

MONOGRAFIA

"CONCRETO AUTOADENSÁVEL: SOLUÇÃO OU MODISMO"

Autor: Ronaldo Sabino de Oliveira

Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães

Outubro/2011

Ronaldo Sabino de Oliveira

"CONCRETO AUTOADENSÁVEL: SOLUÇÃO OU MODISMO"

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia UFMG

Orientador: Prof. Aldo Giuntini de Magalhães

Rio de Janeiro

Escola de Engenharia da UFMG

2011

Dedico este trabalho a Deus, por orientar os meus passos diários.

Aos meus pais, que compartilharam comigo todos os momentos até chegar a esta etapa.

Em especial, a minha noiva Maria Fernanda, pelo apoio e imensa cooperação em todo o processo de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores do Curso de Especialização em Construção Civil, à Arcelor Mittal pela oportunidade e em especial à Construtora Queiroz Galvão pelo incentivo e apoio.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. <i>Conceito do Concreto Autoadensável (CAA)</i>	11
2.2. <i>Generalidades do Concreto Autoadensável (CAA)</i>	11
2.2.1. <i>Caracterização</i>	11
2.2.2. <i>Vantagens e Desvantagens</i>	12
2.3. <i>Histórico</i>	14
2.4. <i>Constituintes e Dosagens</i>	17
2.4.1. <i>Constituintes</i>	17
2.4.1.1. <i>Cimento</i>	17
2.4.1.2. <i>Agregado Miúdo</i>	19
2.4.1.3. <i>Agregado Graúdo</i>	19
2.4.1.4. <i>Aditivos</i>	20
2.4.1.5. <i>Adições Minerais</i>	23
2.4.1.6. <i>Água</i>	25
2.4.2. <i>Dosagens</i>	26
2.4.2.1. <i>Método de Dosagem de Tutikian</i>	26
2.5. <i>Reologia do Concreto Autoadensável (CAA)</i>	30
2.6. <i>Ensaio para Controle de Autoadensabilidade</i>	32
2.6.1. <i>Ensaio de Espalhamento (Slump Flow Test)</i>	32
2.6.2. <i>Ensaio do Anel-J (J-Ring test)</i>	35
2.6.3. <i>Ensaio do Funil-V (V-Funnel test)</i>	38
2.6.4. <i>Ensaio da Caixa-L (L-Box test)</i>	40
2.6.5. <i>Ensaio da Caixa-U (U-Box test)</i>	42
2.6.6. <i>Ensaio Orimet (Orimet test)</i>	44
2.6.7. <i>Ensaio do Tubo-U (U-pipe test)</i>	47
2.6.8. <i>Considerações Finais</i>	50
2.7. <i>Propriedades do Estado Endurecido</i>	51
3. CONCLUSÃO	53
4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Mecanismo de bloqueio do agregado graúdo	15
Figura 2.2: Mecanismo para obtenção da autoadensabilidade	16
Figura 2.3: Etapas para dosagem do CAA	26
Figura 2.4: Modelos reológicos	31
Figura 2.5: CAA sem segregação	33
Figura 2.6: Teste de espalhamento	34
Figura 2.7: Teste do Anel-J em conjunto com o teste de espalhamento	36
Figura 2.8: Dimensões do Ensaio do Anel-J e medições	37
Figura 2.9: Ensaio do Funil-V	38
Figura 2.10: Ensaio da Caixa-L	40
Figura 2.11: Ensaio da Caixa-U	42
Figura 2.12: Ensaio Orimet em conjunto com Anel-J	44
Figura 2.13: Ensaio Orimet	45
Figura 2.14: Ensaio do Tubo-U	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Classificação das adições minerais.....	23
Tabela 2.2: Consequências e características do emprego das adições quimicamente ativas.....	24
Tabela 2.3: Faixa dos valores dos ensaios de autodensamento.....	50

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

A = área de atuação de uma força

d = diâmetro de barra para ensaio de frequência de oscilação

E = módulo de elasticidade

ε = deformação específica

ρ = densidade do material

σ = tensão

CSTB = Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Paris (França)

DIN = Deutsches Institut für Normung, Berlin (Alemanha)

NBR = Norma Brasileira

CAA = Concreto Autoadensável

CCV = Concreto Convencional

C3A = Aluminato tricácico

RESUMO

O presente trabalho trata do Concreto Autoadensável (**CAA**), material reconhecido como uma importante evolução na tecnologia de concreto. A escolha do tema foi pautada na necessidade de aprofundar os conhecimentos pertinentes ao **CAA**, analisando criticamente as exigências da construção civil.

Para orientar o trabalho, buscou-se fazer uma análise do assunto, através do estudo do material a fim de responder a seguinte pergunta: solução ou modismo?

Inicialmente, será feita uma análise das generalidades do concreto autoadensável, citando suas características, vantagens e desvantagens.

Após, se fará uma abordagem histórica acerca do surgimento do **CAA**, a fim de destacar os principais objetivos do seu desenvolvimento, analisando os constituintes e dosagens da mistura, a característica reológica do **CAA**, citando inclusive os ensaios empregados em laboratórios e canteiros para o controle tecnológico do material.

Por fim, se fará breve comentário acerca das dificuldades de consolidação e emprego do **CAA** na realidade do mercado da construção civil brasileira, atentando para sua viabilidade técnica, econômica e financeira.

1. INTRODUÇÃO

Antes de aprofundar o estudo do tema, é preciso traçar breves considerações acerca do **Concreto Autoadensável** e o porquê de ser um assunto relevante para a indústria da construção civil.

Muitas indústrias e construtoras notaram que o **CAA** pode trazer vantagens quando da sua utilização, principalmente a indústria dos pré fabricados de concreto.

A partir dessa constatação, o **CAA** se tornou claramente a área da tecnologia do concreto com o maior potencial de desenvolvimento, podendo ser encarado como uma nova tecnologia a ser difundida na indústria da construção civil, por trazer benefícios técnicos, econômicos e de tempo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. *Conceito do Concreto Autoadensável (CAA)*

Entende-se por concreto **autoadensável (CAA)** o concreto cuja compactação é obtida apenas por meio de seu peso próprio, com a ausência de qualquer tipo de vibração ou compactação externa. É capaz de fluir somente pela ação da gravidade, preenchendo todos os espaços vazios da forma e se autoadensar totalmente.

2.2. *Generalidades do Concreto Autoadensável (CAA)*

2.2.1. *Caracterização*

Segundo o autor TUTIKIAN, um concreto somente poderá ser caracterizado como autoadensante se e somente se no estado fresco três propriedades forem alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para a mistura fluir intacta entre obstáculos (habilidade de passagem) e resistência à segregação.

A fluidez está diretamente ligada à capacidade de preenchimento e consiste na capacidade do **CAA** de escoar por dentro da forma preenchendo todos os espaços somente pela ação de seu peso próprio. São mecanismos próprios dessa propriedade a alta fluidez e coesão do **CAA**.

A habilidade de passagem caracteriza-se pela capacidade do **CAA** de fluir dentre limitadores tais como: armaduras, seções estreitas, alterações de seção e aberturas sem que haja obstrução ou retenção do fluxo. Os mecanismos que

caracterizam essa propriedade são: viscosidade da pasta, da argamassa e as características dos agregados. Ocorrendo o fenômeno de segregação da pasta, dificilmente esta propriedade será contemplada.

A resistência à segregação é a capacidade do **CAA** de se manter coeso ao fluir dentro das formas, passando ou não por limitadores. Significa a garantia da uniformidade da mistura sem separação de seus componentes. Os mecanismos que caracterizam essa propriedade são: viscosidade e a coesão da mistura.

Nota-se que as três propriedades anteriormente citadas estão inter-relacionadas. Logo, pequenas alterações em quaisquer delas, acarretarão problemas no desempenho do **CAA**, como exemplo, a alteração na coesão influenciará na habilidade de passagem da mistura e ou a resistência à segregação. Verifica-se também que essas propriedades estão relacionadas com características reológicas do material.

2.2.2. Vantagens e Desvantagens

O **CAA** vem sendo tratado como uma das maiores inovações em tecnologia do concreto nos últimos anos, por possuir inúmeras vantagens, diretas e indiretas, às quais merecem destaque:

- ✓ Aumento da produtividade no lançamento de concreto já que o seu adensamento não é necessário.

- ✓ Redução do efetivo na obra devido à ausência da atividade de adensamento de concreto.
- ✓ Aumento da durabilidade da estrutura em razão do seu melhor adensamento, já que é menor a ocorrência de vazios e falhas de concretagem.
- ✓ Maior liberdade arquitetônica em estruturas, pois o **CAA** pode ser facilmente moldado em diversas formas e dimensões.
- ✓ Redução da poluição sonora em obras.
- ✓ A redução do efetivo acarreta diretamente a diminuição do risco de acidentes de trabalho.
- ✓ Ganho ecológico já que o **CAA** em sua composição pode apresentar altos teores de resíduos de outras indústrias, tais como: cinza de casca de arroz, escória de alto forno ou cinza volante.
- ✓ Possibilidade de redução do custo final da estrutura caso sejam compostas as vantagens diretas e indiretas de sua aplicação.

