

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

JÉSSICA AMANDA HASSE

**INFLUÊNCIA DO USO DE ADIÇÃO DE FÍLER CERÂMICO
NO CONTROLE DE SEGREGAÇÃO E EXSUDAÇÃO
DE CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

JÉSSICA AMANDA HASSE

**INFLUÊNCIA DO USO DE ADIÇÃO DE FÍLER CERÂMICO
NO CONTROLE DE SEGREGAÇÃO E EXSUDAÇÃO 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) – câmpus Pato Branco.
Orientadora: Prof. Dra. Caroline Angulski da Luz

PATO BRANCO

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

INFLUÊNCIA DO USO DE ADIÇÃO DE FÍLER CERÂMICO NO CONTROLE DE SEGREGAÇÃO E EXSUDAÇÃO DE CONCRETOS AUTO ADENSÁVEIS

JÉSSICA AMANDA HASSE

Aos 25 dias do mês de julho do ano de 2014, às 8h45min, 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 nº 19-TCC/2014.

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

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. JOSÉ MIGUEL ETCHALUS (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC / UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, agradeço pela vida, pelas oportunidades e por sempre ter planos muito melhores que os meus. Agradeço pela força de vontade e sabedoria confiadas a mim, e agradeço por todos aqueles a quem tenho a agradecer.

Àquele a quem dediquei as noites em claro, as lágrimas e principalmente, a obrigação de um bom desempenho: meu pai Ildomar. Neste momento agradeço por cada gota de seu suor, que sei sempre ter sido pelo meu melhor.

Agradeço a minha mãe Ivete, por sempre ter uma palavra e um bom conselho a serem dados quando as coisas pareciam querer me fazer desistir.

Aos meus irmãos mais velhos Rafael e Thiago, que certamente, dentro de suas possibilidades, foram os primeiros professores que tive. E aos mais novos, Matheus, Karine e Gustavo, que sempre me incentivaram a ser um bom exemplo.

À minha orientadora, Caroline Angulski da Luz, por todo o conhecimento, bom exemplo, dedicação e interesse passados nos últimos 11 meses.

Ao Emerson, por todo companheirismo para todas as horas, paciência nos momentos difíceis, e auxílio em tudo àquilo que era de seu alcance.

À minhas amigas, Thayna e Thaís, que deram o melhor de si sempre que puderam, e principalmente, por me tirarem da seriedade, mostrando que podemos mais quando fazemos as coisas com alegria.

Aos demais colegas, que cada um de sua forma, sempre tinha algo a acrescentar, quando outro se dispunha a ouvir.

Ao Maxwell, por sempre estar disposto a ajudar, principalmente quando não queria lhe pedir ajuda, mas sabia que realmente era preciso.

A todos os meus amigos, que não precisam ser nomeados, pois sabem do diferencial que foram neste momento, e da importância que tem em minha vida.

Aos professores da banca examinadora, José Miguel Etchalus e José Ilo Pereira Filho, pela disponibilidade e aceitação em participar desta, bem como pelas contribuições feitas no desenvolvimento do trabalho.

Aos demais professores do curso, por estarem sempre disponíveis em ajudar, e de bom grado exercerem o dom de ensinar.

"São as nossas escolhas que revelam quem realmente somos, muito mais do que nossas qualidades."

J. K. Rowling

RESUMO

HASSE, Jéssica A. - **Influência do uso de adição de fíler cerâmico no controle de segregação e exsudação de concretos auto adensáveis**. 2014. 87. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2014.

Desde seu desenvolvimento no Japão em meados da década de 1980, o concreto auto adensável vêm obtendo cada vez mais espaço no mercado mundial da construção civil. Porém, embora apresente vantagens evidentes quando comparado ao concreto convencional, sua obtenção requer um maior controle das etapas, uma vez que, por se tratar de um concreto superfluido, tende apresentar pontos negativos de segregação dos agregados e exsudação da água de amassamento quando não corretamente dosado. Tais fenômenos são corrigidos pelo acréscimo de materiais finos à mistura, como por exemplo, o próprio cimento e ainda o fíler calcário. Simultaneamente ao crescimento do mercado consumidor de concreto auto adensável, houve também um aumento no que diz respeito às questões ambientais que envolvem todo o setor da construção civil. Neste quesito, levantam-se as bandeiras da reciclagem de resíduos, e buscam-se por implantações cada vez mais efetivas de materiais reciclados no ramo, como exemplo os agregados provenientes de resíduos de construção e demolição. Porém, ao se tocarem nas questões relacionadas às propriedades físicas destes materiais, uma forte tendência é de que seu uso seja limitado a aplicações que exijam um maior controle de caracterização, uma vez que, agregados de resíduos reciclados tendem a serem altamente porosos e com elevadas taxas de material pulverulento aderido às suas partículas, provenientes dos processos de beneficiamento dos mesmos. Desta forma, este trabalho verifica a influência do uso do fíler cerâmico produzido quando da produção de agregados reciclados, em forma de adição para concretos auto adensáveis, tornando-se principal agente de controle de segregação e exsudação destes materiais. Por fim, fica evidente que, quando comparado ao fíler calcário, usualmente empregado para tal finalidade, o produto final obtido não oferece perdas de resistência à compressão, nem em primeiras idades, nem em idades finais de cura, além ainda de apresentar um consumo significativamente inferior ao fíler calcário. Fica ainda evidenciada uma resposta semelhante de absorção em relação ao concreto com uso de fíler calcário, quando submetido ao contato com a água por períodos curtos, e recomendações de que quando submetido a períodos mais longos de contato, atenham-se a maiores cuidados quanto à impermeabilização.

Palavras chave: Concreto auto adensável. Resíduos de Construção e Demolição. Fíler cerâmico. Exsudação. Segregação.

ABSTRACT

Since its development in Japan in the mid-1980s, self-compacting concrete have been getting more space in the global construction market. However, although it has obvious advantages when compared to conventional concrete, requires obtaining greater control of the steps, since, as it is a superfluid concrete tends to present negatives effects of the segregation of aggregates and oozing water kneading when not properly dosed. Such phenomena are corrected by adding of thin in the mixture, for example, the cement and the limestone filler. Both growth of the consumer market of self-compacting concrete, there was also an increase with respect to environmental issues involving the entire construction industry. In this regard, if the flags-ups of waste recycling, and seek by increasingly effective deployments in branch recycled materials, such as aggregates from construction and demolition waste. However, when we touch on issues related to the physical properties of these materials, a strong trend is that its use is limited to applications requiring greater control of characterization, since recycled aggregates tend to be highly porous and high exchange powdery material attached to its particles, from the beneficiation processes thereof. Thus, this study verifies the influence of the use of ceramic fillers produced upon production of recycled aggregates in the form of addition for self-compacting concrete, becoming a main control agent of segregation and exudation of these materials. Finally, it is evident that compared to limestone fillers usually employed for this purpose, the final product does not lose compressive strength or in early ages, even in late ages of cure, besides also presenting a significant consumption below the limestone fillers. It is further evidenced a similar response for absorption in relation to the concrete with use of limestone fillers, when subjected to contact with water for short periods, and recommendations that when subjected to longer periods of contact, adhere to greater care as to waterproofing.

Keywords: Self-compacting concrete. Construction and demolition waste. Ceramic fillers. Exudation. Segregation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Resíduos de construção com disposição irregular.....	14
Figura 2: Ponte Shin-kiba Ohashi no Japão.....	17
Figura 3: Museu Iberê Camargo em Porto Alegre.....	17
Figura 4: Faixa granulométrica de agregado miúdo para CAA.....	22
Figura 5: Faixa granulométrica de agregado graúdo para CAA.....	23
Figura 6: Cone de Marsh para ensaios em pastas.....	28
Figura 7: Tronco de Cone para ensaios de <i>mini slump</i>	29
Figura 8: Representação do aspecto de pasta sem e com segregação.....	29
Figura 9: Ensaio de espalhamento <i>slump flow</i>	30
Figura 10: Funil V e caixa L para ensaios em CAA.....	31
Figura 11: Fluxograma de usina de reciclagem da fração mineral de RCD.....	36
Figura 12: Faixa granulométrica da areia utilizada.....	40
Figura 13: Faixa granulométrica da brita utilizada.....	41
Figura 14: Fluxograma de etapas da pesquisa.....	43
Figura 15: Britador de mandíbulas.....	44
Figura 16: Moinho de bolas.....	45
Figura 17: Argamassadeira mecânica.....	47
Figura 18: Tempos de escoamento das pastas.....	56
Figura 19: Evolução dos diâmetros de espalhamento.....	57
Figura 20: Espalhamento <i>mini slump</i>	57
Figura 21: Pastas com adição de fíler.....	59
Figura 22: Argamassas traço 1:3,08:0,54.....	60
Figura 23: Argamassa traço 1:2,0:0,4.....	61
Figura 24: Argamassas com Fíler.....	62
Figura 25: Resistências médias das argamassas aos sete dias.....	64
Figura 26: Resistências médias das argamassas aos 28 dias.....	64
Figura 27: Resistências médias a flexão.....	65
Figura 28: Aspecto interno das argamassas com fíler.....	65
Figura 29: CAA sem e com adições.....	67
Figura 30: Resistências dos concretos com fíler.....	68
Figura 31: Curvas de absorção de água.....	69
Figura 32: Profundidade da absorção de água.....	69
Figura 33: CP's do ensaio de absorção rompidos diametralmente.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Segregação e exsudação de pasta com fíler.	58
Tabela 2: Diâmetros de espalhamento argamassas.	61
Tabela 3: Espalhamento de argamassas com fíler.	63
Tabela 4: Valores dos ensaios de CAA.	66
Tabela 5: Absorção de água.	68
Tabela A. 1: Granulometria do agregado miúdo.	79
Tabela A. 2: Massa específica do agregado miúdo.	80
Tabela A. 3: Granulometria do agregado graúdo.	81
Tabela A. 4: Granulometria agregado miúdo reciclado.	83
Tabela A. 5: Granulometria agregado graúdo reciclado.	83
Tabela A. 6: Massa específica do fíler cerâmico utilizado.	84
Tabela B. 1: Mesclas do esqueleto granular.	87
Tabela C. 1: Resistências dos concretos com adição.	89
Tabela C. 2: Resistências das argamassas com adição.	89

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AGR	Agregado Reciclado
C ₃ A	Aluminato Tricálcico
C ₄ AF	Ferro-Aluminato Tetracálcico
CAA	Concreto Auto Adensável
CAL	Abreviação para Filer Calcário
CAD	Concreto de Auto Desempenho
CBCS	Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis
CCV	Concreto Convencional
CER	Abreviação para Filer Cerâmico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPV-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CSH	Silicato de Cálcio Hidratado
d _{máx}	Dimensão Máxima Característica
IV	Índice de Vazios
MF	Módulo de Finura
MPa	Mega Pascal
NM	Norma MERCOSUL
pH	Potencial hidrogeniônico, que indica acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Y	Massa Específica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	CONCRETO AUTO ADENSÁVEL	16
2.1.1	Histórico	16
2.1.2	Características	18
2.1.3	Materiais	20
2.1.4	Métodos de Dosagem	27
2.2	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	32
2.2.1	Definição	32
2.2.2	Obtenção e Aplicações	33
2.2.3	Porosidade e Materiais Finos de AGR	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	MATERIAIS	39
3.1.1	Cimento	39
3.1.2	Agregado Miúdo	39
3.1.3	Agregado Graúdo	40
3.1.4	Aditivos	41
3.1.5	Adições	42
3.2	METODOLOGIA DE ENSAIOS	43
3.2.1	Fluxograma de Etapas da Pesquisa	43
3.2.2	Obtenção do Fíler Cerâmico	44
3.2.3	Ensaio em Pasta	45
3.2.4	Ensaio em Argamassa	49
3.2.5	Ensaio em Concreto	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	ENSAIOS EM PASTA	56
4.1.1	Saturação do Aditivo	56
4.1.2	Teor Ótimo de Fíler	58
4.2	ENSAIOS EM ARGAMASSA	60
4.2.1	Argamassa no Estado Fresco	60
4.2.2	Argamassa no Estado Endurecido	63
4.3	ENSAIOS EM CONCRETO	66

4.3.1	Concreto no Estado Fresco	66
4.3.2	Concreto no Estado Endurecido	67
5	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS.....	73
	APÊNDICE A: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	78
	AGREGADO MIÚDO	79
	AGREGADO GRAÚDO	80
	AGREGADO RECICLADO	82
	FÍLER CERÂMICO	84
	APÊNDICE B: DETERMINAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR	85
	APÊNDICE C: RESISTÊNCIAS DAS ARGAMASSAS E CONCRETOS	88

1 INTRODUÇÃO

Desenvolvido pelos japoneses, ainda em meados da década de 1980, o concreto auto adensável objetivava corrigir pontos falhos existentes na aplicação do concreto convencional daquela época, como a carência de mão de obra na execução do lançamento e adensamento, bem como a dificuldade em se preencher formas de estruturas com elevada quantidade de armadura, e de *designs* diferenciados (OKAMURA e OUCHI, 2003).

Com o desenvolvimento dos estudos acerca deste novo tipo de concreto, puderam ser observadas algumas outras vantagens, como: as elevadas resistências características obtidas pelo menor índice de vazios, como o cimento; a redução do ruído em obras pela dispensa do uso do vibrador de imersão; o melhor acabamento da superfície final, além ainda da maior velocidade de execução das peças.

Porém, apesar de apresentar características significativamente vantajosas quando comparado ao concreto convencional, seu uso é ainda limitado, uma vez que sua obtenção exige um maior rigor no controle das etapas. Tal exigência se deve às propriedades que este concreto deve atender quando no estado fresco: coesão, habilidade passante, e fluidez (TUTIKIAN, 2007).

Para que estas propriedades sejam atendidas, o concreto auto adensável necessita, entre outros fatores, de uma elevada quantidade de materiais finos, de modo a controlar os fenômenos de segregação dos agregados, e da exsudação da água de amassamento. Vale lembrar que no concreto convencional, os finos são rejeitados, uma vez que para que sua incorporação seja efetiva, estes exigem uma maior demanda de água, diminuindo a resistência característica final destes.

Levando-se em conta outra linha de estudos, vem sendo cada vez mais discutidas e aprimoradas as implantações da reciclagem no setor da construção civil, conhecido por ser um setor de grande impacto ambiental, de acordo com o Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis (CBCS, 2009). Desta forma, são desenvolvidos novos métodos de aplicação de materiais reciclados, sendo que entre estes, está o emprego dos resíduos sólidos de construção na forma de agregados, classificados pela resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) como classe A.

A produção destes agregados emprega em geral fragmentos de materiais cerâmicos, argamassas e concretos, provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD). O beneficiamento destes materiais é realizado a partir da moagem dos mesmos, em moinhos de reciclagem, sendo classificados posteriormente quanto à granulometria de acordo com a série de peneiras para ensaio da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: NM-ISO 565/1997.

Durante o processo de moagem destes materiais, ocorre uma elevada produção de materiais finos, com presença significativa do material cerâmico. Estes finos, se empregados no concreto convencional, acabam por prejudicar o desempenho mecânico do mesmo, limitando desta forma o uso de agregados de RCD em concretos estruturais.

Neste contexto, o presente trabalho abordará a influência do fíler de material cerâmico no concreto auto adensável, buscando que com seu uso, os fenômenos de segregação e exsudação sejam controlados, e ao mesmo tempo, trará um novo método de aplicação para resíduos de construção, visando à questão ambiental, necessária ao desenvolvimento das atividades de construção na atualidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade técnica do uso de finos de blocos cerâmicos visando à valorização de resíduos de demolição e construção (RCD) como adição em concreto auto adensável (CAA).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência do fino cerâmico no tempo de escoamento de pastas;

- Avaliar a influência do fino cerâmico no controle de segregação e exsudação em pastas e argamassas de concreto auto adensável;
- Avaliar a influência do fino cerâmico na resistência mecânica de argamassas de concretos auto adensáveis.
- Avaliar a influência do fino cerâmico na resistência mecânica e porosidade de concretos auto adensáveis.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção civil é atualmente tida como um dos maiores degradantes do meio ambiente. Isto ocorre em todas as fases do processo construtivo, desde a produção dos materiais que o sistema emprega, até o descarte final dos resíduos oriundos da execução das atividades de construção e demolição, como mostra a Figura 1.

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012), a geração de resíduos de construção e demolição no ano de 2012 no país, foi de cerca de 35 milhões de toneladas, o que corresponde a algo em torno de 55% de todo o resíduo sólido urbano coletado no mesmo ano.



Figura 1: Resíduos de construção com disposição irregular.
Fonte: Imagens do Google, 2014.

Tendo em vista a necessidade da reciclagem dos resíduos neste setor, há alguns anos vêm sendo estudados novos métodos de aplicação para tais, porém, geralmente empregados com finalidades menos nobres por assim dizer, como exemplos bases e sub-bases de pavimentação, ou agregados de concretos sem função estrutural, limitando desta forma seu uso (ANGULO, 2000).

Ainda, resoluções ambientais recentes, como os Projetos de Lei 0037/2011 e 5807/2013 (BRASIL, Câmara dos Deputados) limitam a extração e o uso de areias naturais como agregado miúdo, pela degradação ambiental gerada na obtenção deste produto. Pelo mesmo aspecto, o uso dos agregados graúdos tradicionais tende a limitar-se, levando-se em conta também o alto desprendimento de energia utilizada na sua produção.

Em outro âmbito, quando se obtém agregados através da moagem de RCD, ocorre uma elevada produção de finos, limitando assim o uso destes materiais no concreto convencional, pela necessidade de maior quantidade de água de amassamento na incorporação destes agregados, influenciando diretamente na resistência final do concreto.

O concreto auto adensável, por ser mais fluido que os concretos convencionais, apresenta maior tendência aos fenômenos de segregação dos agregados e exsudação da água de amassamento. Estes fenômenos são corrigidos pelo acréscimo de materiais finos à mistura, sendo que os mais utilizados são o fíler calcário, a cinza volante, e as escórias de variadas procedências, como exemplo, a escória de alto forno.

Neste contexto, o uso dos agregados provenientes de RCD em concreto auto adensável, bem como e principalmente, do fíler de material cerâmico obtido na sua moagem, pode ser visto como uma solução, tanto para a questão da reciclagem dos resíduos, como na manutenção das propriedades deste tipo de concreto.

Desta forma, a aplicação dos resíduos em concreto auto adensável pode tornar-se viável, tanto por suprir a necessidade dos finos do concreto, pela alta quantidade de fíler de material cerâmico nestes materiais, bem como pela elevada oferta de material a ser reciclado, propiciada pela baixa demanda do mesmo.

No contexto prático, o desenvolvimento do trabalho dispõe, mesmo que de forma ainda limitada, de bibliografias e normatizações para dar curso à execução das atividades, tornando desta forma exequível tal pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO AUTO ADENSÁVEL

2.1.1 Histórico

O concreto auto adensável (CAA) originou-se no Japão, no ano de 1986, a partir de estudos desenvolvidos pelo professor Okamura da Universidade de Tóquio. Sua pesquisa se deu acerca do desenvolvimento de uma nova categoria de material cimentício, de modo que esta pudesse dispensar parte dos trabalhadores comumente envolvidos nas etapas de concretagem, principalmente da fase de adensamento, uma vez que a mão de obra qualificada tornava-se escassa na época (OKAMURA e OUCHI, 2003).

