



Influência da adição de metacaulim no comportamento reológico de concretos autoadensáveis

Evilane Cássia de Farias¹, Nathaly Santana Leal de Souza¹, Othon Fernandes Fagundes², Edilberto Vitorino de Borja³, Marcos Alyssandro Soares dos Anjos⁴, Márcio Luiz Varela Nogueira de Moraes⁵,

¹Graduandas do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios – IFRN/Campus Natal – Central. Bolsistas do CNPq e PIBIC-IFRN, respectivamente. e-mail: evilane_cassia@globo.com; na.leal@hotmail.com

²Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios-IFRN/Campus Natal-Central. e-mail: othonf2@hotmail.com.

³Doutor Professor orientador da pesquisa – IFRN/Campus Natal – Central. e-mail: edilberto.borja@ifrn.edu.br,

⁴Pós-Doutor Professor orientador da pesquisa – IFRN/Campus Natal – Central. e-mail: marcos.anjos@ifrn.edu.br

⁵Doutor Professor colaborador da pesquisa – IFRN/Campus Natal – Central. e-mail: marcio.varela@ifrn.edu.br

Resumo: O concreto autoadensável é estudado no Japão desde a década de 80, já aqui no Brasil as pesquisas vêm se intensificando nos últimos anos, mas seu uso ainda é pouco expressivo em obras convencionais tanto pela falta de conhecimento dos construtores, quanto pela ausência de empresas especializadas em sua confecção. Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação do efeito causado pela incorporação do metacaulim no comportamento deste concreto no estado fluído. O estudo foi realizado a partir da comparação entre um traço padrão, sem adição mineral, utilizando apenas cimento como aglomerante, e outros três com proporções diferentes de substituição do cimento por metacaulim reativo. A classificação do comportamento requerida para concreto autoadensável foi confirmada através dos ensaios de slump flow test, slump flow T₅₀₀ test, j-ring test, v-funnel test e v-funnel 5min test. Após análise e comparação dos resultados, verificou-se que a substituição do metacaulim, em certas proporções, melhora o comportamento do concreto no estado fluído, tornando o concreto mais coeso, diminuindo assim o efeito de exsudação e segregação, além de atender as prescrições existentes na NBR 15823/ 2010 (Concreto auto-adensável).

Palavras-chave: adição mineral, concreto autoadensável, metacaulim, substituição do cimento

1. INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) é definido como um concreto fluído que pode ser moldado in loco sem vibração para formar um produto livre de vazios e falhas e que apresente também, capacidade de fluxo através do seu peso próprio preenchendo completamente as fôrmas e atingindo a compactação mesmo em estruturas densamente armadas. O concreto resultante é denso, homogêneo e com as mesmas propriedades de resistência e durabilidade de concretos convencionais compactados (EFNARC, 2005).

Segundo Alencar (2008), o concreto autoadensável pode ser considerado um dos desenvolvimentos mais revolucionários ocorridos na construção civil nas últimas décadas, principalmente no ramo de pré-fabricados.

A microestrutura do CAA, segundo Melo (2005), exige a homogeneidade da mistura, devido ao uso de grandes quantidades de finos, que proporciona um melhor empacotamento das partículas, promovendo a retenção de água e a estruturação de uma zona de transição mais densa entre a pasta de cimento e os agregados, devido ao favorecimento do processo de nucleação durante a hidratação do cimento.

Para aumentar a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo, normalmente são utilizados aditivos modificadores de viscosidade e/ou adições minerais (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

As adições minerais podem ser classificadas como inertes (adições que promovem uma ação física por meio da maior compacidade) ou reativas (adições que contribuem para a formação dos hidratos).

As adições quimicamente ativas (reativas) podem ser tanto material pozolânico ou cimentante. O material pozolânico é definido como material que reage quimicamente com o Ca(OH)₂, produto de hidratação do Cimento Portland à temperatura ambiente, para formar compostos resistentes.



Entretanto, as adições pozolânicas ultra-finas, como sílica ativa, metacaulim e cinza da biomassa da cana-de-açúcar, mostram-se mais efetivas no aumento da coesão do CAA, bem como no aumento da resistência e da durabilidade (BORJA, 2011 e ANJOS, 2010).

O metacaulim que já vem sendo estudado por diversos autores promove um grande aumento na coesão do CAA e redução acentuada da exsudação e segregação apesar de aumentar o consumo de aditivo no estado fresco, no estado endurecido é evidente o aumento da resistência à compressão e durabilidade (BORJA, 2011).

Neste sentido, este estudo objetiva estudar a influência do metacaulim através das propriedades físicas de concretos autoadensáveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o alcance dos objetivos deste trabalho foram desenvolvidas duas etapas de estudos experimentais. A primeira consistiu na seleção dos materiais constituintes das misturas, a segunda, na elaboração do proporcionamento dos materiais para concreto autoadensável, produção do concreto padrão e dos concretos com diferentes porcentagens do metacaulim, finalizou-se o estudo com a análise das propriedades dos concretos no estado fresco.