Diante do exposto, conclui-se que a grande vantagem do **CAA** é a garantia de que um concreto bem dosado, que atenda às especificações de projeto e de características no estado fresco, com lançamento e cura adequados, vai resultar um produto final endurecido de qualidade, ao contrário do concreto convencional (**CCV**) cujo produto final depende largamente do processo de adensamento ou compactação.

É importante mencionar também algumas desvantagens, tais como a dificuldade de absorção completa pelo setor, em razão do tradicionalismo da indústria da construção civil, da lenta inovação tecnológica, e da ausência de mão de obra qualificada em todas as etapas de sua aplicação.

Apesar das desvantagens, o concreto autoadensável tem se tornado uma excelente opção para o setor da construção. Sua utilização vem aumentando gradativamente, promovendo a elaboração de novos estudos e o constante desenvolvimento deste material.

2.3. Histórico

O desenvolvimento do concreto autoadensável (**CAA**) teve início no Japão, na década de 80, em um momento de intensa pesquisa por soluções técnicas capazes de maximizar a durabilidade e minimizar as dificuldades de se obter um correto adensamento em estruturas de concreto.

Observou-se à época, que as estruturas locais continham formas complexas e elevadas taxas de armadura, necessárias para resistir aos abalos sísmicos locais. Por essa razão, registravam-se problemas com a durabilidade das estruturas.

Com o objetivo de minimizar o problema, em 1983, na Universidade de Tóquio, o Prof. Hajime Okamura iniciou seus estudos com o objetivo de desenvolver estruturas mais duráveis. A concepção de estruturas duráveis buscava obter uma compactação adequada e somente seria possível com o emprego de

operários especializados. Entretanto, nessa mesma época, a indústria da construção japonesa apresentava escassez desse tipo de funcionário.

Além disso, a baixa trabalhabilidade dos concretos também era um fator que dificultava seu adensamento em elementos estruturais com formas complexas e alta taxa de armadura, prejudicando, portanto, a durabilidade.

Segundo “GOMES” o **CAA** foi desenvolvido em 1986, com seu primeiro modelo obtido em 1988 por Ozawa. Estudos preliminares tiveram início em experimentos que descreviam o fluxo do concreto. Verificou-se que o bloqueio do fluxo ocorria pelo contato entre os agregados, podendo aquele ser encontrado quando o concreto tenta passar através de um obstáculo ou abertura.

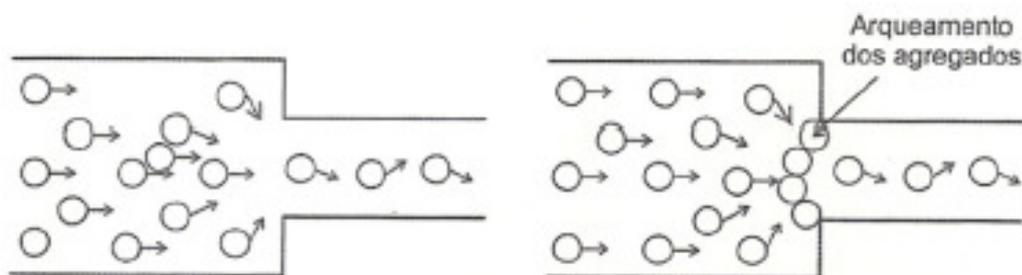


Figura 2.1: Mecanismo de bloqueio do agregado graúdo.

A figura 2.1 apresenta um modelo ilustrativo bidimensional que explica o mecanismo de bloqueio do agregado graúdo. Nota-se que com a alteração no trajeto de fluidez das partículas de agregado, através ou em torno da passagem, pode ocorrer a formação de um arco estável dessas partículas em frente à abertura, bloqueando a fluidez do restante do concreto. O arqueamento desenvolve-se devido os seguintes motivos:

- Dimensão dos agregados relativamente grande em relação às dimensões da abertura;
- Grande quantidade de agregado graúdo;
- Forma das partículas se afasta da esférica.

Conclui-se que a alta viscosidade, a correta análise granulométrica do agregado graúdo e a dosagem da mistura são exigências para evitar o efeito do arqueamento quando o concreto flui através de barreiras.

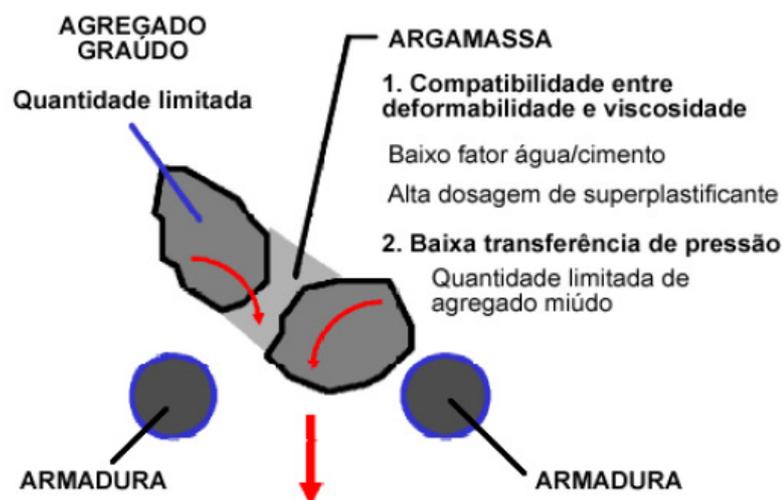


Figura 2.2: Mecanismo para obtenção da autoadensabilidade.

Após algumas aplicações in loco de **CAA** no Japão, em meados dos anos 90, o **CAA** surge na Europa e atinge rapidamente a aceitação no mercado europeu. No Brasil, o emprego do **CAA** se iniciou predominantemente na indústria de pré-moldados. Posteriormente, como solução para o adensamento de peças estruturais de difícil acesso e densamente armadas passou a ser utilizado pela indústria em geral. Atualmente, diversas pesquisas e publicações

sobre o **CAA** vêm sendo tratadas em seminários e congressos sobre tecnologia do concreto.

2.4. Constituintes e Dosagens

2.4.1. Constituintes

O **CAA** é um concreto que possui os mesmos constituintes utilizados na fabricação do concreto convencional (**CCV**), porém acrescidos em maior proporção de materiais finos, aditivos e as adições minerais.

A seleção dos materiais é a etapa mais trabalhosa para produção de **CAA**, em razão da grande variedade na composição e propriedades de cimentos e agregados.

Outra dificuldade são as várias opções disponíveis no mercado para escolha de aditivos e adições minerais que podem ser aplicadas na produção de **CAA**.

2.4.1.1. Cimento

Para a produção de **CAA** podem ser utilizados todos os cimentos do tipo Portland, pois não existem estudos científicos que especifiquem o tipo de cimento mais apropriado para o **CAA**. A escolha correta do tipo de cimento passa por estudos e avaliações sobre as características de cada local e a estrutura sobre a qual o **CAA** será aplicado.

Algumas limitações quanto ao tipo de cimento são abordadas nas obras científicas existentes, tais como a necessidade de água e trabalhabilidade da

mistura. Os fatores de controle dessas limitações são a proporção de aluminato tricálcico (**C3A**) e a granulometria do cimento.

Conforme se verá mais adiante, a característica reológica de um cimento é analisada com base no controle do **C3A**, que atende à relação de quanto menor for a quantidade de **C3A**, mais demorado será o processo de endurecimento da mistura. Logo, cimentos com grande quantidade de **C3A** tendem a perder fluidez rapidamente, o que pode acarretar em fissuras devido a retração da mistura.

Alguns estudiosos informam que o teor de **C3A** deve ser inferior a 10% em massa da mistura. Em relação à granulometria, quanto maior a superfície específica do cimento, maior será a coesão da mistura, pois a maior quantidade dessas partículas em contato com a água aumenta a colisão entre as partículas, reduzindo a tensão de escoamento e elevando a viscosidade do **CAA**.

Como o **CAA** caracteriza-se pela coesão, maior é a demanda por partículas finas e com elevada superfície específica. Há, porém, que se atentar para os cuidados com o calor de hidratação e retração do concreto.

Segundo GOMES, a quantidade de cimento do **CAA** varia em torno de 200 a 450 kg/m³, dependendo da utilização de adições reativas ou inertes. Geralmente para dosagens onde a taxa de cimento é inferior a 300 kg/m³ deve-se adicionar outro material cimentício, tal como a escória de alto forno ou a cinza volante.

2.4.1.2. Agregado Miúdo

Em geral, todas as areias estão propícias a serem utilizadas na produção do **CAA**. Esta pode ser obtida tanto de forma natural, em depósitos eólicos ou em beira de rios, como resultado de processo industrial. As obtidas por meio natural são mais indicadas por terem forma mais arredondada. Com relação à areia industrial deve-se atentar para a característica deste material, pois muitas apresentam forma angular. Para solucionar este problema, basta misturar na composição, certa proporção de areia natural.

O agregado miúdo apresenta forte influência sobre a coesão e a fluidez do **CAA**. Para garantir a eficácia dessas propriedades, recomenda-se a utilização de agregados miúdos com partículas arredondadas, pois aumentam a fluidez da mistura. Assim, quanto mais angular for o agregado miúdo, maior será a resistência ao cisalhamento das argamassas, dificultando o comportamento reológico do concreto.