O primeiro protótipo satisfatório desta nova categoria foi obtido em 1988, na mesma pesquisa. Este apresentou bons aspectos com relação ao calor de hidratação, retração, densidade no estado endurecido, entre outras propriedades (LEITE, 2007).

Segundo Okamura e Ouchi (2003), a primeira aplicação comercial do concreto auto adensável, ocorreu em junho de 1990 no Japão, na execução de algumas partes de um edifício. Já em 1991, o CAA foi utilizado na construção das torres de uma ponte estaiada em concreto protendido, mostrada na Figura 2.



Figura 2: Ponte Shin-kiba Ohashi no Japão.
Fonte: Okamura e Ouchi, 2003.

No Brasil, a execução do Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre/RS, trouxe um conceito inovador (Figura 3). Optou-se pela utilização de concreto branco, em função da arquitetura da edificação (MANUEL, 2005). A princípio, a execução seria realizada por um concreto convencional fluido, com 20cm de abatimento, porém este apresentou diversos problemas no acabamento superficial, sendo então substituído pelo CAA, que solucionou estes problemas, além de ter se tornado viável economicamente (TUTIKIAN, 2007).



Figura 3: Museu Iberê Camargo em Porto Alegre.
Fonte: Imagens do Google, 2014.

Além das aplicações *in situ* do CAA, deve-se lembrar do grande uso deste em elementos pré-moldados. Para esta situação, o CAA apresenta grandes vantagens em relação ao concreto convencional, por reduzir o tempo de fabricação dos elementos, muito importante neste setor. Ainda, a dispensa da vibração pode muitas vezes, prolongar a vida útil das formas, aumentando o ganho econômico sobre seu uso (TUTIKIAN, 2007).

Muito embora o uso do concreto auto adensável seja limitado, para alguns autores como Melo (2005) e Manuel (2005), há uma tendência de que este venha a ter um crescimento nos próximos anos, influenciado pelo aumento nos estudos nessa área, bem como pelo aumento do setor de elementos pré-fabricados, uma vez que esta é hoje uma das principais aplicações do CAA.

2.1.2 Características

Segundo Tutikian (2004), o termo concreto auto adensável, designa uma nova categoria cimentícia, capaz de escoar e preencher as formas apenas sob a ação de seu peso próprio, sem que perca sua homogeneidade e sem que deixe vazios no percurso.

Ainda, Leite (2007) elucida que o CAA pode ser visto como uma suspensão de partículas sólidas em um líquido viscoso, referenciando as partículas sólidas como sendo os agregados, e o líquido viscoso como a própria pasta de cimento. Para Manuel (2005), somente haverá a correta suspensão dos agregados na mistura, se a pasta apresentar viscosidade adequada, de modo a garantir resistência suficiente para manter a homogeneidade do agregado no meio fluido.

Porém, para que um concreto seja considerado auto adensável, três propriedades devem ser atendidas, sendo estas a fluidez, a habilidade passante, e a resistência a segregação. A fluidez permite que o concreto possa escoar dentro das formas, sem o auxílio de ação externa, preenchendo os vazios existentes. A habilidade passante é a capacidade de o concreto passar por armaduras e obstáculos, sem que a mistura se perca pelo caminho, e sem que haja obstrução do fluxo. Já a resistência à segregação trata da capacidade do concreto permanecer coeso durante o preenchimento das formas (TUTIKIAN, 2007).

Um cuidado especial deve-se ater com relação aos fenômenos de segregação e exsudação, uma vez que estes são indesejados e ao mesmo tempo muito propícios pela elevada fluidez do CAA.

Segregação é o nome atribuído ao fenômeno da separação dos constituintes da mistura, através da perda de homogeneidade. Tende a ocorrer nas fases de transporte e lançamento do concreto, causada principalmente pelas diferentes massas específicas e dimensões de seus constituintes. Água em excesso, ou até mesmo insuficiente, torna a viscosidade do concreto inadequada, quebrando a homogeneidade da mistura.

A exsudação é semelhante à segregação, porém, trata da incapacidade dos sólidos do concreto absorverem a água, fazendo com que esta fique em suspensão por possuir menor massa específica. Esta pode variar de acordo com as propriedades do cimento e agregados, como finura e teor de C_3A no primeiro, e teor de finos e absorção no segundo.

As três características do concreto auto adensável (fluidez, a habilidade passante, e a resistência à segregação), complementam ainda a reologia do mesmo. A reologia trata dos estudos acerca do fluxo e da deformação dos materiais, sendo que no CAA estas se desenvolvem em torno de sua viscosidade plástica, e da tensão de escoamento.

A viscosidade é definida como a capacidade de resistir à deformação do concreto quando tensionada, sendo variável de acordo com o atrito interno, em função da coesão da mistura (MANUEL, 2005). Já a tensão de escoamento é caracterizada pela tensão de cisalhamento inicial aplicada ao material para que este entre em movimento, como função do estado de dispersão das partículas (MELO, 2005).

Ainda no estado fresco, o concreto auto adensável deve respeitar o tempo em aberto, correspondente ao tempo no qual este mantém a capacidade de escoar, e ainda a bombeabilidade que trata da capacidade deste ser bombeado a maiores distâncias ou alturas, sem que provoque danos aos equipamentos (REPETTE, 2011).

No estado endurecido, segundo Perius (2009), o CAA apresenta um menor módulo de elasticidade pela menor quantidade de agregado graúdo, maior durabilidade em função da menor quantidade de vazios, porém ainda, maior retração, ambos causados pela elevada presença de finos. Apresenta ainda um bom

acabamento final, devido à ausência de bolhas e nichos de concretagem, e uma homogeneidade de cor e textura (REPETTE, 2011).

Inicialmente, o CAA enquadrava-se na categoria de concretos de auto desempenho (CAD), devido ao fato de este, atingir elevadas resistências mecânicas, na casa de 60MPa, em dosagens usuais (PERIUS,2009).

Entre as vantagens do concreto auto adensável, podem ser citados o aceleração da construção, a redução de trabalhadores no canteiro, o melhor acabamento da superfície, a possibilidade de concretagens de formas de desenhos diferenciados e com altas taxas de armadura, a eliminação do ruído dos vibradores, e ainda uma possível redução dos custos finais da obra (TUTIKIAN et al, 2006).

Como desvantagens, Lisbôa (2004) cita a dificuldade na obtenção do CAA, necessitando de maior rigor nas etapas de execução, a começar pela especialização da mão de obra, exige maiores cuidados no transporte, devido à facilidade de segregação, e possui um menor tempo de trabalho se comparado ao concreto convencional.

2.1.3 Materiais

Com relação aos materiais constituintes do CAA, estes não se diferenciam do concreto convencional. São utilizados o cimento, agregados graúdo e miúdo, água, aditivos e adições. Em suma, a maior diferenciação ocorre com relação aos materiais finos, sendo estes necessários ao CAA e rejeitados no CCV (PERIUS, 2009).

2.1.3.1 Cimento

De modo geral, todos os cimentos Portland podem ser utilizados para a obtenção do concreto auto adensável. Porém, deve-se salientar que diferentes cimentos, de acordo com a composição química, índice de finura, adições minerais,

e até mesmo o fabricante, reagem também de diferentes maneiras, devendo cada dosagem ser específica a cada tipo de cimento (REPETTE,2011).

Embora não existam especificações quanto o cimento a ser utilizado, a escolha deve ser feita a partir das propriedades deste. Nunes (2001) lembra que a distribuição granulométrica da mistura e a forma das partículas pode ser um fator determinante. Quanto maior a superfície específica de um cimento (maior finura), maior será também a viscosidade plástica da mistura, pela diminuição da distância entre partículas, e conseqüente aumento da frequência de colisão das partículas. Já o melhor empacotamento provoca um aumento na fluidez, pela diminuição da tensão de cisalhamento.

Com relação à composição química dos cimentos, o aluminato tricálcico e o ferro-aluminato tetracálcico (C_3A e C_4AF respectivamente), são os principais responsáveis pela adsorção dos aditivos. Deste modo, recomenda-se a utilização de cimentos com menores índices destes componentes, a se obter uma maior homogeneidade na distribuição dos aditivos de propriedades dispersantes (NUNES, 2001).

2.1.3.2 Agregados

Os agregados a serem utilizados em CAA são de um modo geral, os mesmos empregados no concreto convencional, sendo o fator da disponibilidade regional preponderante na escolha dos mesmos (MELO, 2005).

A primeira recomendação com relação aos agregados é a de que suas partículas sejam preferencialmente arredondadas. Esta imposição se deve ao fato de que grãos lamelares causam maior intertravamento de partículas, além de maior adsorção de água, necessitando de uma maior quantidade de pasta para a obtenção da fluidez desejada (REPETTE, 2011).

Quanto à dimensão dos agregados, usualmente podem ser empregados agregados graúdos com dimensão máxima de 19mm, porém, deve-se levar em conta a dimensão das aberturas, de modo a não ocorrer a restrição do fluxo. É recomendado o uso de agregados com diâmetro máximo de 9,5mm, uma vez que

quanto maior for este diâmetro, maior também deverá ser a viscosidade da pasta, de modo a evitar que ocorra a segregação deste material (REPETTE, 2011).

Ainda, quanto maior a compacidade dos agregados (melhor empacotamento), obtido através de uma granulometria contínua, menor a demanda de pasta na mistura para se obter um mesmo volume de concreto (LEITE, 2007). Também, segundo Melo (2005), quando não há a continuidade granulométrica, podem ocorrer alguns problemas, como um aumento no consumo de cimento, a redução da fluidez da mistura, e um maior índice de vazios em torno dos agregados.

Proposto por Melo (2005), as faixas granulométricas limites de agregados miúdos (areia) para concreto auto adensável, podem ser visualizadas na Figura 4. Tais faixas permitem que a areia utilizada ofereça um empacotamento ideal à mistura, proporcionando desta forma, maior fluidez à mesma.

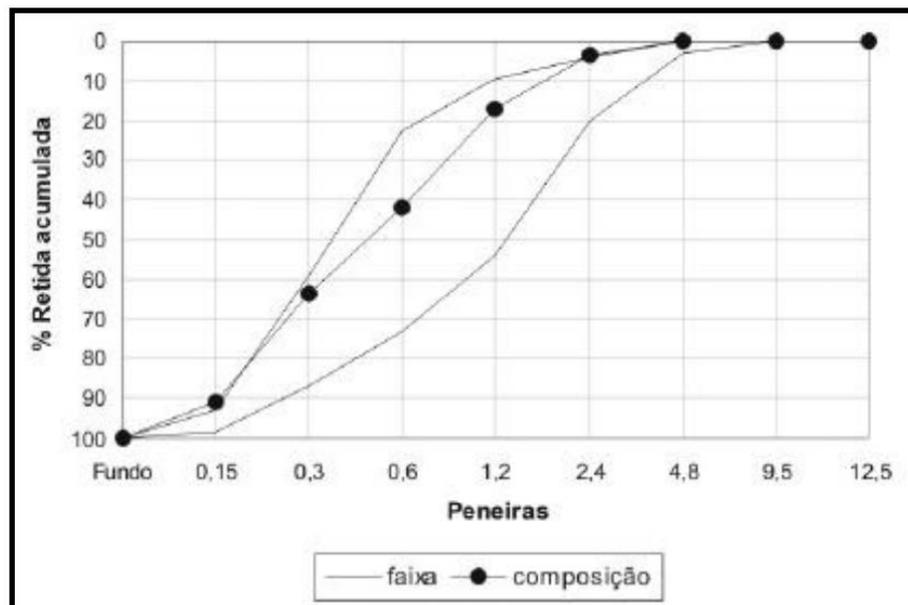


Figura 4: Faixa granulométrica de agregado miúdo para CAA.
Fonte: Melo, 2005.

Ainda segundo Melo (2005), para agregados graúdos pode ser determinada uma mesma faixa granulométrica limite para uso em CAA. Esta pode ser observada na Figura 5.

Quando o material obtido não se enquadra dentro de tais limites granulométricos, podem ser utilizadas mesclas de materiais, como por exemplo, entre areia média e areia fina, e entre britas n°0 e n°1.

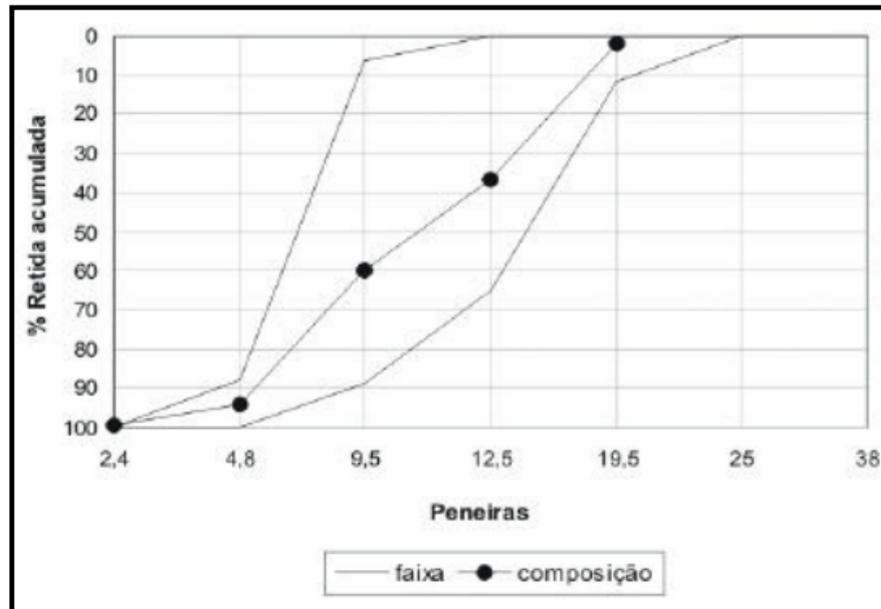


Figura 5: Faixa granulométrica de agregado graúdo para CAA.
Fonte: Melo, 2005.

2.1.3.3 Água

Da mesma forma que para a confecção do concreto convencional, a água utilizada em concreto auto adensável deve ser de qualidade. A amostra a ser utilizada, segundo a ABNT: NM-ISO:137/1997, deve apresentar o valor máximo de $5000 \cdot 10^{-6} \text{g/cm}^3$ para sólidos totais e um pH compreendido entre 5,5 e 9,0.

Embora o CAA seja um concreto de elevada fluidez, a quantidade de água empregada no amassamento não deve ser muito maior que a quantidade necessária para promover a hidratação do cimento, sendo então obtida a fluidez necessária através do emprego de aditivos superplastificantes (MELO, 2005).

Deve-se tomar um cuidado especial na quantidade de água incrementada à mistura, uma vez que esta, apesar de aumentar significativamente a deformabilidade do concreto, diminui a viscosidade do mesmo, provocando desta forma a segregação dos materiais. A quantidade ideal de água a ser adicionada à mistura pode ser definida a partir da relação água/materiais finos (NUNES, 2001).

2.1.3.4 Aditivos

Os principais aditivos utilizados em concreto auto adensável são os superplastificantes e os modificadores de viscosidade, de modo a assegurar as duas propriedades fundamentais do CAA: a elevada fluidez e a viscosidade necessária para manter a homogeneidade da mistura (MELO, 2005).

Os aditivos superplastificantes podem ser divididos de acordo com suas propriedades químicas. Os aditivos ditos de primeiras gerações enquadravam os lignossulfonatos, naftaleno sulfonado e melanina sulfonada. A partir destes desenvolveram-se ainda outros novos tipos de aditivos, de mesmas características. Os aditivos mais recomendados para CAA são os ditos de terceira geração, sendo estes formados por éster policarboxílicos (SILVA et al, 2009).

Os lignossulfonatos são aditivos plastificantes de primeira geração, redutores de água. Obtidos através da extração da celulose da madeira, podem reduzir em média cerca de 8 a 12% a quantidade de água necessária para atingir determinada trabalhabilidade em um concreto. Estes possuem limitação no tempo de trabalho do concreto, e podem ainda incorporar grandes quantidades de ar à mistura (HARTMANN e HELENE, 2003).

Ainda segundo os mesmos autores, os aditivos à base de naftaleno sulfonado e melanina sulfonada, são aditivos superplastificantes redutores de água, de segunda geração, podendo reduzir até 25% da água de amassamento, obtidos através de técnicas de polimerização.

Os aditivos de terceira geração, formados por éster policarboxílicos - também conhecidos como policarboxilatos - são aditivos superplastificantes redutores de água, que permitem reduções de 30 a 45% da água a ser empregada (LEITE, 2007).

Leite (2007) cita ainda que, além da redução da quantidade de água de amassamento necessária, algumas vantagens podem ser elencadas como consequência desta, entre elas o aumento da resistência mecânica, a amenização dos fenômenos de segregação e exsudação, o aumento da durabilidade das estruturas, mas principalmente, a elevada fluidez que pode ser atingida com tal aplicação.

Entre as famílias de superplastificantes, as distinções ocorrem segundo a forma como estes agem na mistura. As primeiras gerações de aditivos tem sua ação

através da repulsão eletrostática das partículas de cimento. Nos aditivos de terceira geração também ocorrem interações por repulsão eletrostática, porém, este não é seu principal agente. A repulsão dita estérica, conhecida pela formação de longas cadeias laterais, ligadas a vários pontos centrais do polímero, possui forte efeito dispersante, causado pela formação de uma capa de adsorção de grande volume, impedindo a aproximação de partículas de cimento (HARTMANN e HELENE, 2003).

Os aditivos modificadores de viscosidade, formados a partir de derivados da celulose e polissacarídeos, possuem como principal atuação o aumento da tensão de escoamento, e conseqüente aumento da viscosidade da pasta de cimento, de modo a se evitarem os fenômenos de segregação e exsudação da mistura (LEITE, 2007).

A ação dos modificadores de viscosidade no concreto pode ser feita de duas maneiras. A primeira destas é por meio da adsorção destes às partículas de cimento, evitando com que o aditivo superplastificante ocupe este espaço, conseguindo-se um aumento na viscosidade por meio de uma redução na fluidez do concreto. O segundo modo de atuação destes aditivos se dá através da dispersão em água, onde as cadeias poliméricas podem absorver a água livre existente no concreto, sendo então estes segundos os mais indicados para aplicações em CAA (MELO, 2005).

2.1.3.5 Adições

Nunes (2001) cita que as adições são materiais finamente moídos, acrescentados à mistura de concreto, com propósitos de melhorar suas características já existentes, ou ainda, adicionar propriedades especiais ao mesmo.

Leite (2007) complementa ainda que, em alguns casos, dependendo da reatividade da adição, estas podem ser utilizadas como substituintes do cimento. Trata ainda que, no estado fresco estas podem ser responsáveis por aumentos na coesão da mistura e deformabilidade, e diminuição na ocorrência da exsudação. Já no estado endurecido, podem ser registrados aumento na resistência característica e durabilidade das estruturas.

