mai-15	10	78,54	15,4	13,7	14,9	19,6	17,4	19,0	18,7
	3 dias	21-mai-15			28,2	26,0	30,0	35,9	33,1	38,2	35,7
	7 dias	25-mai-15			36,8	34,3	32,5	46,9	43,7	41,4	44,0
	28 dias	15-jun-15			42,8	43,2	40,7	54,5	55,0	51,8	53,8

Fonte: O Autor, 2015.