Recomenda-se ainda, que as partículas que passam pela peneira 0,125mm sejam consideradas como agregado miúdo e o seu volume na composição da argamassa varie entre 40% e 50% com proporção aproximada de 710 a 900 kg/m³.

2.4.1.3. Agregado Graúdo

Geralmente, as recomendações quanto à dimensão máxima característica são mais exigentes. O diâmetro máximo característico do agregado graúdo deve

ser inferior a $\frac{2}{3}$ do espaçamento entre as armaduras e a $\frac{3}{4}$ do cobrimento mínimo de concreto, Habitualmente os diâmetros são compreendidos entre 12,5 e 19mm.

O **CAA** tende a possuir um baixo volume de agregado graúdo na faixa entre 28% e 35% do volume de concreto e uma relação de peso de 32% a 40% com proporção aproximadamente de 750 kg/m³ a 920 kg/m³.

2.4.1.4. Aditivos

Os dois principais tipos de aditivos utilizados no **CCA** são:

a) Superplastificante

A utilização do superplastificante é de extrema importância na composição do **CAA** já que permite que se alcance alta fluidez nas misturas. Sem o emprego deste aditivo podemos dizer que seria impossível atingir um concreto com as características e vantagens do **CAA**.

Os superplastificantes são agentes redutores de água, formulados a partir de materiais que permitem reduções de água e o aumento da trabalhabilidade dos concretos. São muito empregados na produção de concretos de alto desempenho (**CAD**), principalmente quando é necessário um concreto com alta fluidez com baixa relação água/cimento.

Geralmente os superplastificantes podem ser especificados em quatro grupos, de acordo com sua composição química:

- Lignossulfonatos ou lignossulfonatos modificados (**LS**). São incorporadores de ar e retardam a pega do cimento. Conhecidos como aditivos de primeira geração;
- Sais sulfonatos de policondensado de naftaleno e formaldeído (**NS**). Não incorporam ar e praticamente não influenciam no tempo de pega do cimento. Conhecidos como aditivos de segunda geração;
- Sais sulfonatos de policondensado de melamina e formaldeído (**MS**). Tende a retardar a pega do cimento e possivelmente incorporar pequena quantidade de ar. Conhecidos também como aditivos de segunda geração;
- Policarboxilatos (**PC**). Mais indicados para o emprego no **CAA**. No presente trabalho trataremos apenas deste grupo de aditivos.

Os superplastificantes **PC's** são os mais utilizados no **CAA**, em razão da alta eficiência na dispersão e desfloculação das partículas de cimento e permitem considerável queda da água em torno de 40%, garantindo a mesma trabalhabilidade da mistura. São mais eficientes que os superplastificantes tradicionais de primeira e segunda geração, porque o seu polímero constituinte, éter carboxílico possui largas cadeias laterais que realizam com maior eficiência a dispersão das partículas de cimento, devido às ramificadas cadeias que aumentam a área superficial.

A maior limitação dos superplastificantes é a alta perda de consistência com o passar do tempo de mistura. Estudos comprovam que a consistência obtida

pela aplicação deste aditivo se mantém por um período de 30 a 60 minutos, com a máxima trabalhabilidade obtida permanecendo por 10 a 15 minutos. Este fato força as obras a adicionarem o superplasticante apenas no canteiro.

Temperaturas acima de 32°C, com o tempo, também influenciam na perda de consistência dos concretos com superplastificantes. Nesses casos, deve-se utilizar água gelada ou lascas de gelo para manter a temperatura normalizada. Outra forma é incorporar um aditivo retardador ou estabilizador de pega, cuja dosagem deve ser antes determinada.

b) Modificadores de Viscosidade

O aditivo modificador de viscosidade (**VMA**) é conhecido também como agente de viscosidade, aditivo anti-washout e agente espessante. Os aditivos **VMA** aplicados em concretos autoadensáveis e em concretos fluidos são produtos à base de polissacarídeo com cadeias poliméricas de alto peso molecular ou de base inorgânica.

Sua adição afeta a massa no estado fresco, quando cadeias de polímeros solúveis em água podem absorver alguma água livre no sistema, reforçando, assim, a viscosidade da pasta de cimento. Conseqüentemente, menos água livre estará sujeita à exsudação. Outro efeito é diminuir aspectos negativos da falta de uniformidade na dosagem de água e da granulometria dos agregados.

2.4.1.5. Adições Minerais

As adições minerais são materiais finamente moídos que são adicionados ao concreto com o objetivo de obter o aumento da coesão da mistura, evitar a segregação do agregado graúdo e aumentar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco. Além de responsável pela resistência à segregação da mistura, as adições minerais desempenham importante papel para a resistência e durabilidade do concreto, tanto física quanto quimicamente.

As vantagens dessas incorporações minerais são de diversas espécies: ambiental, já que o destino de um resíduo industrial passa a ser a produção de outro produto e não mais será lançado no meio ambiente; econômica, pela redução do consumo de cimento na mistura, o que reduz o custo do m³ de concreto; tecnológica, pela evolução e melhora nas propriedades do concreto no estado fresco, que apresentam evolução à fluidez, à quantidade de água e à ausência de exsudação e segregação, assim como no endurecido, em que se puderam observar benefícios com a resistência, permeabilidade e durabilidade, em razão do aumento da quantidade de materiais finos.

Conforme se demonstra na tabela 2.1, as adições minerais podem ser classificadas em função da sua ação físico-química em dois grupos: adições minerais quimicamente ativas e adições minerais sem atividade química.

Adições Minerais	Quimicamente Ativas	Inertes ou Semi-inertes	Fíleres de Agregados,
	Sem Atividade Química	Pozolânicas	Cinza Volante, Sílica Ativa
		Hidráulicas	Escória de Alto Forno

Tabela 2.1: Classificação das adições minerais.

As quimicamente ativas ajudam na formação dos hidratos, como a cinza volante, cinza da casca de arroz, escória de alto-forno, sílica ativa e matacaulim, enquanto que as sem atividade química proporcionam um efeito físico, isto é, uma estrutura com maior compacidade. Como exemplos, citam-se os fíleres de calcário, quartzo e o resíduo de beneficiamento de mármore e granito.

A adição do fíler na mistura de **CAA** se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e à ação como pontos de nucleação para hidratação dos grãos de cimento. Por apresentar maior finura, o fíler deve ser aplicado em substituição ao agregado miúdo, pois gera uma maior compacidade do esqueleto granular e coesão da mistura.

As conseqüências e características do emprego das adições quimicamente ativas no **CAA** são apresentadas na tabela 2.2.

Características	Adição Mineral		
	Cinza Volante	Escória de Alto Forno	Silica Ativa
Tamanho Médio das Partículas	Variável em função da moagem	Variável em função da moagem	0,1 a 0,2 µm
Efeito no CAA fresco quando utilizado como substituição ao cimento	Aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, melhores condições de fluidez e pouca influência no consumo de superplasticante	Aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, não contribui para fluidez e reduz o consumo de superplasticante	Elevado aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, melhores condições de fluidez e aumento do consumo de superplasticante
Efeito no CAA endurecido quando utilizado como substituição ao cimento	Pequena alteração na resistência a compressão e aumento da durabilidade	Pequena alteração na resistência a compressão e aumento da durabilidade	Melhorias na resistência a compressão e durabilidade

Características	Adição Mineral	
	Metacaulim	Cinza Casca de Arroz
Tamanho Médio das Partículas	Variável em função da moagem	Variável em função da moagem
Efeito no CAA fresco quando utilizado como substituição ao cimento	Aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, não contribui para fluidez e aumento do consumo de superplasticante	Elevado aumento da coesão, redução da exsudação e segregação, piores condições de fluidez e aumento do consumo de superplasticante
Efeito no CAA endurecido quando utilizado como substituição ao cimento	Melhorias na resistência a compressão e durabilidade	Melhorias na resistência a compressão e durabilidade

Tabela 2.2: Consequências e características do emprego das adições quimicamente ativas

2.4.1.6. Água

A água é um parâmetro no controle de qualidade das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. Seu principal controle da adição em concretos é expresso pela relação água/cimento.

A proporção de água em concretos pode ser dividida em quatro funções: hidratação do cimento, absorção e adsorção dos agregados e dos materiais finos, preenchimento da porosidade do esqueleto granular e garantia da fluidez do concreto.

Uma característica do **CAA** que sofre grande influência da água é a reologia. Uma elevada relação água/cimento gera uma redução na viscosidade plástica e na resistência ao fluxo, enquanto que uma baixa relação água/cimento e o emprego de superplastificantes geram concretos com alta viscosidade.

2.4.2. Dosagens

Apesar dos métodos de dosagens do **CAA** serem diferentes dos métodos do **CCV**, ambos baseiam-se em observações e experimentos realizados anteriormente.

Sempre haverá dificuldade em desenvolver um modelo de dosagem que possa ser empregado universalmente em qualquer mistura de cimento portland, de materiais cimentícios suplementares, agregados e aditivos, situação esta que se agrava com o **CAA** já que o uso de aditivos é praticamente obrigatório.

Passa-se à análise do método de dosagem de Tutikian, cujo objetivo é exatamente dosar **CAA** com quaisquer materiais disponíveis, seguindo apenas alguns requisitos básicos e procedimentos detalhados.