Em geral, as adições utilizadas em concreto auto adensável, necessárias para manter a coesão da mistura, e evitar a segregação dos materiais, são geralmente finos minerais, inertes ou pozolânicos (PERIUS, 2009).

Quando inertes estes materiais possuem efeito físico, melhorando a coesão da mistura por intermédio do melhor empacotamento dos grãos. No caso da ocorrência da influência por efeito químico, as partículas da adição reagem com a portlandita, formando silicato de cálcio hidratado (C-S-H), um dos responsáveis pela resistência dos materiais cimentícios (PERIUS, 2009).

Entre outros fatores, a eficácia no uso das adições depende de quesitos como sua reatividade, granulometria, tamanho e forma das partículas, além da textura superficial e absorção das mesmas. Melo (2005), elucida que, entre os diversos tipos de adições disponíveis, as mais empregadas são a cinza volante, fíler calcário, escória de alto-forno e sílica ativa.

A cinza volante, produzida a partir da queima do carvão mineral, é um material de características pozolânicas, podendo, dependendo da origem, apresentar características cimentantes (quando possui teores significativos de cálcio), com grãos arredondados. Seu uso como adição em concretos pode reduzir a quantidade de água necessária para obter uma mesma fluidez, proporcionar uma maior coesão da mistura, controlar a ocorrência dos fenômenos de segregação e exsudação, bem como a redução do calor de hidratação (LEITE, 2007; MELO, 2005).

A sílica ativa, subproduto da obtenção do silício metálico e das ligas de silício, caracterizada por possuir estrutura amorfa quase esférica, é uma adição altamente reativa. Como vantagens da sua aplicação podem ser elencadas o aumento da coesão e da fluidez da mistura, seguida do controle dos fenômenos de exsudação e retração plástica, além da redução do calor de hidratação e da permeabilidade das estruturas (LEITE, 2007; MELO, 2005).

O fíler calcário, produzido através da moagem de rochas calcárias, possui partículas prismáticas, e muito embora não seja um material completamente inerte, seu principal modo de ação é através do efeito físico na mistura. Sua aplicação em CAA provoca redução na tensão de escoamento, porém, não apresenta acréscimo significativo à viscosidade da pasta. Alguns estudos indicam que este material pode reduzir a deformabilidade do concreto, controlando a segregação e exsudação do mesmo (LEITE, 2007; MELO, 2005).

A escória de alto-forno, obtida como subproduto da produção do ferro gusa em alto-forno, possui finura e forma das partículas variáveis de acordo com sua obtenção e moagem. Quando utilizada em associação com cimentos e pozolanas, contribui positivamente nas propriedades do concreto. Entre as vantagens de seu uso, podem ser citadas o aumento na fluidez e viscosidade das pastas, maior tempo de pega e redução da exsudação (MELO, 2005).

2.1.4 Métodos de Dosagem

Para a obtenção do concreto auto adensável, existem hoje disponíveis na bibliografia diversos métodos de dosagem, sendo diferenciados dos métodos de dosagem para concreto convencional, porém, com fundamentação também empírica (LISBÔA, 2004).

Um dos precursores não só dos métodos de dosagem, como também do próprio desenvolvimento do CAA foi o professor Okamura, da Universidade de Tóquio. Na sua proposta, considera-se que o concreto seja composto de duas fases, a argamassa e o agregado graúdo. Em suma, a quantidade de agregado graúdo seria definida por 50% do volume sólido de agregado, sendo então adicionada a argamassa, composta em 40% de seu volume por areia. Após uma primeira mistura, verifica-se a capacidade de fluir e a viscosidade do concreto, corrigindo-se por fim a dosagem de superplastificante e a relação água/materiais finos (LISBÔA, 2004).

Outro método de dosagem foi proposto por Tutikian em 2004 em sua dissertação, sendo readaptado em 2007 em sua tese. Em seu método, Tutikian (2007) propõe um método semelhante ao método IPT de dosagem convencional, no qual, por fim, desenham-se os gráficos de desempenho, em função de três traços de concreto (rico, pobre e intermediário), de modo a servir de base para as próximas dosagens.

Um método de dosagem muito apreciado na literatura é o Método de Gomes. Tal método baseia-se em duas etapas iniciais: a determinação de um esqueleto granular dos materiais secos (com o mínimo de vazios), e a pasta, obtidos de forma distinta (ALENCAR, 2008).

O método é definido em duas etapas: a primeira das etapas envolve a determinação do esqueleto granular dos agregados, de modo a se obter o menor índice de vazios. A segunda destas busca a obtenção de uma pasta de cimento, com fluidez e coesão ideais, a partir da definição de teores ideais de aditivo superplastificante e adições de finos, necessários a se adquirirem as três propriedades fundamentais do CAA (resistência à segregação, habilidade passante e fluidez) (LEITE, 2007).

A dosagem de superplastificante é feita a partir de ensaios do cone de Marsh (Figura 6), onde podem ser avaliadas a fluidez e trabalhabilidade da mistura. O ensaio determina o tempo necessário para que 200ml de pasta escoem, de uma quantidade inicial de 800ml. Para tal determinação, as quantidades de água, fíler e cimento são fixados anteriormente, variando-se apenas o teor de aditivo. O ponto ideal é aquele no qual ocorre a saturação do aditivo, ou seja, o acréscimo da quantidade de aditivo na pasta não representa diminuição no tempo de escoamento (LISBÔA, 2004; FIORENTIN, 2011).



Figura 6: Cone de Marsh para ensaios em pastas.
Fonte: A Autora, 2014.

A dosagem ideal de fíler é obtida através dos ensaios de *mini slump* (Figura 7). Neste ensaio, podem ser avaliadas a fluidez e deformabilidade da pasta, sendo estas aferidas por medições do espalhamento total, com o auxílio de uma trena, e pelo aspecto da circunferência.



Figura 7: Tronco de Cone para ensaios de *mini slump*.
Fonte: A Autora, 2014.

A presença de água nas bordas, ou uma película da mesma formada na superfície representam a ocorrência de exsudação. Já a irregularidade da borda, bem como a presença de maior concentração de material no centro, indicam a ocorrência de segregação, podendo estas acontecerem simultaneamente ou não (FIORENTIN, 2011).

Uma representação de tais ocorrências pode ser visualizada na Figura 8.



Figura 8: Representação do aspecto de pasta sem e com segregação.
Fonte: Adaptado de Fiorentin, 2011.

Para a determinação do esqueleto granular, preenche-se um recipiente de 5 litros com uma mistura de areia e brita, obtendo-se a massa unitária e o volume de vazios da mistura, a partir das propriedades dos dois materiais. Repete-se o ensaio para diferentes proporções dos dois materiais, e a escolha se dá por aquele que apresentar maior densidade e menor índice de vazios (LISBÔA, 2004).

Na determinação do volume de pasta ótimo, são produzidos concretos com distintos teores de pasta, de modo a se obter aquele que melhor se adaptar ao produto exigido. Este deve preencher os vazios do esqueleto granular, e ao mesmo tempo obter os critérios de auto-adensibilidade, sendo estes medidos através do *slump flow* pelo cone de Abrams, pela caixa L e funil V (LISBÔA, 2004).

O ensaio de *slump flow* (Figura 9) tem como objetivo a aferição do espalhamento do concreto já finalizado, de modo a verificar o preenchimento deste, além de mostrar através da circunferência final a ocorrência de segregação e/ou exsudação. Este é realizado com o mesmo cone com o qual realiza-se o ensaio de *slump test* do concreto convencional, porém, sem que ocorra a etapa de adensamento do concreto, uma vez que deve ser obedecido o critério de autoadensibilidade do mesmo. A circunferência final medida ideal deve estar compreendida entre 600 e 800mm, com espalhamento homogêneo, sem que ocorra exsudação e segregação (ABNT NBR 15823/2010).



Figura 9: Ensaio de espalhamento *slump flow*.
Fonte: Imagens do Google, 2014.

No ensaio da caixa L (Figura 10), simula-se a formação de obstáculos, de modo a verificar a habilidade passante e de preenchimento do concreto, pela passagem por barras de aço, sem que haja a ocorrência de obstrução do fluxo, bem como a adensabilidade deste, aferindo-se as alturas finais obtidas no início e fim do curso do concreto na caixa, sendo valores ideais para a proporção H_f/H_i , aqueles compreendidos entre 0,8 e 1,0 (ABNT NBR 15823/2010).

Já o ensaio realizado no funil V (Figura 10) determina o tempo que um dado volume conhecido de concreto leva para escoar através de uma seção reduzida, sendo mostrados neste a habilidade em preencher e passar por obstáculos. Este tempo deve estar compreendido entre 5 e 10 segundos de escoamento, para o funil completo até a borda (ABNT NBR 15823/2010).



Figura 10: Funil V e caixa L para ensaios em CAA.
Fonte: Adaptado de Imagens do Google, 2014.

2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

2.2.1 Definição

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da resolução nº 307/2002, a qual cita as diretrizes acerca da gestão dos resíduos da construção civil no país, resíduos de construção civil:

"São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha."

Já os resíduos de construção e demolição, com características destinadas às aplicações em concretos, são aqueles enquadrados nesta mesma resolução como de classe A: provenientes de serviços de pavimentação e obras de infraestrutura, além de componentes cerâmicos (telhas, blocos, tijolos), argamassa e concreto de obras de edifícios, e os de fabricação de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fio).

Os agregados reciclados podem ser definidos como sendo um material granular, produto da britagem industrial dos resíduos inorgânicos de construção e demolição, tendo o retorno de aplicação destinado ao setor da construção civil (LEITE, 2001).

Ainda, dentro das classificações dos agregados reciclados, podem ser divididos os materiais obtidos em RCD cinza e RCD vermelho. A porção referente ao RCD cinza é aquela obtida através da moagem de estruturas de concreto, argamassas e outros materiais cimentícios. Já a porção referente ao RCD vermelho se dá basicamente pelo processamento de materiais argilosos, como cerâmicas, blocos cerâmicos e telhas.

Angulo (2005), cita em seu trabalho que em geral, utiliza-se do RCD cinza para a confecção de calçadas, blocos de concreto e outros artefatos, como bancos.

Já o RCD vermelho, é destinado às atividades de pavimentação, principalmente das bases de pavimentos, não sendo citados possíveis usos em concretos.

2.2.2 Obtenção e Aplicações

A construção civil segue um modelo de produção linearizado, onde a etapa final acaba sendo a geração de resíduos. Para Angulo (2000), este modelo de produção acaba por suscitar em problemas grandiosos, como a escassez de matéria prima, elevados custos com o gerenciamento dos resíduos, e um grande consumo de energia.

De forma a minimizar este efeito da linha de produção da construção civil, surge a reciclagem de RCD para a obtenção de agregados reciclados, de modo a retornar este material à utilização no próprio setor, tornando a produção que era antes linear, agora um ciclo fechado.

Para Angulo (2000), a aplicação dos agregados reciclados (AGR) varia de acordo com os materiais que compõem o agregado final, sendo que, quando não ocorre a separação adequada dos resíduos, o produto final pode apresentar plásticos, metais e até mesmo madeira, o que tornam o uso do agregado limitado.

Segundo Ulsen (2006), para algumas aplicações dos agregados de RCD, o controle de etapas da obtenção deve ser mais rigoroso, uma vez que, aplicações mais nobres, como o uso em concretos estruturais, podem ser prejudicadas por algumas propriedades físicas e químicas que o material final obtido pode apresentar.

A autora ressalta ainda que, quando aplicados em concretos estruturais, atenção maior deve ser tomada quanto ao teor de absorção de água que estes agregados possuem, bem como, por consequência, uma maior tendência à retração, uma vez que, os teores de argamassa que revestem os agregados são variados, de acordo com a procedência de cada lote.

Leite (2001) cita que, quando se tratam de estudos acerca de agregados para concreto, todas as propriedades relacionadas à granulometria, absorção de água, forma e textura, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias químicas presentes nestes devem ser levantados, principalmente quando se tratam de agregados reciclados, uma vez que, todos estes fatores

responderão sobre sua viabilidade técnica, um dos principais fatores que ditam o uso destes materiais, juntamente à viabilidade econômica.

A obtenção dos agregados, conhecida também por cominuição (ANGULO, 2005), consiste na diminuição do tamanho das partículas, por meio de dois processos: a britagem, ou a moagem, variáveis de acordo com a granulometria final desejada no material.

A principal destas duas operações é a britagem, sendo esta a mais empregada no setor. O material pode passar por distintos processos de britagem, até se atingir a granulometria desejada. Segundo Angulo (2000), este processo pode ser do tipo impacto, mandíbula, martelo ou por rolos.

Ainda segundo o mesmo autor, a britagem de impacto é capaz de fornecer agregados para aplicações em obras rodoviárias, possuindo em seu sistema unidades primárias e secundárias. Os britadores de mandíbula foram desenvolvidos especialmente para britagem de rochas e similares, produzindo agregados com boa granulometria para concretos estruturais. Já os britadores do tipo martelo, reduzem por impacto partículas maiores em partículas menores, obtendo materiais mais finos. Por fim, os britadores de rolo, reduzem as partículas a tamanhos maiores, na casa de 7,5 a 10,0cm.

Os processos de moagem são mais empregados para a produção de materiais finos, como as próprias adições para concreto. Segundo Ulsen (2006), estes podem ser subdivididos em moagem por moinho de bolas, moinho de barras, de martelos, vibratório, moinho de Raymond e moinho de rolos.

Já as operações ditas de concentração (ULSEN, 2006), objetivam a classificação dos materiais, de modo a aumentar o teor de mineral útil, podendo ser realizadas classificações quanto a cor, forma, densidade, propriedades elétricas, magnéticas, e físico-químicas. Entre estas operações citam a catação, separação magnética, separação em meio denso e flotação.

Para a execução destas operações são introduzidas no mercado novas indústrias, com aumento crescente nos últimos anos: as usinas de reciclagem. De acordo com o desenvolvimento deste setor, foi implantada no país a ABNT NBR 15114/2004 - Resíduos sólidos da Construção civil: Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.

Segundo esta mesma norma, tais usinas podem ser definidas como "área destinada ao recebimento e transformação de resíduos da construção civil classe A, já triados, para a produção de agregados reciclados".

A primeira usina de reciclagem de entulhos implantada no Brasil foi inaugurada ainda no ano de 1991, no estado de São Paulo, porém, por apresentar problemas com a falta de logística de recolhimento do material, acabou por operar em apenas 50% de sua capacidade de projeto. Fato semelhante ocorreu da implantação de outra usina no mesmo estado, a qual foi instalada em uma região distante dos centros urbanos, o que acabava por fazer com que os produtores de entulho optassem pelo descarte em aterros, reduzindo custos com o transporte do material. Tais ocorrências evidenciam o fato da necessidade de um bom planejamento para essas implantações (CÓRDOBA, 2010).

Até o ano de 2002, o país contava com 16 usinas de reciclagem de entulhos da classe A, com uma taxa de crescimento de cerca de 3 usinas ao ano. A partir da implantação da resolução 307 do CONAMA, esta taxa passou de 3 para nove ao ano, sendo que, até o ano de 2008, 47 usinas já haviam sido inauguradas no país (MIRANDA et al, 2009).

Porém, mesmo com esse crescimento, os valores ainda são baixos. Segundo Córdoba (2010), se analisados os 5.565 municípios brasileiros, um valor inferior a 1% deste total possui usina de reciclagem de entulhos implantada. Ainda, segundo Miranda et al. (2009), se considerarem todas as usinas implantadas trabalhando em sua produção máxima, o montante de RCD reciclado fica em torno de 3,6% do total produzido, o que é ainda um valor demasiado baixo para este setor.

Em relação ao processo de reciclagem, quase todas as usinas brasileiras são bem semelhantes. São compostas dos seguintes equipamentos: pá carregadeira ou retroescavadeira, alimentador vibratório, transportadores de correia, britador de mandíbula ou impacto, separador magnético permanente ou eletroímã, e peneira vibratória. Nenhuma apresenta uma rotina de controle de qualidade dos agregados produzidos (MIRANDA et al., 2009).

Este sistema utilizado é derivado das usinas de produção de agregados naturais. Tal sistema de produção é esquematizado na Figura 11.

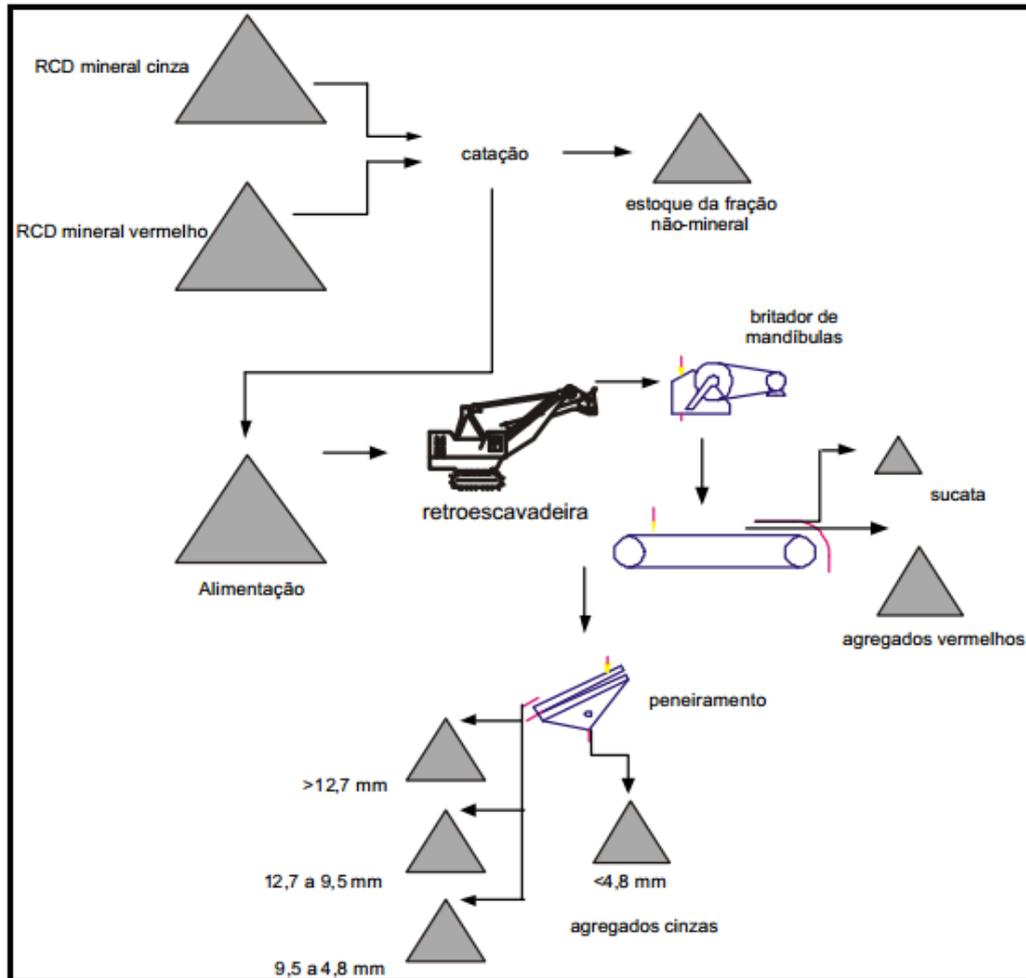


Figura 11: Fluxograma de usina de reciclagem da fração mineral de RCD.
Fonte: Angulo, 2005.

2.2.3 Porosidade e Materiais Finos de AGR

A ABNT NBR 9935/2011 - Agregados: Terminologia, define absorção como o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento de seus poros por água. Ainda, trata ainda dos vazios permeáveis, sendo aqueles que ligados à superfície externa do agregado são passíveis de reterem a água.

Desta forma, pode-se associar o processo da absorção como aquele em que a água penetra o agregado, preenchendo seus poros permeáveis. A capacidade de absorção de um dado material é proporcional à porosidade do mesmo, sendo esta última variável da quantidade, tamanho e distribuição dos vazios permeáveis em seu interior.

Entre as principais características dos agregados produzidos a partir da britagem de resíduos de construção e demolição estão os elevados teores de materiais finos, bem como a elevada porosidade e capacidade de absorção, característicos destes materiais.

Como em geral os agregados reciclados são obtidos a partir de materiais de origens distintas, estes possuem grande variabilidade nos seus índices de porosidade, sendo estas decorrentes dos distintos materiais empregados como matéria prima, como sendo ora concreto, ora argamassas e ainda materiais cerâmicos (DAMINELI, 2007).

Segundo Damineli (2007), os materiais de origem cerâmica são neste contexto, os maiores detentores de variações na porosidade. Tal fator é devido ao processo produtivo destes materiais, onde são variados o teor de compactação da matéria prima, a quantidade de água adicionada à mistura, a velocidade e temperatura de secagem, entre outros. Estes quesitos são ainda agravados em nosso país pelo precário controle no processo de fabricação destes materiais.

Tomando-se por base a massa específica aparente dos materiais, sendo esta aquela na qual se incluem os poros permeáveis, mas não os vazios entre as partículas, pode-se notar que, a porosidade de um material é inversamente proporcional à sua massa específica aparente.

Angulo (2005), aponta em seus trabalhos massas específicas de agregados reciclados em torno de 1800Kg/m^3 , muito inferiores aos mais de 2500Kg/m^3 dos agregados naturais.

Quando aplicados em concretos convencionais, agregados reciclados com essas características acabam por prejudicar o desempenho destes, uma vez que demandam de maiores quantias de água para que possam ser devidamente incorporados à mistura, aumentando significativamente a relação a/c, principal responsável pelo fator resistência mecânica de concretos estruturais.

Já no concreto auto adensável, a presença de materiais finos se faz necessária para que se mantenham as propriedades do mesmo, regulando a viscosidade e permitindo um espalhamento homogêneo. Ainda, quando os agregados utilizados são pouco porosos, o fenômeno de exsudação acaba sendo propiciado pela dificuldade de adsorção da água nestes, fazendo com que esta suba a superfície do concreto por ter uma menor massa específica.

Cabe ressaltar que, no processo de obtenção dos materiais pulverulentos, através da moagem de grãos de maiores dimensões, o fator porosidade destes acaba por ser reduzido, para não se dizer eliminado.

Tal efeito ocorre, pois, uma vez que o vazio ocupado dentro do grão é quebrado, a porção referente a este é então preenchida por uma outra porção de material fino, fazendo com que a porosidade, sendo esta variável de acordo com a quantidade e tamanho dos vazios, seja quase que erradicada, fazendo com que este material já não influencie diretamente na porosidade final do concreto.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento

Como citado por Nunes (2001), cimentos com maior superfície específica, sendo estes os que possuem maior finura, proporcionam às misturas uma maior viscosidade plástica, pela diminuição da distância entre as partículas, o que proporciona um aumento na velocidade de colisão.

Por este motivo, o cimento escolhido para os ensaios de pastas e argamassas a serem desenvolvidos nesta pesquisa, é o CPV-ARI, uma vez que este possui área específica em torno de $300\text{m}^2/\text{kg}$ de cimento (NBR 5733/1991), sendo entre os tipos de cimento disponíveis no mercado, o que possui maior finura.

Como diferentes marcas de cimento podem ser determinantes em dosagens de CAA, mesmo sendo das mesmas categorias, o cimento a ser utilizado em tal trabalho fica definido na marca Itambé, com massa específica (γ) igual a $3,12\text{g}/\text{cm}^3$.

3.1.2 Agregado Miúdo

Como este trabalho objetiva determinar a influência do fíler cerâmico, optou-se por utilizar como agregado miúdo uma areia do tipo natural proveniente de cavas, de modo a não se obterem variações com relação aos agregados comumente utilizados.

Determinadas todas as características físicas necessárias a seu emprego neste trabalho, podem ser elencadas a massa específica (γ) de $2,625\text{g}/\text{cm}^3$, módulo de finura (MF) igual a 2,22 e dimensão máxima característica ($d_{\text{máx}}$) igual a 4,80mm.

Os ensaios de caracterização do material utilizado podem ser encontrados no Anexo A do presente trabalho.

Ajustando-se os valores médios encontrados de granulometria, de modo a obter-se a curva granulométrica do material adaptado às faixas propostas por Melo (2005), encontrou-se um resultado satisfatório para tanto, sem que houvesse a necessidade de se obter uma mescla entre duas areias, conforme apresentado na Figura 12.

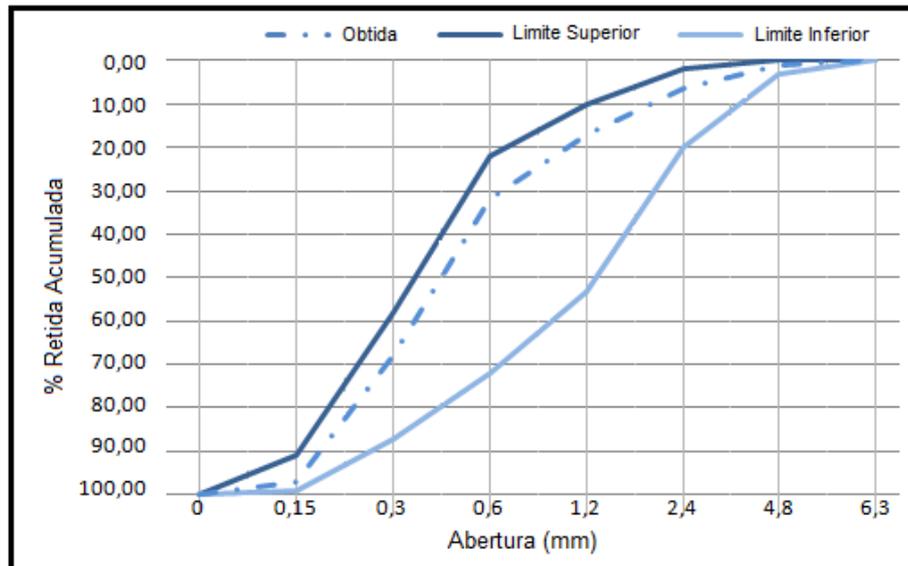


Figura 12: Faixa granulométrica da areia utilizada.
Fonte: A Autora, 2014.

Observa-se que a areia utilizada possui granulometria próxima à faixa que determina o limite de finura da mesma, estando dentro dos valores esperados determinados por Melo (2005), e sendo desta forma, um material ideal para aplicação em CAA.

3.1.3 Agregado Graúdo

Da mesma forma que o agregado miúdo, buscou-se utilizar agregado graúdo comumente empregado em aplicações convencionais, de modo a não se obterem variações neste quesito. Para tanto, utilizou-se de brita nº1, proveniente de rochas basálticas, com $d_{máx}$ igual a 19mm, MF de 6,90, e massa específica (γ) igual a 2,853g/cm³.

Os ensaios de caracterização deste material podem ser observados no Anexo A deste trabalho.

A partir destas determinações, pôde-se ajustar a granulometria encontrada às faixas definidas pela bibliografia de Melo (2005), podendo estas serem observadas na Figura 13.

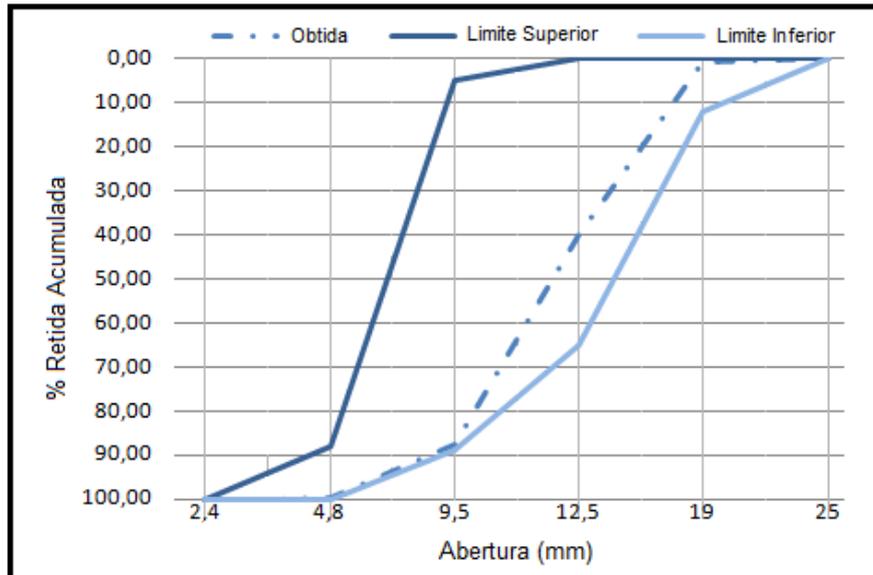


Figura 13: Faixa granulométrica da brita utilizada.
Fonte: A Autora, 2014.

Estando este material, assim como o agregado miúdo, enquadrado dentro das faixas granulométricas propostas por Melo (2005), não houve a necessidade de se fazerem mesclas com outro tipo de agregado graúdo. Nota-se que tal agregado beira a faixa correspondente à maiores dimensões, porém ainda dentro dos limites propostos, sendo seu uso propício para aplicações em CAA.

3.1.4 Aditivos

A aplicação de aditivos torna-se fundamental para obtenção de concreto auto adensável. O primeiro que se faz necessário são os aditivos superplastificantes. Como citado anteriormente, os aditivos superplastificantes de terceira geração, possuem características que, além de serem redutores de significativa quantidade

de água (em torno de 30 a 45%), são ótimos agentes fluidificantes, pela combinação da repulsão eletrostática, com a repulsão estérica de partículas.

Deste modo, tanto na fase de estudos em pasta, quanto na fase de estudos em argamassa, se fez uso de aditivos superplastificantes de terceira geração para obter a fluidez das mesmas, sendo definido o uso do aditivo MasterGlenium® 3400, da marca BASF.

Este produto possui dosagem recomendada na casa de 0,2 a 1,2% da massa de cimento, e tem como propriedades físicas o controle da reologia do concreto, um desenvolvimento da resistência inicial, além de ganho na resistência final, e melhora na trabalhabilidade do concreto (BASF, 2014).

Os aditivos modificadores de viscosidade, característicos pelo aumento da viscosidade da mistura, utilizados para que suas aplicações mantenham a homogeneidade, de forma a assegurar a autoadensibilidade, e consequente resistência à segregação, não foram empregados nos estudos deste trabalho, uma vez que obtiveram-se resultados satisfatórios apenas com o emprego do fíler de material cerâmico.

3.1.5 Adições

Por ser objetivo do presente estudo, a adição utilizada para controlar os fenômenos de segregação e exsudação de pastas e argamassas de concreto auto adensável foi o fíler de material cerâmico.

A obtenção deste material deu-se através da moagem de agregados reciclados de blocos cerâmicos com o uso do moinho de bolas, de modo a obter partículas passantes na peneira de número 200, com abertura de 75 μ m. A massa específica (γ) encontrada para o material obtido foi de 2,632g/cm³.

Justifica-se o uso de blocos cerâmicos para obtenção do fíler a ser utilizado nos ensaios, por serem estes os finos produzidos em maior quantidade quando da obtenção de agregados de resíduos de construção e demolição, e por ser considerado este o maior prejudicial dos agregados reciclados.

3.2 METODOLOGIA DE ENSAIOS

3.2.1 Fluxograma de Etapas da Pesquisa

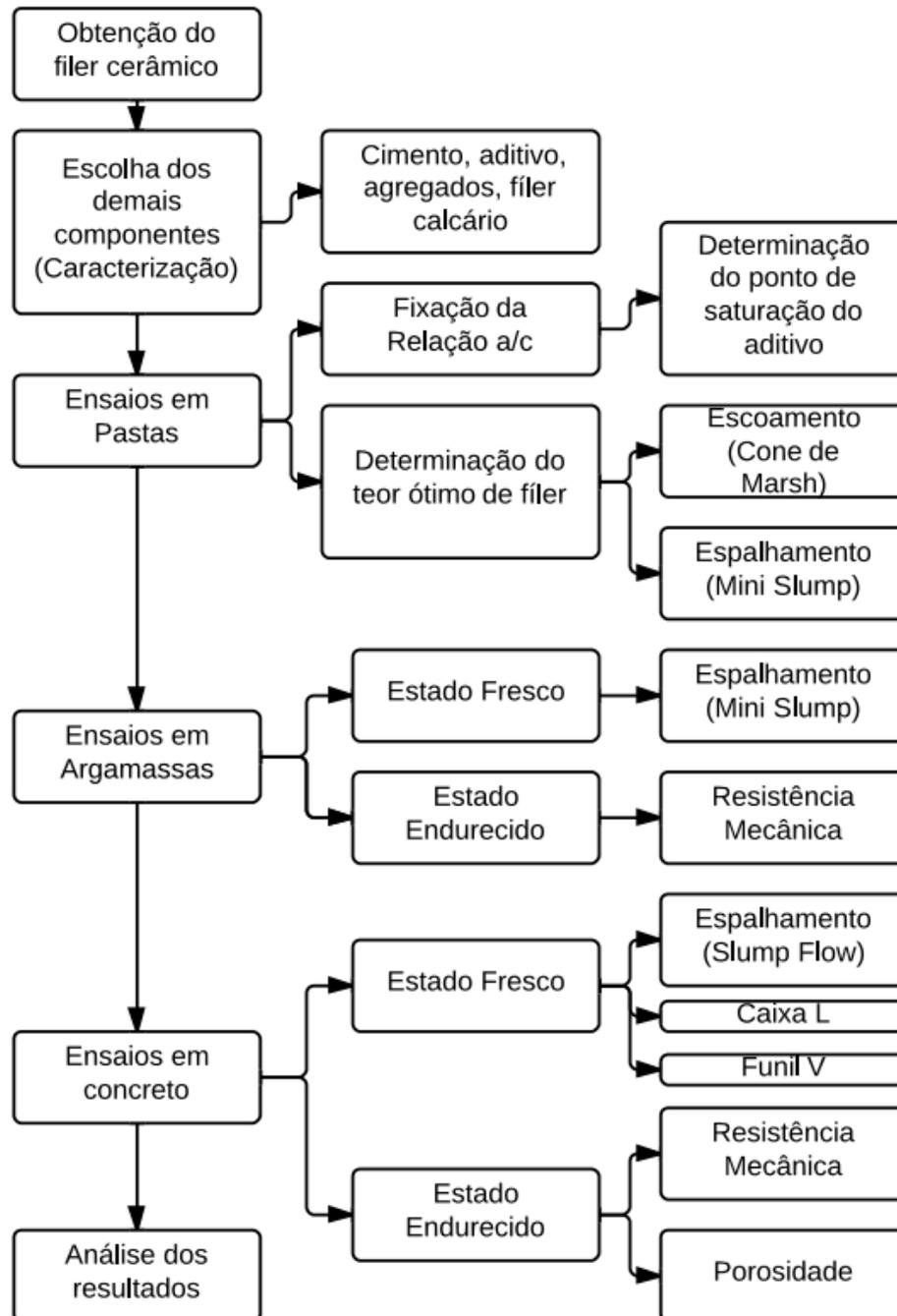


Figura 14: Fluxograma de etapas da pesquisa.
Fonte: A Autora, 2014.

3.2.2 Obtenção do Fíler Cerâmico

A primeira etapa da obtenção do fíler cerâmico se deu a partir da cominuição de blocos cerâmicos através da moagem em britador de mandíbulas (Figura 15), de modo a se obter uma primeira representação da quantidade de finos que é gerada quando da obtenção dos agregados de resíduos (AGR).



Figura 15: Britador de mandíbulas.
Fonte: A Autora, 2014

Essa moagem foi realizada com uma amostra inicial de cerca de 10Kg de blocos cerâmicos novos, de modo a não se obterem partículas de outros materiais, inviabilizando o desenvolvimento da pesquisa por abranger muitas variáveis.

Desta amostra inicial, ao final foram ensaiados os materiais obtidos quanto à sua granulometria, absorção e índice de materiais pulverulentos.

Desta moagem, verificou-se que do total de agregados produzidos, em torno de 73% era do tipo agregado graúdo, e 27% era agregado miúdo. Ainda, de toda a porção miúda, produziu-se cerca de 5,95% de material pulverulento.

A partir dos agregados miúdos obtidos da moagem em britador de mandíbulas, passou-se a fase de produção de fíler cerâmico para os ensaios com pastas, argamassas e concreto, com o auxílio de moinho de bolas, mostrado na Figura 16.



Figura 16: Moinho de bolas.
Fonte: A Autora, 2014.

Após efetuar a secagem do material em estufa, era inserida uma amostra de agregado miúdo no jarro do moinho de bolas, de modo que fossem atingidos no conjunto esferas, jarro e amostra, massa em torno de 3750g. Após cerca de 40 min de trabalho no moinho, a amostra era então retirada e peneirada na peneira nº200 de abertura 75 μ m, sendo o material passante o fíler cerâmico utilizado neste trabalho.

A caracterização do material obtido no britador de mandíbulas pode ser encontrada no Anexo A deste trabalho, assim como a do fíler cerâmico.

3.2.3 Ensaio em Pasta

Nos ensaios em pasta, além de ser fixada a relação água/cimento ideal, também foram encontrados e definidos os teores de aditivo e de adição necessários para que a mistura obedecesse às condições de adensabilidade impostas.

Para a determinação da relação água/cimento, foi feita uma mistura inicial da pasta, sem que houvesse o incremento de aditivo superplastificante, de modo a se

obter uma pasta fluida o suficiente para que escoasse através do cone de Marsh, e que quando acrescentado o aditivo, o tempo de escoamento de 200ml desta pasta não fosse inferior a 3 segundos, tornando difícil a aferição do tempo com precisão.

Uma vez fixada a relação a/c, na proporção de 1:0,4, novas misturas foram realizadas de modo a serem obtidos os teores de aditivo e adição ideais. Para tal determinação foram tomados por base os ensaios de espalhamento do *mini slump* no tronco de cone, e de escoamento no cone de Marsh.