2.4.2.1. Método de Dosagem de Tutikian

O método de dosagem proposto por Tutikian é baseado no método de dosagem para **CCV** seguindo o procedimento IPT/EPUSP, desenvolvido por Helene e Terzian.

Sinteticamente, o procedimento consiste em manter constante o teor de argamassa obtida pela dosagem de um **CCV** e variar seus componentes até

atingir um autoadensável, com a incorporação de aditivos superplastificantes e finos. Inicia-se a dosagem com a escolha dos materiais básicos para produção de concretos: o cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Posteriormente são adicionados os finos e os aditivos.

Na figura 2.3 ilustra-se o roteiro para execução do método.

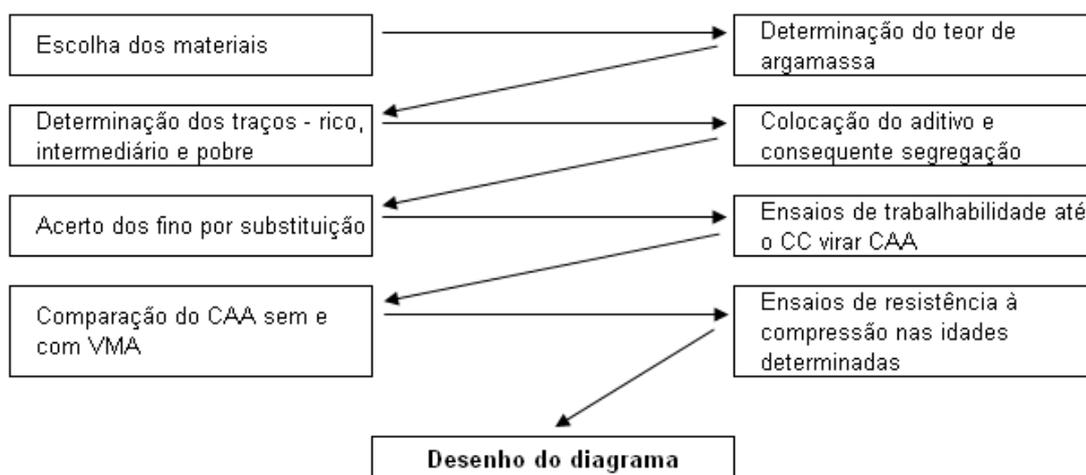


Figura 2.3: Etapas para dosagem do **CAA**.

A escolha dos materiais constituintes do **CAA** é o primeiro passo para sua dosagem. O cimento deverá ser utilizado de acordo com as características de durabilidade e resistência que se deseja obter. Os agregados devem apresentar a menor granulometria possível, e o agregado graúdo deve apresentar a dimensão máxima característica menor entre 20mm e a terça parte do espaçamento entre as armaduras da estrutura sobre a qual o **CAA** deverá ser lançado.

O segundo passo é reservado para determinação experimental do teor de argamassa (α) da mistura, sendo exatamente o mesmo passo a passo para

determinação do teor de argamassa em **CCV**. Até o momento, não é considerada a adição de aditivos e os materiais finos. No cálculo do teor de argamassa deve ser considerada a equação 2.1 e 2.2 quando se utiliza finos pozolânicos. O teor determinado deverá ser mantido constante até o final do método.

$$\mathbf{a} = (1 + \mathbf{a}) / (1 + \mathbf{m}) \quad (2.1)$$

Onde:

$$\mathbf{m} = \mathbf{a} + \mathbf{p} \quad (2.2)$$

a – relação agregado miúdo seco/aglomerantes em massa, em kg/kg;

p – relação agregado graúdo seco/aglomerantes em massa, em kg/kg;

m – relação agregados secos/aglomerantes em massa, em kg/kg;

Não sendo pozolânico o material fino utilizado, o teor de argamassa deverá ser calculado com base nas equações abaixo 2.3 e 2.4, pois um novo agregado é adicionado a mistura.

$$\mathbf{a} = (1 + \mathbf{f} + \mathbf{a}) / (1 + \mathbf{m}) \quad (2.3)$$

Onde:

$$\mathbf{m} = \mathbf{a} + \mathbf{f} + \mathbf{p} \quad (2.4)$$

a – relação agregado miúdo seco/cimentos em massa, em kg/kg;

f – relação finos não pozolânicos/cimentos em massa, em kg/kg;

p – relação agregado graúdo seco/cimento em massa, em kg/kg;

Determinadas as duas primeiras etapas, inicia-se o terceiro passo, que é a produção de três traços, um rico, um intermediário e um pobre, cujo objetivo é desenhar a curva de dosagem para cada família de materiais selecionados, possibilitando a obtenção da mistura de qualquer concreto com esses materiais.

O quarto passo é a transformação do concreto convencional em autoadensável, pela adição do aditivo superplastificante e simultaneamente, o quinto passo, com a adição de materiais finos. O aditivo é incorporado em relação à massa de cimento inicialmente em pequenas quantidades, da ordem de 30%, aumentando-se até a dosagem ideal de aditivo, verificada quando o concreto se apresenta bastante fluido, sem levar em consideração a segregação do agregado graúdo.

A segregação do agregado graúdo é corrigida no quinto passo, com a adição de materiais finos para dar coesão à mistura. O material fino substituirá em massa, parte do agregado miúdo ou do cimento, dependendo do tipo do fino adicionado, se pozolânico ou não pozolânico. Nas localidades onde há materiais finos, a coesão do **CAA** pode ser atingida com a utilização de **VMA**.

Na sexta etapa são executados os ensaios de trabalhabilidade do **CAA**, atendendo às exigências dos mesmos. Caso estas não sejam atendidas, deve-se continuar com os acertos das proporções.

Encontrada a dosagem, são moldados dois corpos de prova com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para realizar ensaio de resistência à compressão. Com os valores da resistência a compressão, relação água/aglomerante, traço “m”, slump flow test e consumo de cimento em m³ é possível traçar o diagrama de dosagem.

Com o método de Tutikian é possível dosar concretos em qualquer condição inicial de escolha dos materiais.

2.5. Reologia do Concreto Autoadensável (CAA)

Reologia é a parte da ciência que estuda as deformações e o fluxo dos materiais quando submetidos a uma determinada tensão ou solicitação. Como forma de identificar a presença ou ausência da característica reológica de um fluido, é necessário consultar um gráfico denominado diagrama curva de fluxo, que descreve a relação entre a tensão cisalhante (τ) e a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) de um fluido.

Do ponto de vista reológico, o **CAA** pode ser comparado a um modelo de Bingham, pois somente após a tensão de cisalhamento exceder a tensão inicial de escoamento τ_0 o **CAA** começa a fluir. Nesse caso, é necessário que tal fluido seja caracterizado por dois parâmetros: a tensão de cisalhamento mínima e a viscosidade plástica (μ_p). O primeiro é uma medida de tensão necessária para o movimento do **CAA**, enquanto a viscosidade plástica caracteriza a coesão da mistura.

O **CAA**, quando comparado ao concreto convencional (**CCV**) apresenta alta fluidez sem segregação devido à baixa tensão de cisalhamento e à alta viscosidade.

Segundo TUTIKIAN, a alta viscosidade é atingida graças à adição do aditivo superplastificante e da água. Entretanto, a água aumenta a fluidez do **CAA** e diminui consideravelmente sua viscosidade, enquanto o aditivo superplastificante aumenta a fluidez com desprezível redução da viscosidade.

A figura 2.4 apresenta o modelo de Bingham que pode ser entendido como o comportamento reológico do **CAA**.

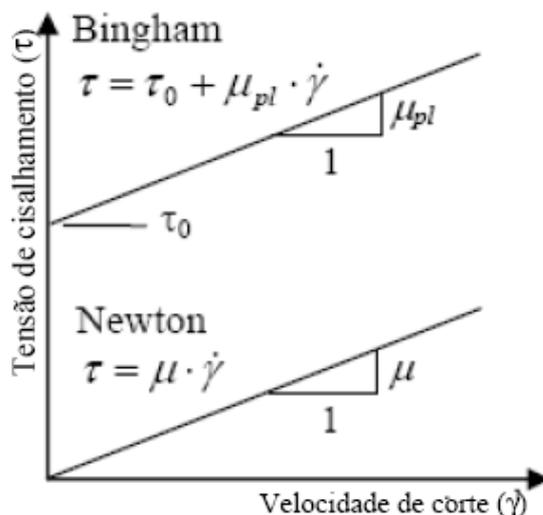


Figura 2.4: Modelos reológicos.

Para verificar se o concreto atende às características e propriedades de um **CAA**, às condições locais de aplicação e às garantias de qualidade e durabilidade da estrutura, devem ser executados ensaios de autoadensabilidade,

2.6. Ensaio para Controle de Autoadensabilidade

TUTIKIAN afirma que os equipamentos e métodos para avaliação da autoadensabilidade e trabalhabilidade do **CAA** foram totalmente desenvolvidos em estudos e pesquisas e acabaram propostos como ensaio. Segundo o autor, como os ensaios não foram normalizados, muitas divergências no meio técnico ocorrem quanto às medidas e especificações dos ensaios.

TUTIKIAN complementa ainda que apesar das poucas diferenças entre as publicações, a maioria do mercado da construção civil utiliza os mesmos ensaios.