Inicialmente, realizou-se a aferição do ponto de saturação do aditivo superplastificante. Este é obtido quando, acrescentando-se maiores teores de aditivo à mistura, não ocorrem aumentos no diâmetro do espalhamento nem diminuição no tempo de escoamento, estando estes valores convergindo para um determinado ponto. Assim, o ponto de saturação é aquele que obtiver os melhores índices, na menor quantia de aditivo empregado.

O teor de aditivo inicialmente empregado foi de 0,05% da massa de cimento da mesma mistura, e a cada correção foram aumentados 0,02% da mesma massa inicial de cimento. Para fins de controle da evolução das características da pasta, a primeira mistura foi realizada sem o incremento de aditivo, de modo a se obterem os valores base de escoamento e espalhamento desta.

A sequência de etapas seguidas para a obtenção da pasta, com auxílio da argamassadeira mecânica (Figura 17), para cada ensaio foi:

- Adição do cimento à argamassadeira desligada;
- Ligou-se a argamassadeira, e em velocidade baixa acrescentou-se a água durante trinta segundos;
- Efetuou-se a mistura mecânica em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual durante um minuto;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais um minuto;

Nos primeiros ensaios, como citado acima, não foi efetuada a inclusão do aditivo superplastificante. Neste caso, as misturas encerraram-se aqui, com um tempo total de três minutos. Nas misturas onde iniciou-se o acréscimo de aditivo, o procedimento seguiu:

- Acréscimo de aditivo superplastificante, em vários pontos da mistura, com mistura mecânica em velocidade baixa, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;

- Mistura manual durante trinta segundos, cuidando para retirar, quando houvesse, o material sedimentado do fundo;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos.



**Figura 17: Argamassadeira mecânica.
Fonte: A Autora, 2014.**

As misturas, nesta sequência foram então finalizadas com tempo total de cinco minutos. Este mesmo procedimento de mistura foi empregado tanto para os ensaios de escoamento, como para os ensaios de espalhamento.

O ensaio de espalhamento consistiu no preenchimento do tronco de cone até a borda, sobre uma superfície plana, sem que fosse realizado o adensamento do mesmo, de modo a serem mantidas as características de autoadensabilidade da pasta. Em seguida o cone era erguido de maneira retilínea, cuidando para que gotas não caíssem sobre as bordas, danificando seu aspecto final. Quando a pasta interrompia o escoamento eram aferidos com o auxílio de uma trena três de seus diâmetros. Ainda, neste ensaio eram observadas as ocorrências dos fenômenos de segregação e exsudação.

O ensaio de escoamento, realizado através do cone de Marsh, consistiu na aferição do tempo para que 200mL de pasta escoassem, de uma quantidade inicial de 800mL adicionados ao cone. Esta aferição necessitava de precisão, devendo para tanto, contar com o auxílio de um tubo de ensaio graduado, tendo sido a contagem do tempo realizada com o auxílio de câmera filmadora.

Para ambos os ensaios, foram repetidas novas misturas a cada acréscimo de aditivo, uma vez que a cada ensaio, era perdida uma quantidade significativa de material, podendo no resultado final ocorrerem divergências por este fato.

Feita a determinação do ponto de saturação do aditivo, iniciou-se a etapa de correção da coesão da mistura, através do acréscimo do fíler de material cerâmico, de modo a serem corrigidos os fenômenos de segregação e exsudação frequentes em materiais cimentícios auto adensáveis.

Nesta fase, a mistura inicial foi realizada com a já fixada relação a/c, assim como o teor de aditivo superplastificante para o qual ocorreu o ponto de saturação do mesmo.

A partir destas definições, as adições iniciaram com 10% da massa de cimento à primeira mistura, sendo a cada novo teste de espalhamento verificado, visualmente, a ocorrência de segregação e exsudação. Como na primeira adição de 10% já se obteve uma significativa redução do espalhamento, inferior aos 600mm necessários, e não houve segregação nem exsudação, ao invés de serem acrescentadas novas proporções de fíler cerâmico à mistura, tal proporção foi reduzida, conferindo-se os valores obtidos com 2,5% e 5% da massa de cimento.

Para esta fase do processo, a mistura dos componentes realizou-se conforme as etapas a seguir:

- Adição do cimento à argamassadeira desligada;
- Com a argamassadeira em velocidade baixa, adicionou-se a água durante trinta segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por trinta segundos;
- Mistura manual por um minuto, cuidando para reincorporar possíveis materiais segregados à mistura;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por trinta segundos;
- Adição do fíler cerâmico com a argamassadeira desligada;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por um minuto;
- Mistura manual por um minuto;
- Com a argamassadeira em velocidade baixa, adicionou-se o aditivo superplastificante em diversos pontos da mistura durante trinta segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos, reincorporando o material sedimentado;

- Mistura mecânica em velocidade baixa por trinta segundos.

Neste caso, o tempo total da mistura foi de seis minutos cronometrados, mais o tempo da adição do fíler que não era cronometrado.

Para cada novo ensaio, foram refeitas novas pastas, uma vez que a perda de material era elevada em cada um destes, podendo esta situação ser motivo de falha nos resultados finais.

Para fins de verificação da eficácia do fíler de material cerâmico, foram efetuados os mesmos ensaios com o fíler calcário (adições de 5% e 10%), sendo este hoje uma das adições mais empregadas em concretos auto adensáveis com o propósito de correção da mistura, a fim de que pudessem ser comparados os resultados obtidos com o fíler cerâmico, comprovando ou não sua eficácia.

3.2.4 Ensaios em Argamassa

Os estudos em argamassa iniciaram com a determinação do teor ideal do aditivo superplastificante. Para tal obtenção, iniciaram-se os ensaios a partir de um determinado traço para estudos em argamassa, já definido pela bibliografia. Perius (2009) utilizou em seu estudo o traço inicial de 1:3,08:0,58, em massa, de cimento, agregado miúdo e água, respectivamente, sendo este o traço empregado como ponto de partida neste trabalho.

Uma primeira mistura foi realizada sem o acréscimo de aditivo superplastificante, de modo a se obterem valores de referência. O primeiro incremento de aditivo superplastificante à mistura, foi na quantia em porcentagem da massa de cimento encontrado como ponto de saturação dos estudos em pasta.

Neste ensaio, o teor ideal seria aquele obtido através da aferição de uma circunferência com 300mm no ensaio de espalhamento de *mini slump*. Na necessidade de acréscimo de aditivo para se obter este espalhamento, de modo a encontrar o teor ideal, este se deu na quantia de 0,2% da massa de cimento, a cada novo incremento.

A mistura para este ensaio foi realizada conforme descrito a seguir:

- Adição do cimento à argamassadeira desligada;

- Ligou-se a argamassadeira, e em velocidade baixa, acrescentando-se a água durante trinta segundos;
- Ainda em velocidade baixa, adicionou-se o agregado miúdo durante trinta segundos;
- Efetuou-se a mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Mistura manual durante um minuto;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Acréscimo de aditivo superplastificante, em vários pontos da mistura, com mistura mecânica em velocidade baixa, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos, cuidando para retirar, quando houver, o material sedimentado do fundo;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos.

O tempo total para obtenção da argamassa através desta mistura foi de cinco minutos.

Como para este traço a argamassa executada não apresentava um bom aspecto (quando da retirada do cone, uma grande porção ficava acumulada no meio, enquanto parte da pasta escoava pelas laterais, sem carregar consigo a devida parcela de agregado miúdo, fator este que pode ser observado na Figura 22), e já se encontrava com um elevado consumo de aditivo, o traço foi alterado para a proporção de 1:2,0:0,4, e com 1% da massa de cimento em aditivo, sendo este valor próximo ao limite estabelecido pelo fabricante.

Esta argamassa obteve já na primeira tentativa (sem maiores acréscimos de aditivo) um espalhamento superior aos 300mm desejados, sendo verificados ainda a ocorrência dos fenômenos de segregação e exsudação, de modo que houvesse correção a ser feita por parte do fíler cerâmico, como pode ser observada na Figura 23 deste trabalho.

Para a verificação do efeito da adição de fíler cerâmico no controle de exsudação e segregação de argamassas de concreto auto adensável, iniciou-se a adição deste à mistura obtida anteriormente, a qual obteve 343mm de espalhamento interno (circunferência argamassada) e 432mm de espalhamento externo (borda exsudada) com a presença de aditivo superplastificante, iniciando em uma

proporção de 5% da massa de cimento. Na necessidade de correções de incrementos de adição, estas se deram de 5 em 5%, tanto para as argamassas de fíler cerâmico, como para as argamassas de fíler calcário, até que a argamassa obtida esteja dentro do desejado (sem a ocorrência dos fenômenos acima citados).

A sequência de mistura empregada na obtenção desta argamassa segue:

- Adição do cimento à argamassadeira desligada;
- Ligou-se a argamassadeira, e em velocidade baixa acrescentou-se a água durante trinta segundos;
- Ainda em velocidade baixa, adicionou-se o agregado miúdo durante trinta segundos;
- Efetuou-se a mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Mistura manual durante um minuto;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Acréscimo do fíler cerâmico com a argamassadeira desligada;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais um minuto;
- Mistura manual durante um minuto, cuidando para retirar, quando houver, o material sedimentado do fundo;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais um minuto e trinta segundos;
- Acréscimo de aditivo superplastificante, em vários pontos da mistura, com mistura mecânica em velocidade baixa, durante trinta segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos;
- Mistura manual durante trinta segundos;
- Mistura mecânica em velocidade baixa por mais trinta segundos.

Para cada novo incremento de adição de fíler cerâmico, uma nova mistura foi realizada, uma vez que o ensaio perdia material, podendo desta forma ocorrer alteração nos dados obtidos. A mistura foi efetuada até se obter uma argamassa com resultado satisfatório através da observância do controle de segregação e exsudação, além ainda de esta apresentar fluidez condizente com o propósito.

Quando da obtenção de tal argamassa, de modo a se confirmar o ponto ideal do fíler, efetuou-se uma última mistura com mais um acréscimo de 5% de fíler, de modo a se verificar a influência de novos incrementos, tanto no estado fresco, como

no estado endurecido. Para estas duas argamassas (a saturada e a próxima verificada) foram moldados corpos de prova para ensaios de resistência mecânica aos 7 e 28 dias de idade.

Mais uma vez, para fins comparativos entre o filer cerâmico utilizado neste trabalho e um filer comumente utilizado para tais aplicações, seguiu-se os mesmos procedimentos descritos acima com o filer calcário, de modo a se obterem argamassas auto adensáveis, capazes de serem moldadas para ensaios de resistência mecânica.

Quando moldados, foram submetidos à cura em câmara úmida, de temperatura controlada em 23°C. Passadas 24 horas da moldagem destes corpos de prova, estes eram desmoldados e imersos em solução de cal na proporção de 3g/L de água e retornavam à temperatura controlada, até a idade de ensaio.

3.2.5 Ensaios em Concreto

3.2.5.1 Concreto no estado fresco

Para os ensaios com concretos auto adensáveis, utilizou-se do método de Gomes para a definição de um traço a ser desenvolvido. A primeira das etapas consistiu no desenvolvimento da pasta e da argamassa de cimento ideais a mistura, partindo destas a primeira parte do traço: areia na proporção de 1:2,0 com o cimento, água na proporção de 0,4, e aditivo com 1% da massa de cimento a ser empregada.

A segunda das etapas consistiu no desenvolvimento do esqueleto granular, de modo a desenvolver as proporções para as quais fosse obtido um menor índice de vazios (IV) da mescla entre agregado graúdo e miúdo.

Deste modo, tendo sido obtido uma proporção de 60% de agregado graúdo, para 40% de agregado miúdo, para a mistura com menor índice de vazios (20,5%), e uma elevada massa específica (γ_{mescla}) de 2,762g/cm³, estabeleceu-se o primeiro traço em 1:2,0:3,0:0,4 e 1% de aditivo.

Tal traço chegou a ser desenvolvido, porém, como a proporção de agregados estava acima do valor de 4,0, recomendado pela bibliografia, percebeu-se que o teor de agregado graúdo era demasiado elevado para tal finalidade, sendo necessária uma nova correção para tal. Ainda, o teor de aditivo empregado acabou por ser elevado, sendo outro fator corrigido.

A partir deste desenvolvimento inicial, corrigiu-se o traço para a proporção de 50% de agregado miúdo para 50% de agregado graúdo, uma vez que a proporção de 70/30 teria uma quantidade ainda maior de agregado graúdo, estando esta descartada, e ficando a proporção escolhida a que possuía o segundo menor índice de vazios encontrado (24,1%), e também a segunda maior massa específica, γ_{mescla} igual a 2,739g/cm³.

Desta forma, o traço corrigido ficou sendo de 1:2,0:2,0:0,4 e 0,85% de aditivo, onde, se houvesse a necessidade, durante a concretagem poderia ser aumentado para o 1% anterior, tendo então neste caso, uma relação agregados igual a recomendada pela bibliografia de 4,0.

Efetou-se a primeira mistura, e tendo sido aferido um espalhamento (*Slump Flow*) superior aos 600mm, apresentando os fenômenos de segregação e exsudação, prosseguiu-se a etapa de correção do fíler, tanto do cerâmico, quanto do calcário, para posterior comparativo, sem a necessidade de acréscimo de aditivo. Tal correção foi sendo realizada aos poucos (valores inferiores a 5% da massa de cimento), e a cada novo incremento, realizava-se o ensaio de espalhamento do tronco de cone, de modo a se observar a correção da mistura, e a necessidade de uma nova adição.

Tanto para o concreto com fíler cerâmico, como para a mistura com fíler calcário, ia adicionando-se estes aos poucos, ao final do tempo de mistura do aditivo (5min) sendo que este era o último dos demais materiais a ser adicionado à mistura. As correções eram feitas aos poucos, onde a cada acréscimo aferia-se o espalhamento *slump flow*, no qual podiam ser observados o aspecto do concreto, a ocorrência ou não de segregação e exsudação, e ainda, a medida do diâmetro do concreto espalhado.

Quando, observando no ensaio de espalhamento um diâmetro superior a 600mm, com aspecto não exsudado e não segregado prosseguiu-se ao ensaio da caixa L, o qual se baseia na formação de barreiras para aferição da habilidade passante de tal concreto.

Tal ensaio consiste no preenchimento da porção vertical da caixa com concreto, seguido da abertura da tampa onde estão presentes as barras que simulam a presença de armadura. Por fim, são aferidas as medidas no início e final da caixa, de modo a ser verificada a relação H_i/H_f , como explica a ABNT NBR 15823-4:2010 - Concreto Auto-Adensável: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L.

Após o ensaio da caixa L, o concreto obtido foi ensaiado no funil V, de acordo com a ABNT NBR 15823-5:2010 - Concreto Auto-Adensável: Determinação da viscosidade - Método do funil V.

Ao final das misturas, foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos, de 20cm de altura por 10cm de diâmetro, a fim de serem obtidos os valores de resistência mecânica para 24 horas, 7 e 28 dias de idade, com três CP's para cada idade, além de serem reservados três CP's de cada uma das misturas para serem ensaiados conforme NBR 9779/1995 - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por capilaridade, a fim de ser verificada a influência do fíler quanto à absorção de água pelo concreto.

Assim que moldados, os CP's foram colocados em câmara com temperatura controlada de 23°C durante 24 horas, onde tiveram sua superfície coberta com material plástico, para evitar a perda de água do mesmo, até obterem forma para serem desmoldados.

3.2.5.2 Concreto no estado endurecido

Passadas 24 horas da moldagem, todos os CP's foram desmoldados. Destes, 3 foram ensaiados a compressão axial, conforme a ABNT NBR 5739:2007 - Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, e os demais imersos em tanque com água, a 23°C, até serem retirados em suas devidas idades para ensaio, segundo a mesma Norma.

Todavia, ao serem ensaiados aos 07 dias de idade, durante a execução do ensaio, a prensa hidráulica da qual se fazia uso apresentou defeito, impossibilitando a finalização do ensaio, e desta forma, não podendo ser apresentados valores para tal idade.

Os últimos corpos de prova ensaiados à compressão, foram com idade final de cura, aos 28 dias, sendo destinados para tanto 3 CP's de cada mistura.

Já os CP's referentes ao ensaio de absorção, ao serem desmoldados foram inseridos em estufa de secagem, com temperatura de 105°C, até apresentarem massa constante.

Para a determinação da influência do fíler cerâmico na porosidade e absorção de água em concretos, utilizou-se da ABNT NBR 9779/2012: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.

Para tanto, foram ensaiados três corpos de prova de cada fíler, aos 10 dias de idade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIOS EM PASTA

4.1.1 Saturação do Aditivo

A primeira das etapas dos ensaios em pasta, consistiu na determinação do índice de saturação do aditivo, obtido pela análise do espalhamento no *mini slump* e do escoamento no cone de Marsh. Na Figura 18, é apresentado o gráfico de tempo de escoamento em função do teor de aditivo incorporado a mistura.

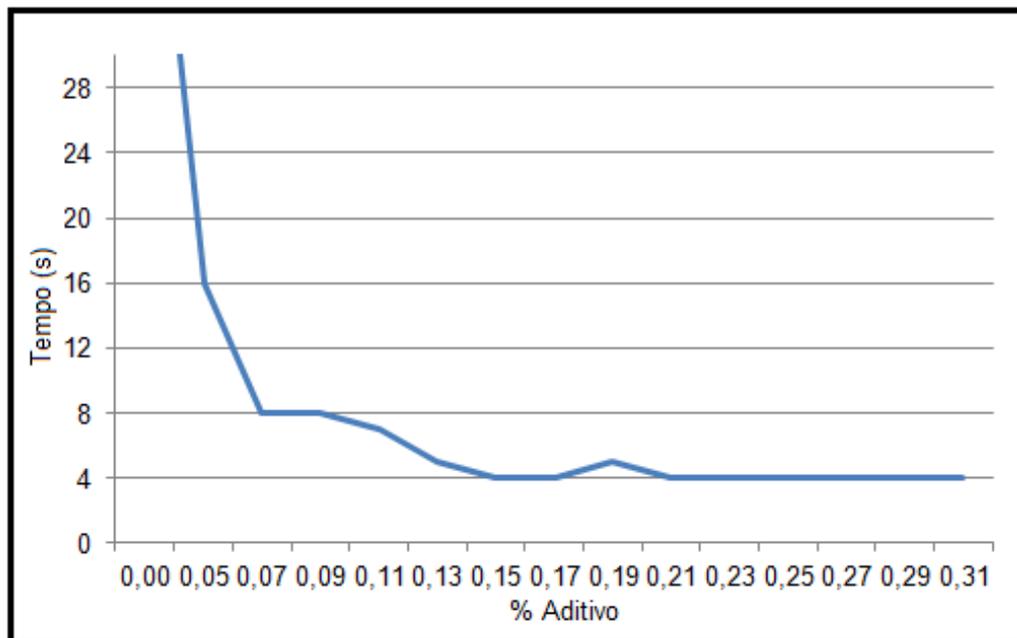


Figura 18: Tempos de escoamento das pastas.

Fonte: A Autora, 2014.

Como pode-se observar, a partir do ponto de 0,23% de aditivo, o acréscimo de maiores quantias de aditivo não influencia na redução do tempo de escoamento. Ainda, é provável que, o acréscimo no tempo obtido em 0,19% tenha ocorrido a uma não homogeneidade da mistura, ou também, seja causado pela falta de precisão na verificação dos tempos, sendo observado apenas segundos completos, e não frações destes.

Sequencialmente, puderam ser obtidas as medidas de espalhamento destas pastas, podendo estas serem observadas nas Figuras 19 e 20.

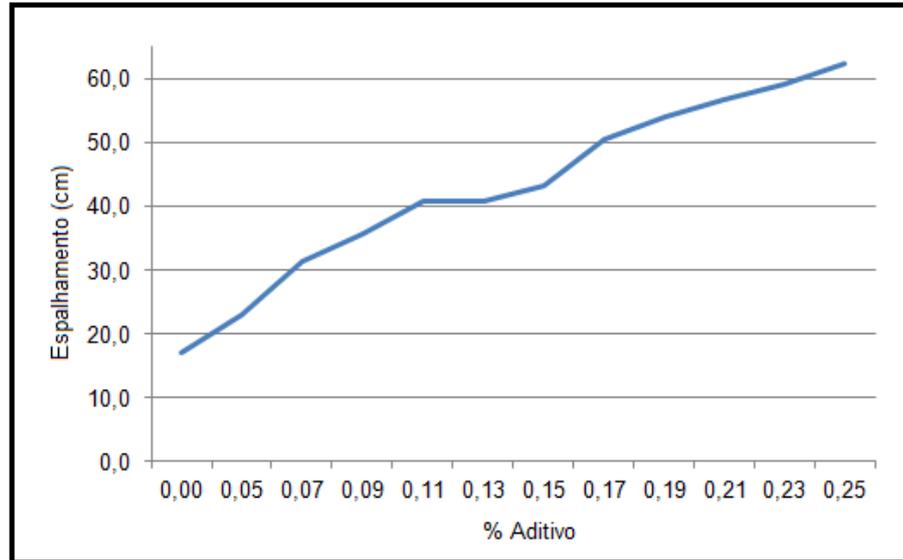


Figura 19: Evolução dos diâmetros de espalhamento.
Fonte: A Autora, 2014

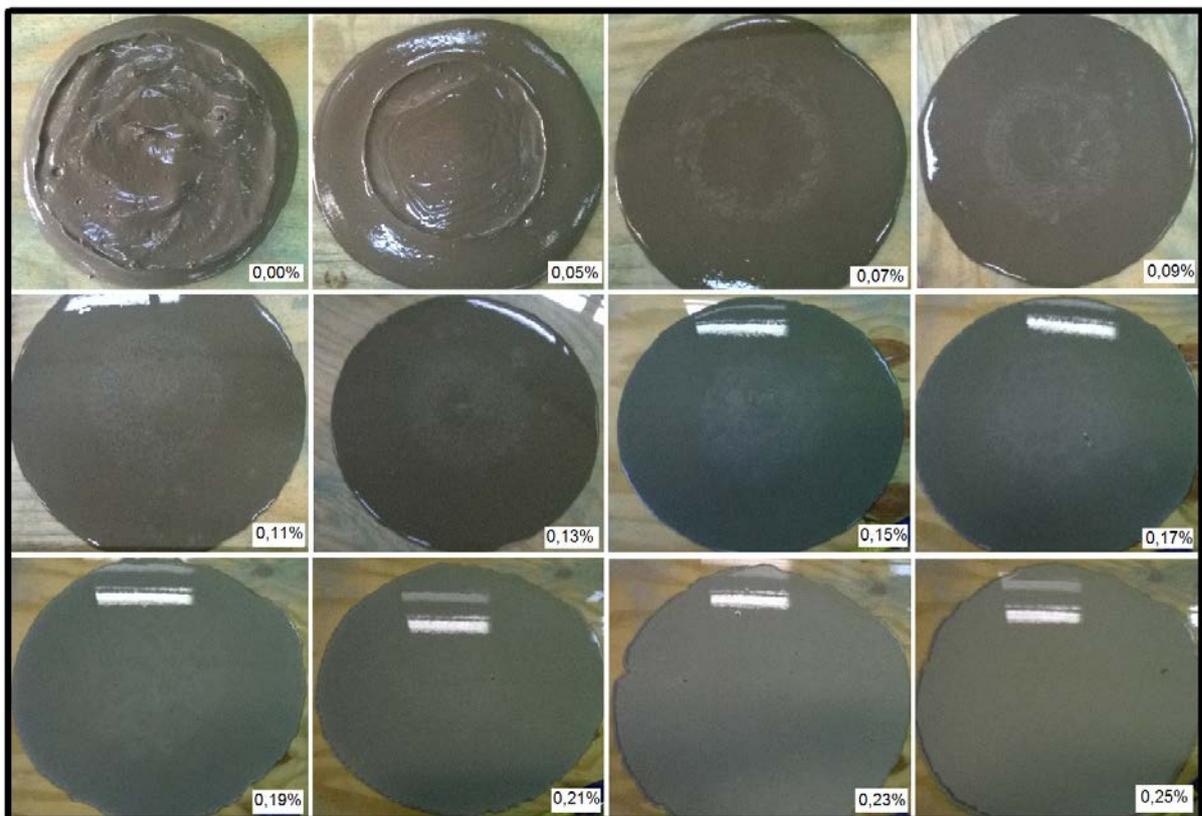


Figura 20: Espalhamento *mini slump*.
Fonte: A Autora, 2014.

Observa-se que, na proporção de 0,25% obtém-se um diâmetro superior aos 600mm desejados, além de neste ponto, não haver mais redução no tempo de escoamento. Desta forma, fica definida esta porção como sendo o ponto de saturação do aditivo para as pastas.

Podem ainda ser observadas nas imagens, as bordas das circunferências tendendo, a cada acréscimo de aditivo, aumentarem sua irregularidade, caracterizando a ocorrência de segregação do material. Já o fenômeno de exsudação acabou por ser pouco observado, ocorrendo apenas nas duas últimas misturas, e com ocorrência não significativa.

4.1.2 Teor Ótimo de Fíler

A fim de se obter um comparativo inicial do fíler cerâmico com o fíler calcário, foram refeitas as misturas referentes a 5 e 10% de adição com este segundo material. As pastas obtidas podem ser observadas na Figura 21. As medidas de circunferência, e o tempo de escoamento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Segregação e exsudação de pasta com fíler.

Teor de Fíler (%)	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	Média (cm)	Observação	Tempo (s)
2,5_CER	59,0	62,0	62,0	61,0	Segregado, não exsudado, borda irregular.	7,0
5,0_CER	49,0	49,0	49,5	49,2	Pouco segregado, não exsudado, borda regular.	11,0
5,0_CAL	63,0	59,0	59,0	60,3	Segregado, exsudado, borda irregular	6,0
10,0_CER	28,0	28,0	27,5	27,8	Não segregado, não exsudado, borda regular, pouco espalhamento.	22,0
10,0_CAL	61,0	56,0	57,0	58,0	Segregado, pouco exsudado, borda irregular.	9,0

Fonte: A Autora, 2014.

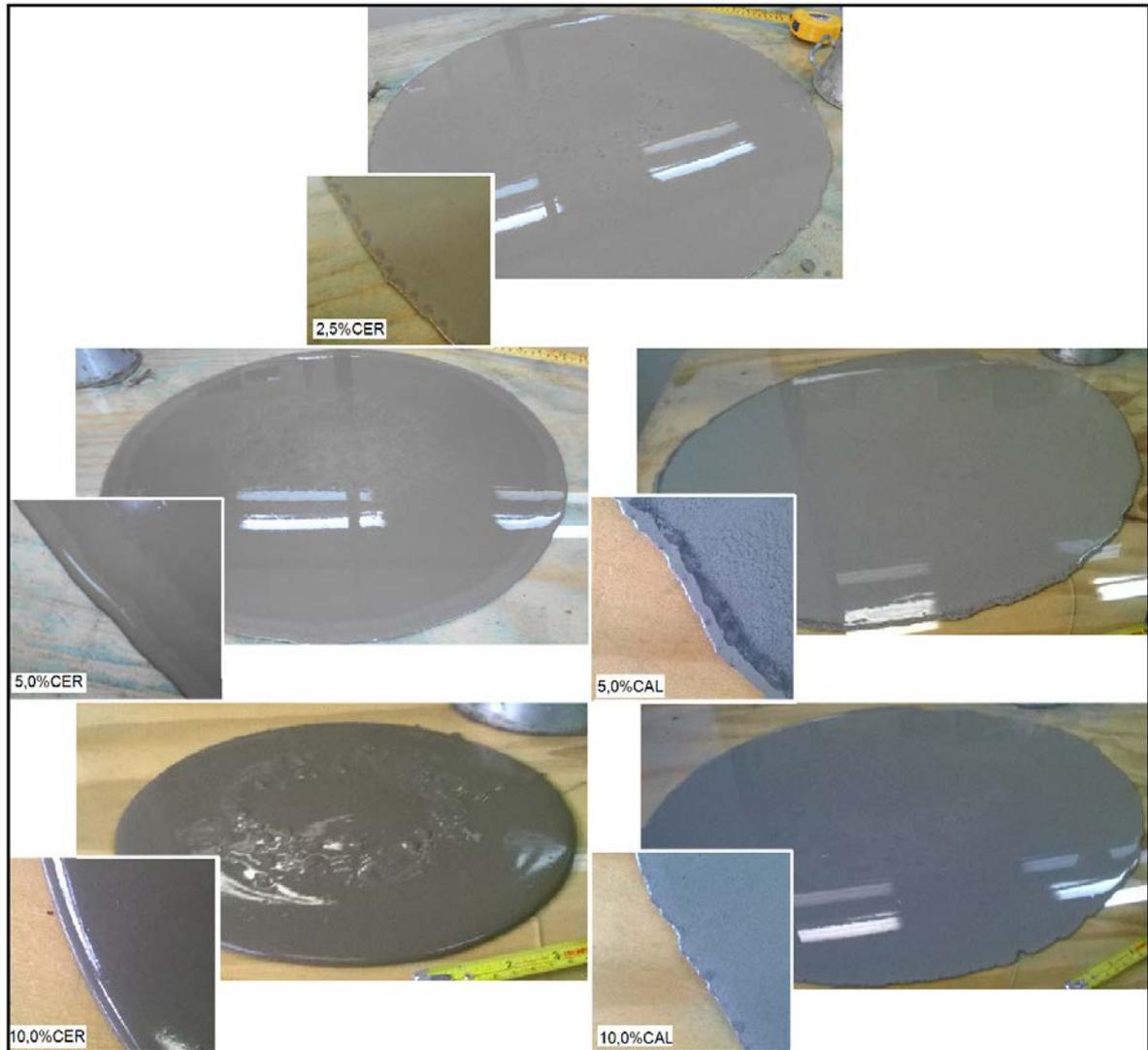


Figura 21: Pastas com adição de fíler.
Fonte: A Autora, 2014.

A partir destes resultados, embora o teor de 5% de fíler apresentasse a borda mais clara que o restante da mistura, sendo este um sinal de leve ocorrência de segregação, este é o resultado que mais se aproxima de um teor ótimo de fíler, pois a dosagem de 10% do mesmo acabou por reduzir significativamente o espalhamento, antes sem o acréscimo de fíler de 62,3cm, para 27,8cm nesta dosagem, e 49,2 para 5% de fíler.

Ainda, percebe-se que pequenas quantidades de fíler cerâmico adicionadas proporcionam uma grande redução no espalhamento da pasta, bem como uma significativa melhora no controle de segregação e exsudação, não tendo sido este segundo fenômeno observado para esta adição.

Já as adições de fíler calcário nas mesmas proporções, não chegaram a resultados significativos para o controle de segregação, ou de exsudação, tendo como ponto positivo apenas, uma redução menos significativa no espalhamento.

4.2 ENSAIOS EM ARGAMASSA

4.2.1 Argamassa no Estado Fresco

A argamassa obtida inicialmente (1:3,08:0,54), que não atendeu aos requisitos mínimos para uso, conforme descrito nos procedimentos metodológicos deste trabalho, pode ser observada na Figura 22.



Figura 22: Argamassas traço 1:3,08:0,54.
Fonte: A Autora, 2014.

O novo traço dosado em 1:2,0:0,4, e um ponto inicial de dosagem de aditivo igual a 1%, pode ser observado na Figura 23.



Figura 23: Argamassa traço 1:2,0:0,4.
Fonte: A Autora, 2014

Na Tabela 2 podem ser verificados os valores de espalhamento, tanto para o traço inicial, como para o traço redefinido.

Tabela 2: Diâmetros de espalhamento argamassas.

Traço	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	Média (cm)	Observação
1:3,08:0,58 0,25%	-	-	-	-	Não houve alteração na forma.
1:3,08:0,58 0,45%	14,0	14,5	14,5	14,33	Exsudação inferior.
1:3,08:0,58 0,65%	-	-	-	-	Não houve alteração na forma, exsudação inferior.
1:3,08:0,58 1,45%	21,0	22,0	23,0	22,00	Elevada Segregação e exsudação.
1:3,08:0,58 1,85%	25,0	26,0	26,0	25,67	Elevada Segregação e exsudação.
1:2,0:0,4 1,0% Borda Interna	33,5	34,5	35,0	34,33	Elevada exsudação.
1:2,0:0,4 1,0%	38,5	45,0	46,0	43,17	

Fonte: A Autora, 2014.

Como a argamassa obtida apresentou um espalhamento coerente, e superior aos 300mm desejados, utilizou-se desta para fazerem as correções quanto à segregação, e principalmente, exsudação.

Do mesmo modo como ocorrido nas pastas, para porcentagens iguais de filer cerâmico (CER) e de filer calcário (CAL) adicionadas, o primeiro apresentava um melhor desempenho, como pode ser verificado na Figura 24.

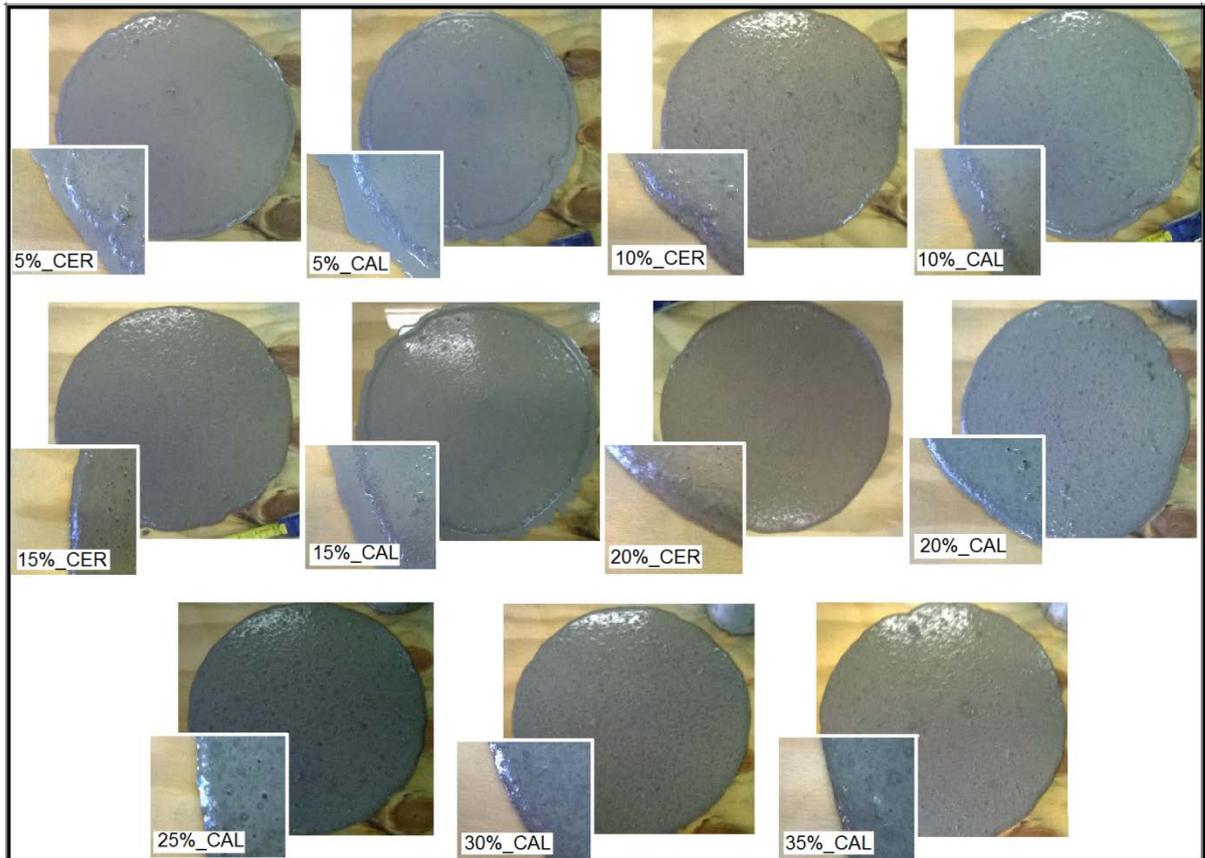


Figura 24: Argamassas com Fíler.
Fonte: A Autora, 2014.

O teor de fíler cerâmico ideal encontrado foi de 15%, porém para a verificação da influência de acréscimos deste, moldou-se ainda uma argamassa com 20% do material. Do mesmo modo, para o fíler calcário, o teor ideal encontrado foi 30%, moldando-se um seguinte, com 35%.

Os valores obtidos no espalhamento para estas pastas podem ser observados na Tabela 3. Nota-se que, muito embora o teor de fíler calcário tenha apresentado um maior consumo para que as propriedades de uma argamassa auto adensável fossem obtidas, as aberturas finais alcançadas para ambos os materiais ficaram semelhantes.

Tabela 3: Espalhamento de argamassas com fíler.

Teor Fíler(%)	M1 (cm)	M2 (cm)	M3 (cm)	Média (cm)	Observação
5_CER	37,0	38,0	38,0	37,7	Pouco exsudado, borda irregular.
5_CAL	38,0	38,0	39,0	38,3	Muito Exsudado, borda muito irregular.
10_CER	36,0	36,0	36,0	36,0	Pouco exsudado, borda pouco irregular.
10_CAL	36,5	37,0	37,5	37,0	Muito exsudado, borda muito irregular.
15_CER	35,0	35,0	36,0	35,3	Sem exsudação, borda regular.
15_CAL	35,5	35,5	36,0	35,7	Muito Exsudado, borda irregular.
20_CER	33,0	34,0	34,0	33,7	Sem exsudação, borda regular.
20_CAL	36,0	36,5	37,0	36,5	Pouco exsudado, borda irregular.
25_CAL	37,0	37,0	38,0	37,3	Pouco exsudado, borda irregular.
30_CAL	37,0	38,0	38,0	37,7	Sem exsudação, borda regular.
35_CAL	38,0	38,0	39,0	38,3	Sem exsudação, borda regular.