No controle de autoadensabilidade, é necessária a medição de três propriedades: fluidez, coesão necessária para a mistura fluir intacta entre obstáculos (habilidade de passagem) e resistência à segregação, propriedades já mencionadas no presente trabalho.

Uma das principais dificuldades da utilização dos ensaios é que nenhum teste é capaz de medir isoladamente as três principais propriedades, já que as mesmas estão extremamente inter-relacionadas.

Passa-se à análise dos ensaios mais estudados pelas obras científicas.

2.6.1. Ensaio de Espalhamento (Slump Flow Test)

O Slump Flow Test é o ensaio mais aplicado em laboratórios e canteiros de obras devido a sua facilidade e agilidade na execução, e também por utilizar um equipamento bastante aplicado em **CCV** para avaliar a trabalhabilidade, o

cone de Abrams. Segundo TUTIKIAN, este ensaio foi originariamente desenvolvido e padronizado no Japão para avaliar o uso de concretos submersos.

O ensaio tem como objetivo verificar se o concreto sob ação do seu próprio peso tem a capacidade de fluir livremente até atingir determinada dimensão em certo tempo e dimensão limite, sem segregar. Aprovando ou não a capacidade de preenchimento, a sua fluidez.



Figura 2.5: **CAA** sem segregação.

Para execução do ensaio de espalhamento, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Uma base quadrada reta, lisa e com dimensões de no mínimo 90 cm.
- ✓ Cone de Abrams com 30 cm de altura, diâmetro interno menor de 10 cm e diâmetro maior de 20cm.
- ✓ Tronco de cone de invertido.

- ✓ Uma colher do tipo concha ou um balde.
- ✓ Um cronômetro.
- ✓ Uma trena ou uma régua de no mínimo 90 cm.

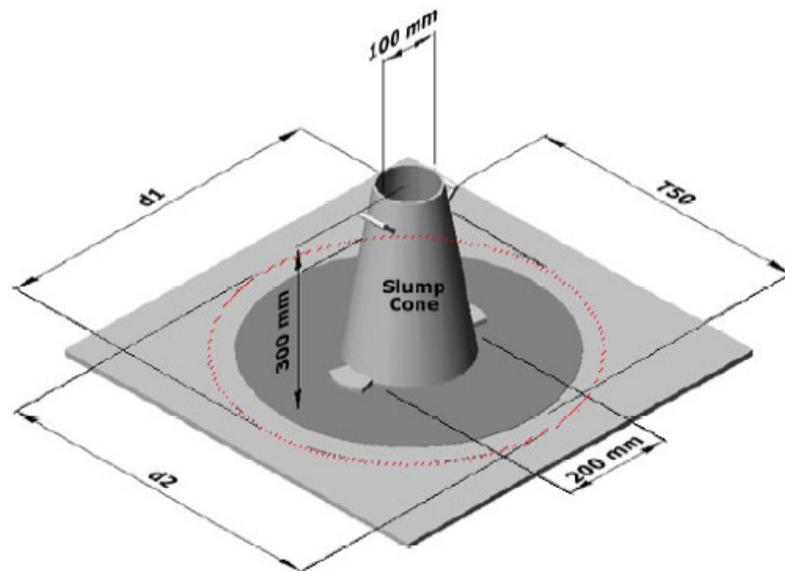


Figura 2.6: Teste de espalhamento.

Inicialmente, posiciona-se a base quadrada em uma superfície nivelada e regular. Sobre o centro da base são feitas duas marcas circulares, uma de 20 cm e outra de 50 cm. As superfícies da base e do cone são umedecidas para que não absorvam água do concreto durante o ensaio. O cone é então colocado na marca circular central de 20 cm de diâmetro e firmemente fixado para evitar qualquer fuga do **CAA**. Uma amostra representativa de aproximadamente 6 litros é colocada sem nenhum tipo de compactação ou adensamento. O excesso de concreto no topo do cone e outros remanescentes devem ser removidos.

Após a remoção do excesso de **CAA**, o cone é então erguido verticalmente, perpendicularmente à placa em movimento, sendo o único de modo a permitir que o concreto flua livremente. O cronômetro deve ser acionado no momento inicial do levantamento do cone. No momento em que o **CAA** atingir a marca circular feita na base de diâmetro de 50 cm, registra-se o tempo, denominado T50.

Ao final do deslocamento do concreto, mede-se o diâmetro de espalhamento em duas direções perpendiculares (d_1+d_2). A média dessas medidas é denominada de valor do slump flow (D_{final}).

Valores de slump flow muito baixos indicam que o concreto está pouco fluido enquanto valores elevados indicam que a mistura está pouco coeso, logo, muito fluido. Medições baixas de T50 indicam que o concreto está muito fluido e medições altas indicam que o concreto está coeso.

Segundo GOMES, valores de slump flow para **CAA** está entre 60 e 80 cm e o T50 entre 2 e 7 segundos. Medições fora ou próximas dos extremos dessas faixas de dados refletem a necessidade de correção na dosagem da mistura.

2.6.2. Ensaio do Anel-J (J-Ring test)

O J-Ring test é um ensaio complementar ao ensaio de espalhamento detalhado anteriormente, pois o slump flow não proporciona uma avaliação direta para medir a propriedade de habilidade de o **CAA** passar dentre as armaduras. Segundo Gomes, Groth e Nemegeer complementaram o ensaio de

espalhamento acrescentando um anel a fim de analisar esta propriedade e o risco do bloqueio do **CAA**. Dessa forma, é possível com o J-Ring test verificar a fluidez, a habilidade de passagem da mistura por obstáculos e visualmente avaliar a segregação da mistura.

Para execução do ensaio do anel, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Equipamentos descritos anteriormente no item Ensaio de Espalhamento (Slump Flow Test).
- ✓ Anel de aço (Anel-J) de 30 cm de diâmetro e 10 cm de altura, barras de aço com espaçamentos maiores que três vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo.

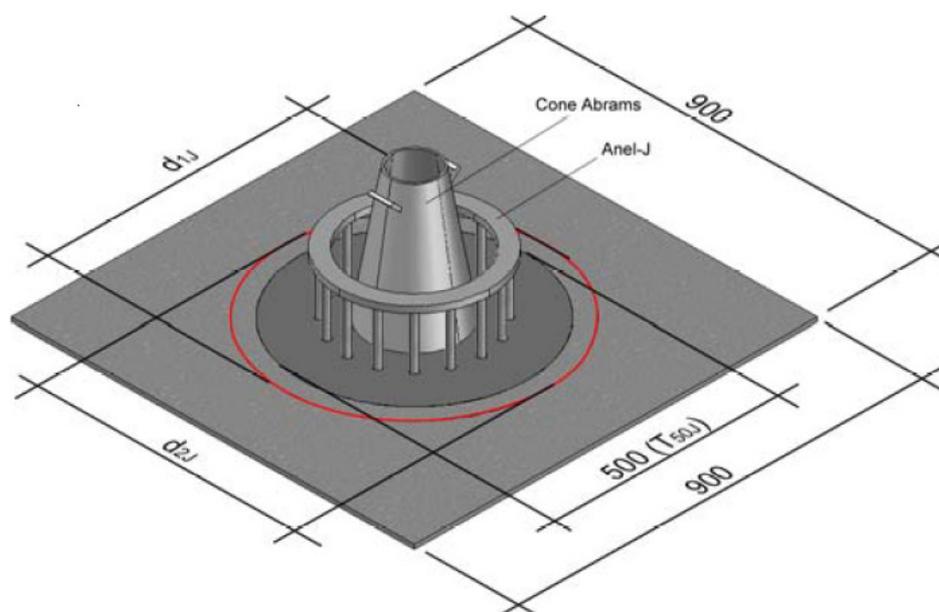


Figura 2.7: Teste do Anel-J em conjunto com o teste de espalhamento.

O procedimento do ensaio é similar ao slump flow test. Aqui, apenas acrescenta-se o Anel-J sobre a base de ensaio e em torno do cone. O ensaio é finalizado ao término do espalhamento. (quando) Ao final uma haste é colocada sobre o Anel-J e medem-se as alturas interna (Δh_0) e externa ($\Delta h_{x1,x2,y1,y2}$) ao anel de barras de aço em quatro pontos diferentes diametralmente opostos e perpendiculares entre si, conforme a figura 2.8. A medição do valor do slump flow e do tempo de fluxo é similar ao descrito no ensaio anterior. O valor de resultado do ensaio do Anel (BSJ) é a diferença entre a média das alturas externas e a altura interna e não pode exceder 10mm.