Fonte: A Autora, 2014.

Por estes resultados, mais uma vez, percebe-se a eficácia do fíler cerâmico se comparado ao fíler calcários, pois há a necessidade de quase que dobrar a dosagem do segundo em relação ao primeiro para obter resultados semelhantes e/ou satisfatórios.

4.2.2 Argamassa no Estado Endurecido

Os valores de resistências à compressão obtidas podem ser vistos nas Figuras 25 e 26. Já os valores encontrados resistência a flexão, podem ser observados na Figura 27.

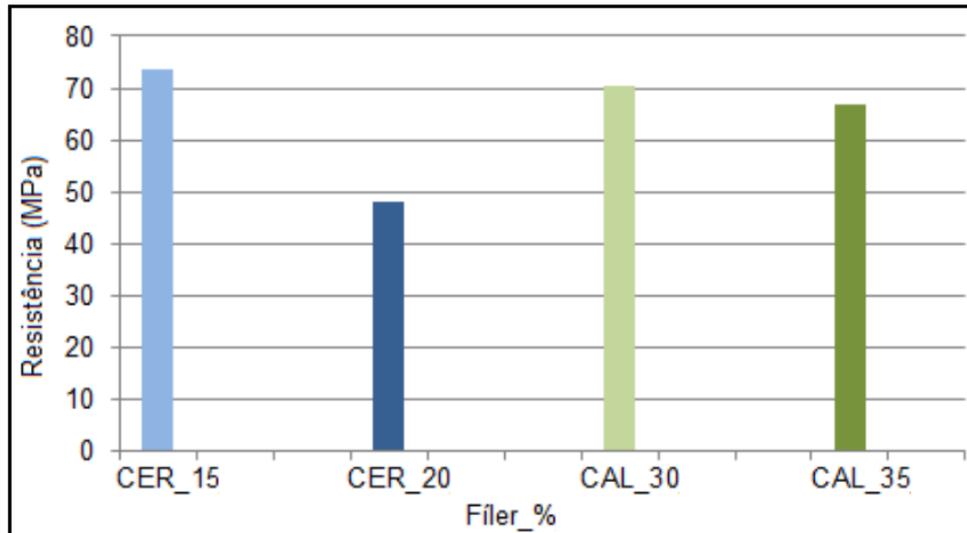


Figura 25: Resistências médias das argamassas aos sete dias.
Fonte: A Autora, 2014.

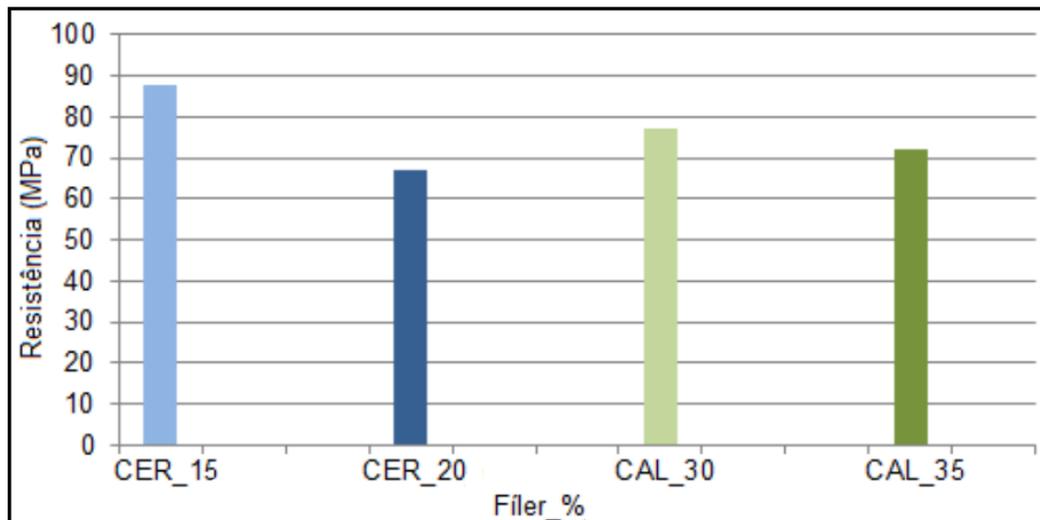


Figura 26: Resistências médias das argamassas aos 28 dias.
Fonte: A Autora, 2014

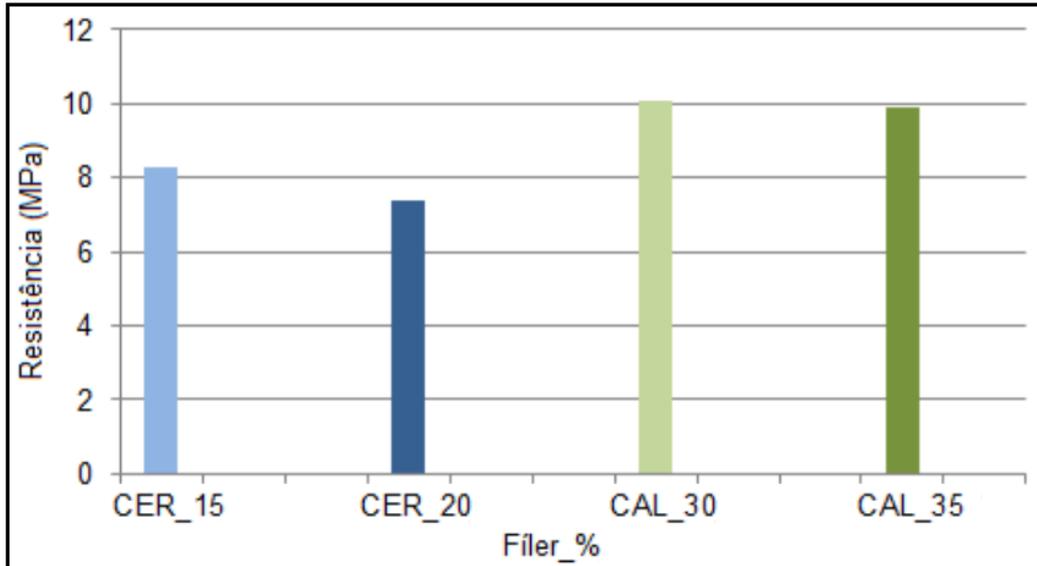


Figura 27: Resistências médias a flexão.
Fonte: A Autora, 2014.

Como pode ser observado, as argamassas com fíler cerâmico apresentaram, tanto para 07 como para 28 dias, resistências à compressão superiores às de fíler calcário, que por sua vez, apresentou resistências à flexão maiores que as de fíler cerâmico.

Ainda, os acréscimos de fíler acima do necessário no estado fresco, refletem diretamente nas características no estado endurecido. Nota-se uma redução significativa nas resistências, em ambas as idades, para aqueles que possuem maiores teores de fíler, bem como uma significativa alteração na coloração final, como pode ser observado na Figura 28.



Figura 28: Aspecto interno das argamassas com fíler.
Fonte: A Autora, 2014.

4.3 ENSAIOS EM CONCRETO

4.3.1 Concreto no Estado Fresco

Os valores encontrados em cada um dos ensaios, tanto para a mistura com fíler cerâmico, como para a mistura com fíler calcário, bem como o consumo de fíler ideal para que as propriedades do CCA se mantivessem, podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores dos ensaios de CAA.

Teor de Fíler (%)	Espalhamento (mm)				Caixa L			Funil V (s)
	M1	M2	M3	Média	H1 (cm)	H2 (cm)	H2/H1	
0	810	870	800	827	-	-	-	-
6,96 CAL	710	71	72	713	7,5	7,0	0,93	6
1,92 CER	700	700	710	703	7,2	6,8	0,94	6

Fonte: A Autora, 2014

Retomando os parâmetros citados ainda na Revisão Bibliográfica deste trabalho, para o espalhamento devem ser obtidos valores entre 600 e 800mm. Ainda, na caixa L, a relação entre H2 e H1 deve variar de 0,8 a 1,0, e no Funil V, o tempo de escoamento deve estar enquadrado entre 5 e 10 segundos, estando deste modo todos os ensaios de acordo com o esperado.

O aspecto final obtido pelos diferentes concretos, sem adição, com adição de fíler cerâmico e com adição de fíler calcário podem ser comparados na Figura 29. Nota-se a elevada ocorrência de exsudação e de segregação na primeira mistura, ambos corrigidos pelos dois materiais finos posteriormente.



Figura 29: CAA sem e com adições.
Fonte: A Autora, 2014

Nota-se a ocorrência de pequenas porções de segregação nas imagens com adição. Muito embora esta questão tenha sido percebida ainda durante os trabalhos com o concreto, optou-se por não fazer tal correção, pois o tempo em aberto deste concreto já se aproximava do limite. Todavia, como tal ocorrência foi de mesmo modo apresentada em ambas adições, os comparativos ainda são válidos.

O consumo de cimento encontrado para o traço desenvolvido foi de 458Kg/m^3 . Apesar de este ser um valor considerado elevado para concretos convencionais, em concretos auto adensáveis acaba sendo aceitável.

Os consumos de areia e brita, tiveram ambos os valores de 916Kg/m^3 , e a água, $183,2\text{L/m}^3$.

4.3.2 Concreto no Estado Endurecido

4.3.2.1 Resistência à compressão

Os valores de resistência encontrados para as idades de 24 horas e 28 dias, podem ser verificados na Figura 30.

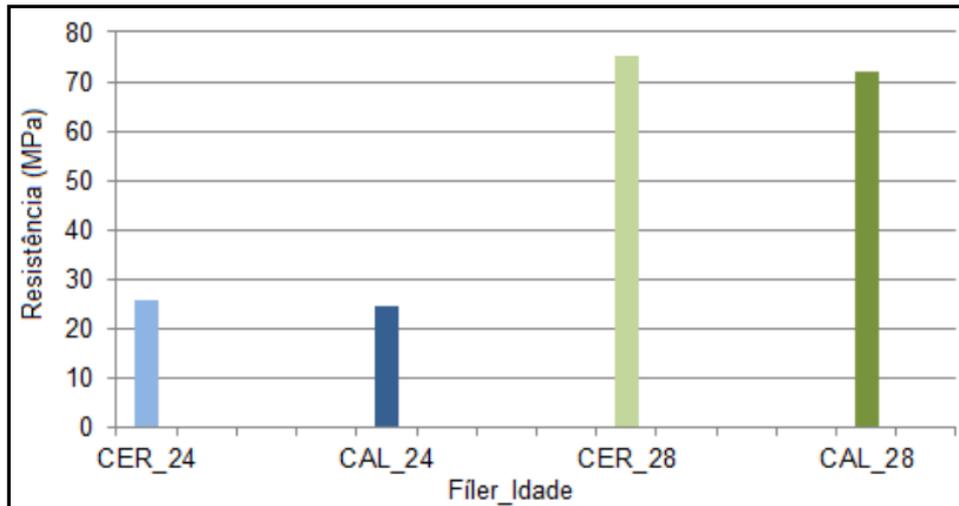


Figura 30: Resistências dos concretos com fíler.
Fonte: A Autora, 2014.

Como nas argamassas, os valores obtidos tanto nas idades iniciais, como nas últimas idades para o concreto com fíler cerâmico, foram ligeiramente superiores ao concreto com fíler calcário.

4.3.2.2 Absorção de Água

A água absorvida em cada idade, por ambas as misturas com fíler, pode ser verificada na Tabela 5.

Tabela 5: Absorção de água.

Tempo (hrs)	CER_01	CER_02	CER_03	CAL_01	CAL_02	CAL_03
3	12,5	12,0	13,5	11,0	13,5	13,0
6	17,5	17,5	18,5	15,5	17,5	18,5
24	34,0	35,0	34,5	28,5	29,5	31,0
48	45,5	47,0	46,0	37,5	38,0	39,0
72	53,5	56,0	54,0	43,0	44,0	44,0

Fonte: A Autora, 2014.

Uma melhor visualização da absorção pode ser feita através da Figura 31. Nota-se que nas primeiras idades os valores de absorção são muito semelhantes, enquanto que, com o passar do tempo, os CP's provenientes da mistura com fíler

cerâmico tendem a absorver maiores quantidades de água que os CP's de fíler calcário.

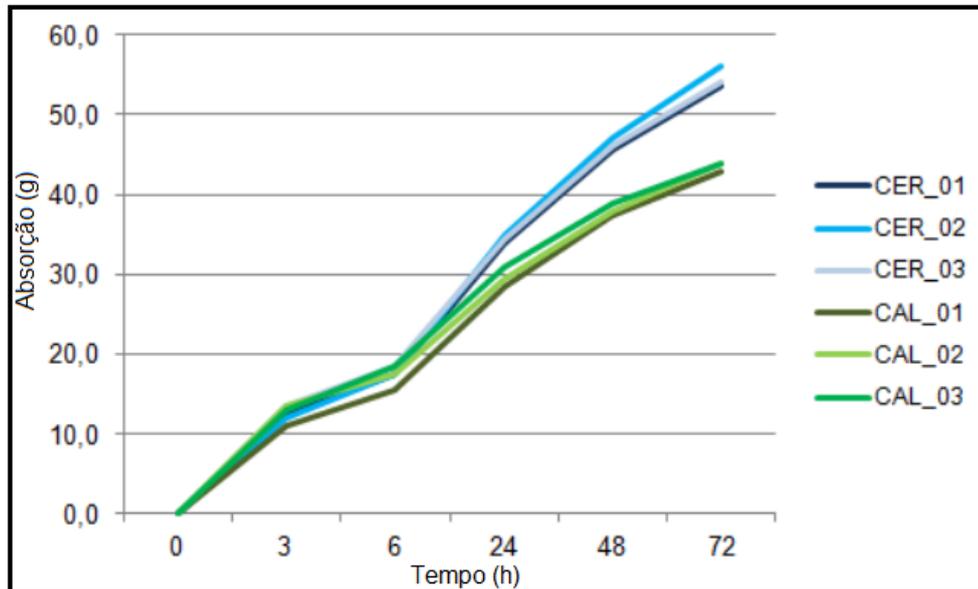


Figura 31: Curvas de absorção de água.
Fonte: A Autora, 2014.

Esta tendência a uma maior absorção por parte dos CP's com fíler cerâmico pode ainda ser verificada através do aspecto visual dos mesmos (Figuras 32 e 33), quando rompidos diametralmente ao final do ensaio: $\cong 6,5\text{cm}$ no cerâmico de ascendência no interior do corpo de prova, contra $\cong 5,0$ no calcário.



Figura 32: Profundidade da absorção de água.
Fonte: A Autora, 2014.



Figura 33: CP's do ensaio de absorção rompido diametralmente.
Fonte: A Autora, 2014.

5 CONCLUSÃO

Retomando a proposta inicial do presente trabalho, buscava-se por meio de ensaios práticos determinar a viabilidade do uso de fíler cerâmico proveniente da obtenção de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição, no controle de segregação e exsudação de concretos auto adensáveis.

Ainda, entre seus objetivos principais, dever-se-ia avaliar a influência de seu uso nas resistências características, assim como nos efeitos relacionados à absorção de água do produto final obtido.

Desta forma, em se tratando dos ensaios em pastas, avaliando-se a influência da adição de fíler cerâmico nestas misturas, pode-se determinar que, pequenas dosagens deste material proporcionam significativas reduções, tanto no tempo de escoamento, como no diâmetro de espalhamento do produto final, sendo estes pontos, quando vistos sem avaliação de contexto, tidos como negativos.

Porém, quando comparado ao fíler calcário, o qual exige um maior consumo de material para serem obtidos os mesmos resultados, a situação se reverte. Deve-se lembrar que, também em pequenas quantidades, tal material fino torna-se efetivo no controle de segregação e exsudação destas pastas, diferentemente do fíler calcário comumente utilizado, que exige para tanto dosagens bem mais significativas.

De maneira análoga aos ensaios com pastas, em argamassas o fíler cerâmico apresentou as mesmas características de redução do espalhamento, assim como do controle de exsudação. Novamente, quando comparada ao fíler calcário, a dosagem ideal para a obtenção de argamassas com espalhamentos semelhantes, na qual foram controlados a ocorrência de segregação e exsudação, foi possível obterem-se dosagens significativamente inferiores às do outro material, em torno de 50% deste.

Avaliando as resistências à compressão das argamassas, tanto nas primeiras idades quanto nas idades finais de cura, o uso do fíler cerâmico não obteve resultados negativos quando comparados ao uso do fíler calcário. Ao contrário, apresentou resistências ligeiramente superiores às obtidas pela mistura com fíler calcário, provando que seu uso neste sentido pode ser efetivado.

Com relação às resistências à flexão, as misturas de fíler calcário mostraram-se ligeiramente melhores, embora não sejam de fato valores expressivos para tanto.

Já nos ensaios em concretos, mais uma vez ficou claro que o consumo de fíler cerâmico para atender aos mesmos requisitos cumpridos pelo fíler calcário no estado fresco é significativamente inferior, chegando para tanto a um consumo duas vezes menor que aquele utilizado de costume.

De maneira análoga ao ocorrido com as argamassas, quando avaliada a resistência característica à compressão deste concreto, tanto para as primeiras idades, como para a idade final de ganho de resistência, as resistências obtidas na dosagem com fíler cerâmico mostraram-se ligeiramente superiores àquelas obtidas com o fíler calcário, provando-se por fim, atender à essas exigências.

Já no ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade nos concretos executados, observou-se que, quando submetidos a pequenos tempos de contato, os resultados apresentam-se muito semelhantes para ambas as misturas. Já em períodos mais prolongados, o concreto com fíler cerâmico tende a desenvolver uma maior absorção de água se comparado ao outro.

Neste caso, quando do uso de concretos com este tipo de adição proposto, recomenda-se a tomada de maiores cuidados com relação ao contato com líquidos, uma vez que a absorção de água é fator determinante na durabilidade de estruturas de concreto.

No mais, acredita-se que o fíler cerâmico como adição em concretos auto-adensáveis acaba por suprir aos objetivos que lhe foram impostos, atendendo positivamente à estes.

Como sugestão a trabalhos futuros, avaliando a elevada produção de material fino cerâmico quando da obtenção de agregados reciclados de entulho, sugere-se a produção de concretos auto-adensáveis com substituição total e/ou parcial dos agregados naturais por AGR, com uso exclusivo de adição do fíler produzido no beneficiamento destes. Ainda, sugere-se o estudo de um trabalho no qual se faça uso de fíler produzido pelo beneficiamento de resíduos de obras distintas, em concretos auto-adensáveis, avaliando a influência dos materiais cimentícios no fíler cerâmico, bem como a influência pela variabilidade do produto. E por fim, fica a investigação futura dos efeitos de absorção de água em concretos com adição de fíler cerâmico, finalizando desta forma, os estudos acerca da proposta deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABRELPE: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2012. Folhetim. São Paulo, 2012.

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.

ANGULO, Sérgio C. - **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. Dissertação - Programa de Pós Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

ANGULO, Sérgio C. - **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005. Tese - Programa de Pós Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM-ISO 137: **Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento portland**. Rio de Janeiro, 1997.

____ NBR NM-ISO 565: **Peneiras de ensaio - Tela de tecido metálico, chapa metálica perfurada e lâmina eletroformada - Tamanhos nominais de aberturas**. Rio de Janeiro, 1997.

____ NBR 15114. **Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, 2004.

____ 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 5733. **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

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

____NBR 9935. **Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

____NBR NM 23. **Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

____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.

____NBR NM 53. **Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

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 29/06/2014.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei PL 0037/2011. Dispõe sobre o regime de aproveitamento das substâncias minerais, com exceção dos minérios nucleares, petróleo, gás natural e outros hidrocarbonetos fluidos e das substâncias minerais submetidas ao regime de licenciamento de que trata o inciso III do art. 2º do Decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Disponível em <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=490935>>, acesso em 27/01/2014.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei PL 5807/2013. Dispõe sobre a atividade de mineração, cria o Conselho Nacional de Política Mineral e a Agência Nacional de Mineração - ANM, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=581696>>, acesso em 27/01/2014.

CBCS: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - **Materiais, componentes e a construção sustentável**. 2009. Folhetim - Comitê Temático de Materiais. São Paulo, 2009.

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente - **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, n. 136, p.95, 17 de julho de 2002.

CÓRDOBA, Rodrigo E. - **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos de construção e demolição do município de São Carlos - SP**. 2010. Dissertação - Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2010.

DAMINELI, Bruno L. - **Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2007. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

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.

GIL, Antonio C. - **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE Imagens – **Site de busca de imagens**. Disponível em http://www.google.com.br/imghp?hl=pt-BR&tab=wi&ei=wSDHU4v_l8bhsASAsIDgDA&ved=0CAQQqi4oAg, acesso em 16/07/2014.

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

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.

LEITE, Mônica B. - **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

LIMA, Paulo G. - **Tendências paradigmáticas na pesquisa educacional.** 2001. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. Campinas, 2001.

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.

MANUEL, Paulo J. M. - **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis.** 2005. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

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

MIRANDA, Leonardo F. R., ANGULO, Sérgio C. Careli, Élcio D. - **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008.** Artigo Ambiente Construído. Porto Alegre. 2009

NUNES, Sandra C. B. - **Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades.** 2001. Dissertação - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2001.

OKAMURA, Hajime; OUSHI, Masahiro - **Self-Compacting Concrete.** 2003. Journal of Advanced Concrete Technology V ol. 1, No. 1, 5-15 - Japan Concrete Institute. Japão, 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.

REPETTE, Wellington L. - **Concreto Autoadensável**. Concreto: Ciência e Tecnologia. Vol. 2, 1ª ed. São Paulo: Geraldo C. Isaia/IBRACON, 2011.

SILVA, Narciso G.; SENFF, Luciano; KATO, Ricardo B.; REPETTE, Wellington L. - **Avaliação do desempenho de aditivos plastificantes e superplastificantes na manutenção da fluidez**. Artigo 51º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON. Florianópolis, 2009.

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. - **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis**. 2007. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

TUTIKIAN, Bernardo F.; DAL MOLIN, Denise; CREMONINI, Ruy - **Viabilização Econômica do Concreto Auto-adensável**. Artigo 12º Concurso Falcão Bauer. Porto Alegre, 2006.

ULSEN, Carina - **Caracterização Tecnológica de Resíduos de Construção e Demolição**. 2006. Dissertação - Programa de Pós Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

**APÊNDICE A: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO
AGREGADO MIÚDO E AGREGADO GRAÚDO NATURAIS,
AGR E FÍLER CERÂMICO PRODUZIDOS**

AGREGADO MIÚDO

O ponto de partida dos ensaios com agregados utilizados neste trabalho deu-se a partir da determinação granulométrica do agregado miúdo disponível para tal pesquisa, de modo a se obter um material que estivesse enquadrado às faixas granulométricas propostas por Melo (2005), ideais para utilização em concreto auto adensável.

Para tanto, fez-se uso da ABNT NBR NM 248:2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Para uma melhor representação do material, foram ensaiadas duas amostras com cerca de 750g, quarteadas manualmente e agitadas em agitador de peneiras mecânico, por um período de tempo de funcionamento de 50min.

Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela A.1.

Tabela A. 1: Granulometria do agregado miúdo.

Abertura	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	%Ret.Am1	%Ret.Am2	%Ret.Ac.Am1	%Ret.Ac.Am2
6,3	0	0	0	0	0	0
4,8	9,0	9,1	1,17	1,20	1,17	1,20
2,4	40,3	41,9	5,22	5,52	6,39	6,72
1,2	84,2	75,9	10,91	10,00	17,30	16,72
0,6	122,7	107,4	15,90	14,15	33,20	30,87
0,3	275,5	272,0	35,71	35,84	68,91	66,71
0,15	216,9	227,3	28,11	29,95	97,02	96,67
0,075	19,2	21,0	2,49	2,77	99,51	99,43
Fundo	3,8	4,3	0,49	0,57	100,00	100,00
Total	771,6	758,9	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: A Autora, 2014.

Ainda, tomando por base o ensaio de granulometria, pôde-se determinar a dimensão máxima característica do material, sendo definida pela NBR acima citada como a abertura na qual a porcentagem de material retido acumulado seja igual ou inferior a 5%, portando, neste caso, $d_{m\acute{a}x}=4,8\text{mm}$.

Outro fator que pode ser determinado através de tal ensaio diz respeito ao módulo de finura do agregado, determinado pela mesma norma como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa, das peneiras da série normal, divididos

por 100. Desta forma, obteve-se um valor para o módulo de finura (MF) médio entre os dois ensaios igual a 2,22.

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.

A segunda das determinações deu-se em relação a massa específica do material, utilizada no cálculo do consumo de cimento do traço a ser obtido. Para tanto, lançou-se mão do método do picnômetro.

Tal método baseia-se na aferição inicial da massa do frasco cheio com água, onde, após a retirada de parte da água do frasco, insere-se uma massa conhecida de material, e após um intervalo de descanso para a saturação do agregado, completa-se o frasco com água, e afere-se a massa final do conjunto.

O ensaio deve ser realizado ao menos duas vezes, sendo que não pode haver diferença significativa entre os valores encontrados para cada uma das amostras.

Os valores encontrados podem ser observados na Tabela A.2.

Tabela A. 2: Massa específica do agregado miúdo.

$M_{\text{frasco+H}_2\text{O}}$ (g)	M_{areia} (g)	$M_{\text{frasco+H}_2\text{O+areia}}$ (g)	Vol. Desl. (cm ³)	Massa Esp. (g/cm ³)
654,61	300,00	840,35	114,26	2,626
654,61	253,10	811,25	96,46	2,624

Fonte: A Autora, 2014.

Sendo então a massa específica encontrada $Y_{\text{média}} = 2,625 \text{ g/cm}^3$.

AGREGADO GRAÚDO

Assim como para o agregado miúdo, iniciaram-se as etapas de caracterização do agregado graúdo pela granulometria, de modo a se obter um material que estivesse enquadrado dentro das faixas especificadas por Melo (2005) como ideais.

Desta forma, utilizou-se da Norma ABNT NBR NM 248:2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica, para sequenciar tal ensaio.

Como a dimensão máxima característica era ainda desconhecida, foram ensaiadas duas amostras de cerca de 1000g de material, previamente quarteado manualmente, seguindo à agitação em agitador mecânico de peneiras, por um tempo fixo de 50min.

Fazendo-se necessário atender aos critérios de dimensão máxima iguais, e ainda, de porcentagens retidas em cada abertura inferiores a 4%, o ensaio foi refeito até que estes eram atendidos, sendo apresentadas na Tabela A.3 as duas melhores amostragens.

Tabela A. 3: Granulometria do agregado graúdo.

Abertura	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	%Ret.Am1	%Ret.Am2	%Ret.Ac. Am1	%Ret.Ac. Am2
25	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
19	10,6	12,6	0,82	1,37	0,82	1,37
12,5	558,5	397,4	42,97	43,33	43,79	44,71
9,5	580,6	410,1	44,67	44,72	88,46	89,42
6,3	142,4	94,2	10,96	10,27	99,42	99,69
4,8	0,0	0,0	0,00	0,00	99,42	99,69
2,4	0,0	0,0	0,00	0,00	99,42	99,69
1,2	0,0	0,0	0,00	0,00	99,42	99,69
0,6	0,0	0,0	0,00	0,00	99,42	99,69
0,3	0,0	0,0	0,00	0,00	99,42	99,69
0,15	0,0	0,0	0,00	0,00	99,42	99,69
Fundo	7,6	2,8	0,58	0,31	100,00	100,00
Total	1299,7	917,1	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: A Autora, 2014.

Do ensaio de composição granulométrica, pôde-se ainda retirar o valor médio de módulo de finura (MF), igual a 6,9, além ainda da dimensão máxima característica do agregado, obtida neste caso no valor de $d_{m\acute{a}x}=19,00\text{mm}$.

Outro ensaio de caracterização para o agregado graúdo foi o referente a determinação de sua massa específica. Para tanto, lançou-se mão do procedimento de ensaio utilizando pesagem hidrostática, descrito pela ABNT NBR NM 53/2009 - Agregado Graúdo: Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.

Após feita a lavagem, cerca de 5Kg de material foram submetidos a estufa de secagem, de modo a aferir-se a massa seca ao ar da amostra, tendo sido retirado da mesma após constância de massa, e sendo então verificado uma massa ao ar da amostra seca $m = 8553,5g$.

Cerca de três horas após a retirada da estufa, o material foi deixado submerso em água por 24 horas, para realizar a saturação do mesmo. Quando retirado, com o auxílio de um pano efetuou-se a secagem da superfície do material de modo a se obter a condição de saturado superfície seca, onde foi encontrado um valor de $m_s = 8644,0g$.

Desta fase, seguiu-se a pesagem hidrostática com auxílio de um cesto de abertura na malha de 4,8mm, de modo a evitar a dispersão do material na água. Nesta fase foi obtida uma massa em água de $m_a = 5646,5g$.

A absorção de água obtida, definida em função da massa saturada superfície seca e da massa seca, foi igual a 1,06%.

Deste modo, o valor obtido para a massa específica de tal agregado foi de $2,853g/cm^3$.

AGREGADO RECICLADO

Tendo passado pelo processo de cominuição em britador de mandíbulas uma amostra de cerca de 10Kg de blocos cerâmicos, puderam ser caracterizados os agregados obtidos neste processo.

O primeiro dos ensaios consistiu na separação granulométrica do montante obtido em agregado graúdo e agregado miúdo, separados pela peneira ABNT de abertura nominal de 4,8mm.

Sendo então a amostra real ensaiada de 10218,5g, onde desses 2715,0g eram agregado miúdo e 7503,5g agregado graúdo, pode-se determinar as proporções produzidas pelo moinho, de 26,57% de agregado miúdo, para 73,43% de agregado graúdo.

A partir da ABNT NBR NM 46/2003 - Agregados: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m por lavagem, pôde-se determinar a quantidade de material pulverulento presente na amostra de agregado miúdo. Partindo-se de uma amostra inicial seca de 2697,5g de material, e obtendo-se ao final do ensaio novamente uma amostra seca de 2537,1g, ou seja, 160,4g de

material fino "lavado", obtemos que, o correspondente a 5,95% do agregado miúdo corresponde a material pulverulento.

Ainda, seguindo a ABNT NBR NM 248/2001 - Agregados: Determinação da composição granulométrica, pôde-se determinar a granulometria dos agregados obtidos, estando estas apresentadas nas Tabelas A.4 e A.5.

Tabela A. 4: Granulometria agregado miúdo reciclado.

Abertura	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	%Ret.Am1	%Ret.Am2	%Ret.Ac.Am1	%Ret.Ac.Am2
4,8	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
2,4	285,1	288,7	55,06	53,08	55,06	53,08
1,2	116,7	119,6	22,54	21,98	77,60	75,06
0,6	45,7	54,8	8,82	10,07	86,42	85,13
0,3	24,1	31,4	4,65	5,76	91,07	90,89
0,15	19,1	21,9	3,69	4,02	94,76	94,92
Fundo	27,1	27,6	5,24	5,08	100,00	100,00
Total	517,7	544,0	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: A Autora, 2014.

O módulo de finura encontrado para o agregado miúdo reciclado é igual a 4,02, e a dimensão máxima característica do mesmo ficou em 4,8mm.

Tabela A. 5: Granulometria agregado graúdo reciclado.

Abertura	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	%Ret.Am1	%Ret.Am2	%Ret.Ac.Am1	%Ret.Ac.Am2
12,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	248,4	227,7	35,49	32,55	35,49	32,55
6,3	322,5	340,4	46,09	48,66	81,59	81,22
4,8	111,9	115,1	15,99	16,46	97,57	97,68
2,4	0,0	0,0	0,00	0,00	97,57	97,68
1,2	0,0	0,0	0,00	0,00	97,57	97,68
0,6	0,0	0,0	0,00	0,00	97,57	97,68
0,3	0,0	0,0	0,00	0,00	97,57	97,68
0,15	0,0	0,0	0,00	0,00	97,57	97,68
Fundo	17,0	16,3	2,43	2,32	100,00	100,00
Total	699,7	699,4	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: A Autora, 2014.

Para o agregado graúdo reciclado, o módulo de finura obtido é igual a 6,22, e a dimensão máxima característica, 12,5mm.

Ensaio ainda conforme a ABNT NBR NM 53/2003 - Agregado graúdo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água,

obteve-se, um valor de massa específica aparente igual a $1,52\text{g/cm}^3$ e de absorção de 22,63%.

FÍLER CERÂMICO

Para a caracterização do fíler cerâmico desenvolvido, utilizou-se a aferição de sua massa específica, de modo a poder obter-se um comparativo com relação ao fíler calcário convencionalmente utilizado.

Para tanto, fez-se uso da ABNT NBR NM 23/2001 - Cimento portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica.

Como o fíler utilizado (tanto o cerâmico, como o calcário) não possui reatividade como os cimentos, por exemplo, pode-se utilizar como líquido dispersante a própria água, tendo ela massa específica superior aos $0,731\text{g/cm}^3$ recomendados pela norma.

O ensaio foi feito por duas vezes consecutivas, utilizando-se do mesmo frasco de Le Chatelier, em laboratório com temperatura constante de 23°C . Os dados obtidos podem ser observados na Tabela A.6.

Tabela A. 6: Massa específica do fíler cerâmico utilizado.

Tipo	Leitura1	Leitura2	Massa (g)	Massa Específica (g/cm^3)
Cerâmico	0,3	19,3	50	2,632
Cerâmico	0,5	19,5	50	2,632
Calcário	0,8	18,1	47,3	2,734
Calcário	0,7	18,4	48,2	2,723

Fonte: A Autora, 2014.

Obtendo-se dessa forma uma massa específica média de $2,632\text{g/cm}^3$ para o fíler cerâmico e $2,728\text{g/cm}^3$ para o fíler calcário.

**APÊNDICE B: DETERMINAÇÃO DO
ESQUELETO GRANULAR**

Por se tratar de um ensaio ainda não normatizado, a determinação do esqueleto granular dos agregados, segue algumas recomendações de autores do assunto.

Inicialmente, afere-se a capacidade volumétrica, de modo a se obter um volume conhecido para um recipiente de aproximadamente 5L, com abertura superior que propicie o nivelamento da superfície, onde serão realizadas as mesclas de agregados. Neste caso, utilizou-se de um recipiente com capacidade de 4481,8cm³.

O procedimento do ensaio consistiu na formação de camadas intercaladas de agregado graúdo e agregado miúdo, onde a soma das massas, com as respectivas proporções atendessem cerca de 2000g por camada, por exemplo, na mescla de 50/50, adicionava-se 1000g de brita para 1000g de areia.

Nas últimas camadas, mantendo-se sempre a proporção inicial, diminuía-se a quantidade de material adicionada, 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 4 mesclas, sendo as proporções de areia e brita respectivamente 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.

O índice de vazios foi calculado utilizando-se da seguinte equação:

$$IV = \frac{Me_{Mescla} - Mu_{Mescla}}{Me_{Mescla}} * 100$$

Os valores obtidos podem ser observados na Tabela B.1.

Tabela B. 1: Mesclas do esqueleto granular.

Areia (%)	Brita (%)	Volume (cm³)	Massa (g)	Massa Unitária (g/cm³)	Massa Específica (g/cm³)	IV (%)
60	40	4481,8	8980,5	2,004	2,716	26,2
50	50	4481,8	9316,5	2,079	2,739	24,1
40	60	4481,8	9838,0	2,195	2,762	20,5
30	70	4481,8	9690,5	2,162	2,785	22,4

Fonte: A Autora, 2014.

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.

**APÊNDICE C: RESISTÊNCIAS DAS
ARGAMASSAS E CONCRETOS**

Tabela C. 1: Resistências dos concretos com adição.

Corpo de Prova	Carga (Tf)	Tensão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão
CER_24_01	16,00	20,37		
CER_24_02	18,00	22,92	25,89	6,092
CER_24_03	27,00	34,38		
CAL_24_01	14,00	17,83		
CAL_24_02	22,00	28,01	24,62	4,802
CAL_24_03	22,00	28,01		
CER_28_01	58,00	73,85		
CER_28_02	56,00	71,30	75,12	2,438
CER_28_03	60,00	76,40		
CAL_28_01	55,00	70,03		
CAL_28_02	56,00	71,30	72,15	2,164
CAL_28_03	59,00	75,12		

Fonte: A Autora, 2014.

Tabela C. 2: Resistências das argamassas com adição.

Corpo de Prova	Flexão (MPa)	Média (MPa)	Comp_7dias (MPa)	Média (MPa)	Comp_28dias (MPa)	Média (MPa)
CER_15_01	8,50		74,78		87,86	
CER_15_02	8,05	8,29	73,09	73,76	84,09	88,00
CER_15_03	8,33		73,40		92,05	
	Desvio Padrão=	0,186	Desvio Padrão=	0,735	Desvio Padrão=	3,251
CER_20_01	7,77		48,06		63,84	
CER_20_02	7,01	7,38	49,82	48,02	67,03	66,90
CER_20_03	7,37		46,17		69,83	
	Desvio Padrão=	0,310	Desvio Padrão=	1,490	Desvio Padrão=	2,447
CAL_30_01	10,65		72,30		77,70	
CAL_30_02	9,69	10,06	71,00	70,43	75,78	77,10
CAL_30_03	9,83		67,99			
	Desvio Padrão=	0,423	Desvio Padrão=	1,805	Desvio Padrão=	0,935
CAL_35_01	10,16		65,42		67,57	
CAL_35_02	10,02	9,92	66,83	66,63	73,51	72,08
CAL_35_03	9,58		67,63		75,16	
	Desvio Padrão=	0,247	Desvio Padrão=	0,914	Desvio Padrão=	3,259

Fonte: A Autora, 2014.