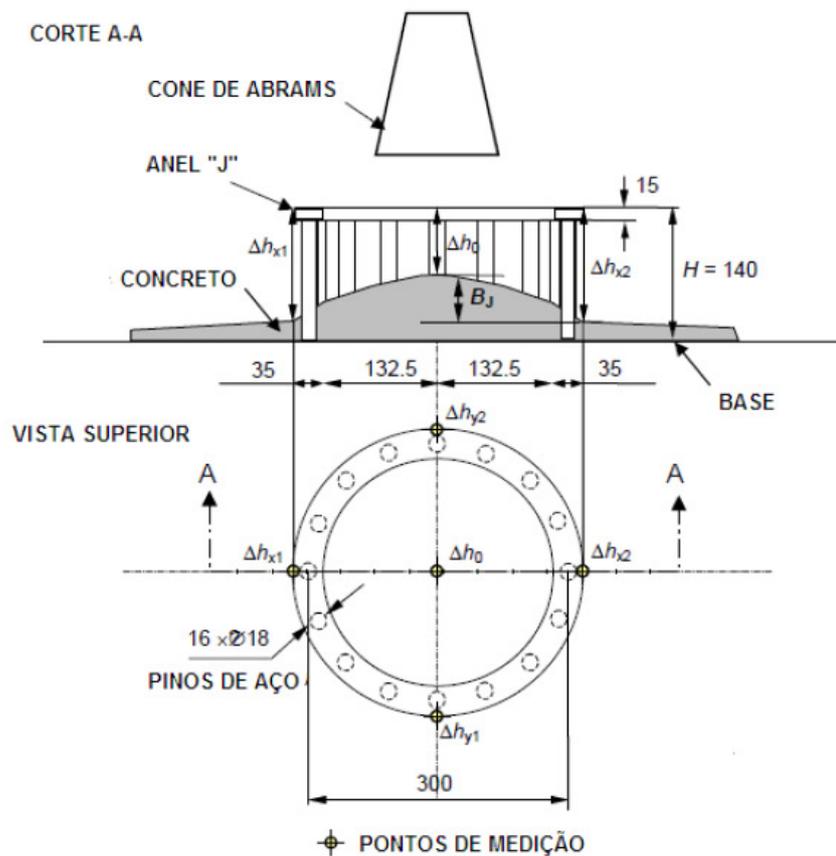


Figura 2.8: Dimensões do Ensaio do Anel-J e medições

2.6.3. Ensaio do Funil-V (V-Funnel test)

O V-Funnel test foi desenvolvido no Japão com o objetivo de avaliar apenas sob ação de seu peso próprio a capacidade de deslocamento do **CAA** através de um estreitamento de seção, medindo a fluidez do concreto. Outra propriedade do **CAA** avaliada é a presença de segregação ao fluir pela saída do funil.

Atualmente, o ensaio do funil é, após o ensaio de espalhamento, o método de controle de qualidade do **CAA** mais utilizado nos canteiros de obras e nos laboratórios para medir a fluidez do concreto.

Para execução do ensaio do funil, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Funil em forma de V com abertura retangular superior de 7,5cm de largura e 51,5 cm de comprimento, altura até o “canal” retangular de saída de 45 cm e canal retangular de saída com 15 cm de altura e largura de 6,5 a 7,5 cm.
- ✓ Colher tipo concha.
- ✓ Cronômetro.
- ✓ Recipiente com capacidade de mais de 10 litros.

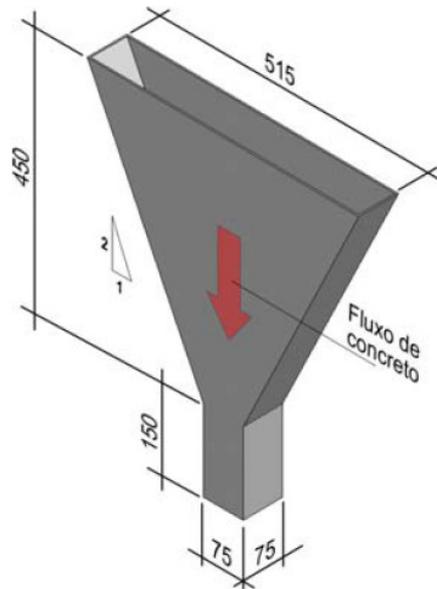


Figura 2.9: Ensaio do Funil-V.

Com o orifício de saída fechado, posiciona-se o Funil-V verticalmente em uma superfície plana e regular, devendo a abertura superior estar nivelada horizontalmente. Abaixo do funil deve-se colocar o recipiente com capacidade de mais de 10 litros para reter o concreto passante. Antes do preenchimento do funil com **CAA**, o seu interior deve se umedecido para que a água do concreto não seja absorvida indevidamente.

Com a colher tipo concha deve-se encher o funil com a amostra em torno de 10 litros do concreto, novamente sem compactação ou vibração mecânica. Remover o excesso de material na abertura superior e aguardar 15 segundos para abrir o orifício de saída do funil. Dispara-se o cronometro no momento de abertura da porta inferior e o tempo de fluxo do ensaio de funil (TV) é o tempo que a amostra de **CAA** leva para esvaziar completamente o funil.

Segundo GOMES o tempo de fluxo do ensaio de funil é da ordem de 6 a 15 segundos.

2.6.4. Ensaio da Caixa-L (L-Box test)

O ensaio do L-Box objetiva avaliar se apenas pela ação do seu peso próprio o **CAA** é capaz de garantir as propriedades de fluidez, a capacidade de passagem por obstáculos e de permanecer coeso, resistindo à segregação.

Para execução do ensaio da caixa-L, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Caixa em forma de “L” com uma porta móvel separando a parte vertical da horizontal e junto com o dispositivo móvel, armaduras espaçadas. O diâmetro das barras de aço e o espaçamento dependem do diâmetro máximo característico do agregado graúdo e das condições locais de aplicação do concreto. Dimensões da caixa-L encontram-se na figura 2.10.
- ✓ Colher tipo concha.
- ✓ Um balde.
- ✓ Dois cronômetros.
- ✓ Trena ou régua de no mínimo 60 cm.

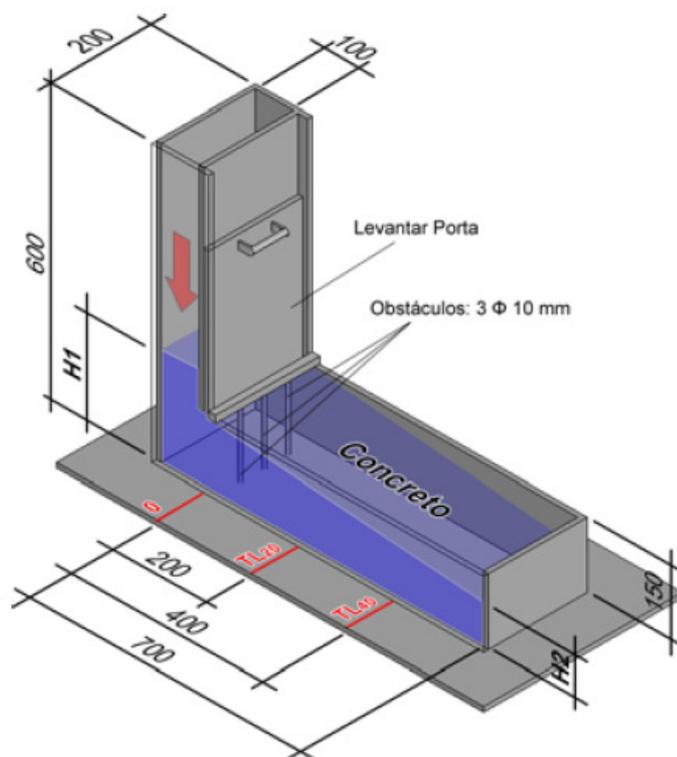


Figura 2.10: Ensaio da Caixa-L.

Deve-se colocar a caixa-L fixa e nivelada horizontalmente. Antes do preenchimento com concreto, o interior da caixa-L deve ser umidificado e a porta móvel testada para ter certeza do seu perfeito funcionamento. Com a porta móvel abaixada, preencher a parte vertical da Caixa-L com uma amostra de cerca de 12 litros de **CAA** e aguardar aproximadamente de 30 segundos a 1 minuto para deixar o material se acomodar e verificar se este apresenta algum sinal de segregação.

Feito isso, deve-se levantar o dispositivo móvel e cronometrar o tempo em que o material atinge a marca de 20 cm e 40 cm, sendo esses dois dados denominados, respectivamente, TL20 e TL40. Ao final do deslocamento do material, é medida a altura inicial (H1) do concreto remanescente do trecho

vertical e a altura final (H2) do trecho horizontal da Caixa-L, conforme figura 2.10.

O valor do ensaio da caixa-L é a relação entre as alturas iniciais (H1) e final (H2) e o resultado deve atender a faixa entre 0,8 e 1,0.

2.6.5. Ensaio da Caixa-U (U-Box test)

Desenvolvido pela Technology Research Centre of the Taisei Corporation in Japan, o ensaio da caixa-U é semelhante ao da caixa-L, pois tem por objetivo medir a fluidez e a capacidade do concreto de passar por obstáculos sem segregar. Assim como no ensaio da caixa-L, as armaduras devem ser projetadas de acordo com as condições locais de aplicação do concreto. Pode-se dizer que o concreto terá característica de autoadensabilidade quanto mais coeso se apresentar após o deslocamento entre os ramos da caixa-U.

Pelo fato do equipamento ser frágil e de difícil produção, o ensaio da caixa-U costuma ser utilizado em laboratórios.

Para a execução do ensaio da caixa-U, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Caixa em forma de “U” com uma porta móvel separando em duas partes, ramo à esquerda e ramo à direita, e junto com o dispositivo móvel, armaduras espaçadas. O diâmetro das barras de aço e o espaçamento dependem das condições locais de aplicação do concreto. Dimensões da caixa-U são ilustradas na figura 2.11.

- ✓ Um balde.
- ✓ Trena ou régua de no mínimo 60 cm.

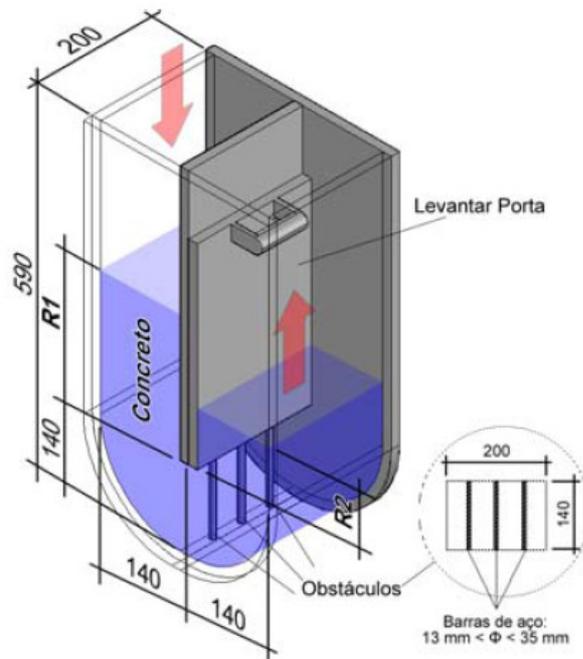


Figura 2.11: Ensaio da Caixa-U.

O procedimento do ensaio da caixa-L assemelha-se ao da caixa-U, que deve ser posicionada numa condição firme e nivelada. Antes do preenchimento do ramo à esquerda com concreto, o interior da caixa é também umidificado, removendo o possível excesso de água no seu interior. A porta móvel deve ser testada para atestar/comprovar seu perfeito funcionamento.

Com o dispositivo móvel abaixado, deve-se preencher o ramo à esquerda da caixa-U com uma amostra de aproximadamente 16 litros de **CAA** sem vibração ou compactação de qualquer natureza e esperar de 30 segundos a 1 minuto para verificar a ocorrência de segregação da mistura.

Após esse período, levanta-se a porta móvel e ao final do escoamento do **CAA** através das armaduras, mede-se a altura da coluna de material do ramo à esquerda (R1) e no ramo à direita (R2). A autoadensabilidade do material será o valor da diferença entre as alturas obtidas, R1 e R2.

Quanto mais fluida a mistura, menor será o valor da autoadensabilidade, sendo o limite máximo de 30 mm de diferença.

2.6.6. Ensaio Orimet (Orimet test)

Segundo Gomes, o ensaio Orimet foi desenvolvido em 1978 por Bastos. Tutikian afirma que esse método de ensaio foi inicialmente desenvolvido para avaliar concretos de alta trabalhabilidade e atualmente também é utilizado para avaliar o **CAA**.

O ensaio tem como objetivo determinar o tempo necessário para que uma amostra de 10 litros de concreto flua totalmente por um tubo vertical cilíndrico com redução de seção na saída. Esse teste avalia a fluidez do material e verifica sua capacidade de passar por barreiras sem segregar caso sejam adicionadas ao ensaio duas barras perpendiculares de 10mm, dispostas em uma seção transversal próxima ao orifício inferior do equipamento. Para que não seja necessário adicionar as duas barras perpendiculares, também é possível a realização do Orimet em conjunto com o J-Ring.

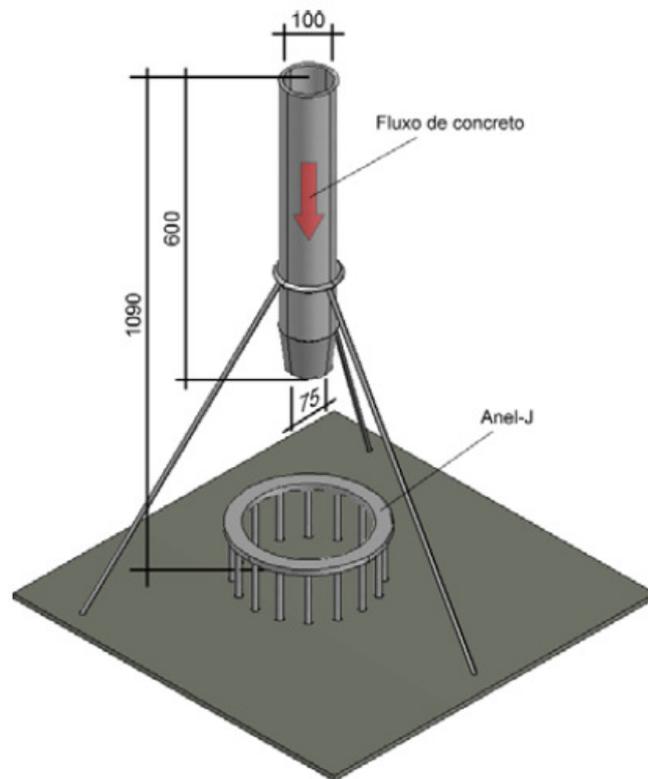


Figura 2.12: Ensaio Orimet em conjunto com Anel-J.

Para execução do ensaio da Orimet, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Um tubo de 600mm de comprimento, com 100mm de diâmetro interno e redução para 75mm na saída.
- ✓ Uma balde.
- ✓ Um cronômetro.

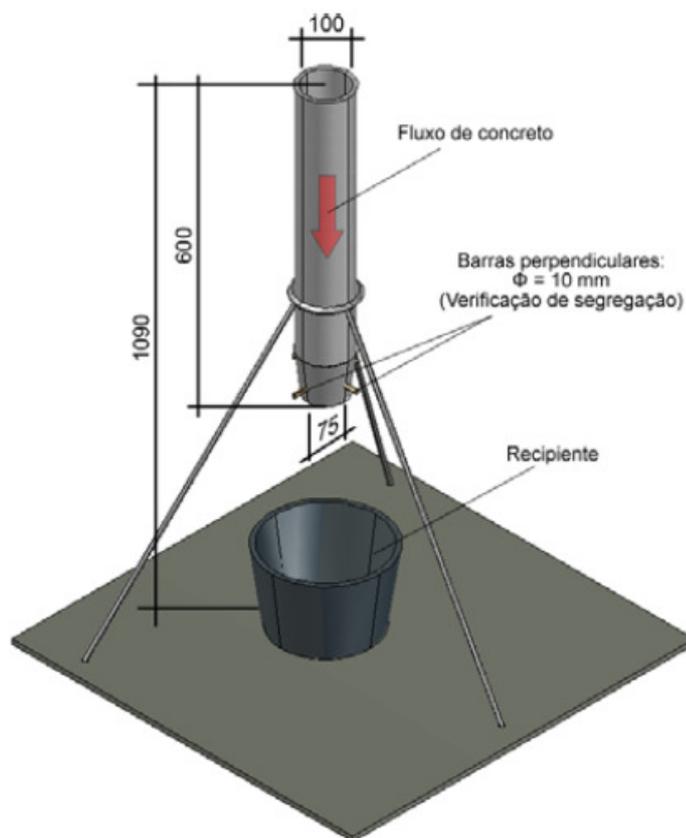


Figura 2.13: Ensaio Orimet.

Para a execução do ensaio, o equipamento deve ser fixado verticalmente em uma superfície firme e nivelada, com a seção de entrada do topo nivelada horizontalmente. As paredes internas do tubo devem ser umedecidas e removidas qualquer excesso de água. Com a passagem inferior fechada pelo dispositivo móvel, coloca-se o recipiente para reter o concreto passante. Sem nenhum tipo de compactação ou adensamento mecânico a amostra de concreto é colocada no tubo. Com uma concha ou régua retira-se o excesso de concreto no topo do Orimet.

Após aguardar aproximadamente 2 a 10 segundos, abre-se o dispositivo móvel de fechamento inferior do tubo, acionando o cronômetro, que deve ser parado

no momento em que a passagem inferior está completamente visível pela abertura superior. Este tempo é denominado tempo de fluxo do ensaio Orimet (T₀). Segundo GOMES, o tempo de fluxo do ensaio Orimet recomendado é inferior a 3 segundos.

2.6.7. Ensaio do Tubo-U (U-pipe test)

O ensaio do Tubo-U foi desenvolvido e proposto por Gomes (2002) com o objetivo de medir quantitativamente a resistência à segregação do **CAA** através do conceito e parâmetro denominado de Relação de Segregação – RS, que deve ser superior a 0,90.

O procedimento serve para mensurar a resistência à segregação do **CAA** em função do rendimento dos agregados graúdos, após o mesmo ter fluído horizontalmente, verticalmente de baixo para cima e verticalmente de cima para baixo, exclusivamente através da ação do seu peso próprio. Diferentemente de outros métodos de verificação da resistência à segregação que exigem muito tempo ou são imprecisos, o ensaio do tubo-U tem a vantagem de utilizar um equipamento que necessita de poucos recursos para sua construção, além do seu fácil manejo e limpeza, tornando o ensaio simples.

Tutikian afirma que apenas concretos fluidos podem ter sua segregação testada e que o tempo de duração do ensaio depende diretamente do início de pega de cada aglomerante.

Para execução do ensaio do tubo-U, são necessários os seguintes equipamentos:

- ✓ Três tubos de PVC com 150mm de diâmetro, dois são instalados na vertical com 420mm de comprimento, um na horizontal com 480mm de comprimento. Todos são serrados longitudinalmente ao meio.
- ✓ Duas curvas 90° de PVC com 150mm de diâmetro, instalados unindo as paredes verticais a horizontal. Todas são serradas longitudinalmente ao meio.
- ✓ Fita adesiva para juntar novamente as partes de cada tubo.
- ✓ Braçadeira metálica com o objetivo de amarrar e impedir a separação das partes devido à pressão do concreto.
- ✓ Duas tábuas com aproximadamente 120cm de comprimento e altura de 30cm, as tábuas são unidas paralelamente e afastadas o necessário para que o tubo-U fique entre as mesmas. As tábuas têm como função garantir que o tubo-U fique fixo verticalmente durante o seu preenchimento.
- ✓ Balde
- ✓ Uma serra cortante para cortar as fitas adesivas.
- ✓ Colher de pedreiro para retirar as amostras de concreto em fase de pega.

- ✓ Peneira com abertura de malha de 5mm.
- ✓ Água corrente para extrair os agregados da fatia do concreto.
- ✓ Balança.

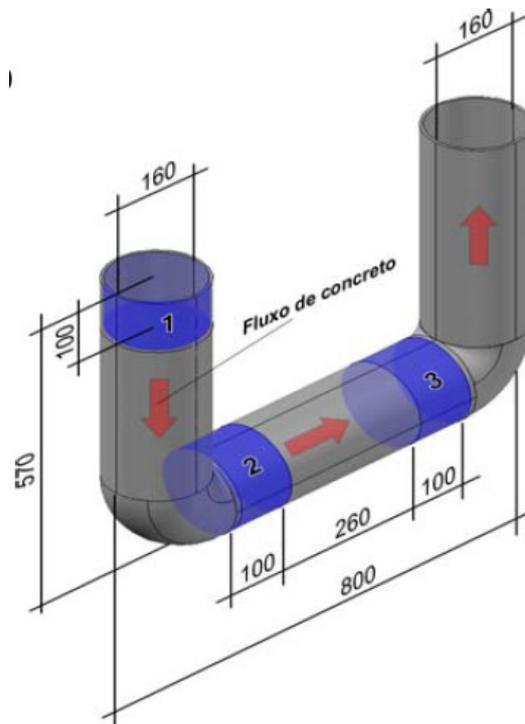


Figura 2.14: Ensaio do Tubo-U.

Com o tubo-U posicionado verticalmente, inicia-se a execução do ensaio adicionando uma amostra representativa de **CAA** no topo do primeiro tubo para escoar verticalmente e depois percorrer horizontalmente o segundo tubo alcançando o terceiro e subindo verticalmente até o topo.

Após aguardar o início do processo de pega, quando o concreto obtiver certa resistência e se encontrar em estado parcialmente endurecido, o tubo-U é colocado horizontalmente. As braçadeiras são retiradas e as fitas adesivas

cortadas, possibilitando a separação das duas partes do tubo. Então se extraem as quatro amostras de 10 cm de espessura que se encontram nas posições: a primeira no topo do trecho onde se iniciou a colocação do concreto no equipamento; a segunda no início do trecho horizontal; a terceira ao final do trecho horizontal e a quarta no topo da extremidade de saída do **CAA**.

Após a retirada das amostras, leva-se as mesmas na peneira 5mm e lavam-se as amostras para que se tenha a separação da argamassa e seja possível obter o agregado graúdo. Os agregados graúdos retidos na peneira 5mm, são secados com papel toalha e pesados. As relações de segregação (RS) são obtidas dividindo a massa da amostra 1 de referencia pelas massas das amostras 2, 3 e 4. A menor relação entre as três equações é a relação de segregação e deve ser superior ou igual a 0,90.

Se a relação de segregação for inferior a 0,90, interpreta-se que a amostra está segregando e deve-se dosar a mistura de maneira adequada, provavelmente com a adição de materiais finos ou aditivo modificador de viscosidade para dar maior coesão a mistura.

2.6.8. Considerações Finais

Feitas essas considerações, conclui-se que o ensaio do Slump Test é o mais indicado para medir a fluidez, o J-Ring Test para avaliar a coesão necessária para a mistura fluir intacta entre obstáculos (habilidade de passagem) e U-Pipe Test para medir a resistência à segregação do material.

Na tabela 2.3, é apresentado um resumo da faixa de valores aceitos pela maioria dos pesquisadores para cada equipamento de medição da trabalhabilidade do **CAA**.

Propriedades	Ensaio	Parâmetros	Faixa
Capacidade de preenchimento	Teste de Espalhamento	D_{final}	60 a 80cm
		T_{50}	2 a 7s
	Funil-V	T_v	6 a 15s
	Orimet	T_o	0 a 5s
Capacidade de passagem	Caixa-L	T_{L20}	< 2s
		T_{L40}	< 4s
		$RB = H2 / H1$	> 0,80
	Anel-J	BS_j	0 a 10 mm
	Caixa-U	R1 - R2	0 a 30 mm
Estabilidade à segregação	Tubo-U	$RS = M1 / M2$	> 0,90

Tabela 2.3: Faixa dos valores dos ensaios de autodensamento.

2.7. Propriedades do Estado Endurecido

As propriedades mecânicas e de durabilidade do **CAA** no estado endurecido são similares ao do **CCV**, pois ambas apresentarão fissuração e alto calor de hidratação se forem dosadas com alto consumo de cimento. Resultarão em um baixo módulo de elasticidade e em uma alta probabilidade de retração plástica se forem dosadas com baixo consumo de agregado graúdo. Essas propriedades são resultado da escolha de materiais, método de dosagem e produção do concreto.

A durabilidade do concreto é mais garantida com o emprego do **CAA**, já que o lançamento e adensamento da mistura apresentam uma qualidade final superior ao emprego de **CCV**, evitando assim grandes índices de vazios provocados por falhas no adensamento da estrutura, responsáveis pela penetração de agentes patológicos.

As resistências do **CAA** e sua evolução ao longo do tempo são similares ao de um **CCV**, já que apresentam materiais e fator a/c semelhantes.

Já em relação ao módulo de elasticidade, o mesmo tende a diminuir com teores de argamassa superiores a 65%, devido à diminuição do emprego de agregado graúdo que são os principais responsáveis por essa propriedade.

3. CONCLUSÃO

O tema abordado pelo presente trabalho acadêmico merece destaque na comunidade da construção civil brasileira em razão do reconhecimento do Concreto Autoadensável como uma importante evolução na tecnologia de concreto.

Finalmente, pode-se afirmar que o **CAA** representa uma solução para a construção civil, já que cada vez mais a indústria busca inovações técnicas que acarretem reduções nos prazos de execução de projetos. O **CAA** se encaixa perfeitamente neste perfil.

Nessa ordem de ideias, necessário se faz reconhecer que o emprego do **CAA** resulta um processo produtivo racionalizado, com menores ciclos de concretagens, ganhos de qualidade e durabilidade estrutural e redução de equipamentos e efetivo de mão de obra.

Apesar de o **CAA** apresentar custo de material superior ao do **CCV**, o custo da concretagem com a utilização do **CAA** é inferior ao de concretagens com o **CCV**. Com isso, reduz-se custos diretos, indiretos e agregados, tais como mão de obra, alojamentos, transporte, alimentação, EPI's, energia, encargos, uniformes, plano de saúde e etc.

O **CAA** representa uma solução constantemente empregada em obras de arte especiais e correntes e túneis, devido às dificuldades logísticas de execução e pelas altas taxas de armaduras dessas estruturas.

Observa-se ainda um consolidado emprego do **CAA** na indústria de pré-moldados, garantindo maior qualidade nas peças produzidas e redução de custos.

Para que o **CAA** se torne uma opção rotineira, basta que as empresas comecem a optar por ele e que concreteiras também o forneçam. É importante salientar que nenhum tipo de investimento inicial é necessário para as concreteiras.

Por fim, não se pode aceitar que o **CAA** seja manuseado por uma mão de obra desqualificada e que seja lançado em formas fora dos padrões de qualidade.

4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEHTA, P. K., Monteiro, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 2 v. 248 p.

GOMES, PAULO CÉSAR CORREIA. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2009. 1 v. 165 p

TUTIKIAN, BERNARDO FONSECA. **Concreto auto-adensável.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2009. 1 v. 140 p

TUTIKIAN, BERNARDO FONSECA. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Tese (Mestrado). Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 1994.

LISBÔA, EDVALDO MONTEIRO. **Obtenção do Concreto Auto-Adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas.** Tese (Mestrado). Maceió: PPGEC/UFA, 2004.

MANUEL, PAULO JORGE MIGUEL. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos auto-adensáveis.** Tese (Mestrado). Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2005.

CAVALCANTI, DIOGO JATOBÁ DE HOLANDA.. **Contribuição ao Estudo de Propriedades do Concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** Tese (Mestrado). Maceió: PPGEC/UFA, 2006.

NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento, Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

REVISTA TÉCHNE, www.revistatechne.com.br