A metodologia usada para elaboração da dosagem inicial para o concreto autoadensável foi baseada no método EPUSP/IPT, verificando-se sua validade através das propriedades físicas e mecânicas. As dosagens estudadas tiveram variações, em termos percentuais, na quantidade da adição mineral utilizada, metacaulim, presente nas mistura em massa, mantendo-se constante a quantidade de areia, de agredado graúdo, relação água/materiais secos (a/ms).

Para a transformação do concreto convencional em concreto autoadensável utilizou inicialmente um traço sem adições minerais (traço padrão) para concreto convencional de 25 MPa dosado a partir do método citado anteriormente com as seguintes modificações: aumento do teor de argamassa e diminuição do fator a/ms. Após essas adequações, foram feitos os testes em pequenas porções do concreto padrão, adicionando aditivo superplastificante, a fim de que encontrássemos a proporção ideal de aditivo necessária para compor um concreto autoadensável. Para o traço inicial da segunda etapa da pesquisa, foi adicionado aditivo superplastificante na mistura do concreto para verificação de sua adequação como autoadensável.

Dentro dessa linha de pesquisa e após confirmação da quantidade ideal de aditivo necessária, elaboraram-se os quatro traços em estudo (Tabela 01) com especial atenção ao do metacaulim, em substituição parcial ao cimento. Para estas formulações foram realizados os ensaios específicos de concreto autoadensável (funil “V”, *slump-flow test e anel J*) conforme exigências técnicas nacionais (NBR 15823, 2010) e através destes foi possível avaliar a tendência de exsudação, segregação e viscosidade destes concretos.

Tabela 01 – Traços em estudo

Materiais	TRAÇOS			
	CAA-01	CAA-02	CAA-03	CAA-04
Cimento	1,00	0,90	0,85	0,80
Metacaulim	0,00	0,10	0,15	0,20
Areia	1,82	1,82	1,82	1,82
Brita	1,51	1,51	1,51	1,51
Água/ massa do cimento + adição mineral	0,45	0,45	0,45	0,45
Superplastificante (% sobre a massa do cimento + adição mineral)	1,3	1,3	1,3	1,3

Com relação à adição de materiais finos, optou-se pelo metacaulim almejando-se fluidez e coesão da massa cimentícia devido ao metacaulim ter eficiência comprovada como material pozolânico em diversas pesquisas da área (ROSSIGNOLO e OLIVEIRA, 2007; OLIVEIRA, 2007; CARMO e PORTELLA, 2008 e FERREIRA *et al.*, 2003).



Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção Civil (IFRN), localizado em Natal/RN.

Na Tabela 02 ilustram-se de forma detalhada os ensaios específicos adotados para caracterização dos concretos analisados nesta pesquisa.

Tabela 02 – Ensaios realizados nos concretos autoadensáveis

	ENSAIOS	NORMA
FRESCO	Anel J	
	<i>Slump flow test</i>	NBR 15823 (2010)
	<i>Slump flow T_{50cm} test</i>	
	<i>V-funnel test</i>	NBR 15823 (2010)
	<i>Slump flow test (acréscimo tempo)</i>	

2.1 MATERIAIS DE PARTIDA

Os materiais selecionados e utilizados no estudo experimental foram os seguintes:

- Cimento: cimento Portland composto CP-II F 32;
- Metacaulim: pozolana de alta reatividade que substitui com vantagens a sílica ativa, sendo utilizado como adição mineral às aplicações de cimento Portland, otimizando seu desempenho e doada por fabricante da cidade de Recife-PE;
- Agregado miúdo: areia natural quartzosa oriunda do distrito de Pium (Parnamirim/RN);
- Agregado graúdo: Brita granítica 6,3 mm;
- Aditivo: superplastificante à base de éter policarboxílico;
- Água potável: obtida diretamente da concessionária local.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Apesar do uso crescente do CAA no País, não havia norma brasileira específica para disciplinar o assunto. A partir de 2008, o Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT CB-18) vem desenvolvendo atividades de normalização visando estabelecer diretrizes para o CAA, culminando com a aprovação da NBR 15823 em 2010, que em seis textos normativos, estabelecem os requisitos para classificação, controle e aceitação do CAA no estado fresco, prescrevendo ensaios específicos a partir de documentos europeus, norte-americanos e da experiência dos envolvidos nos trabalhos da Comissão de Estudo (ALENCAR et al., 2010).

Os ensaios realizados para caracterização do CAA diferenciam-se do concreto convencional apenas quando no estado fresco, que determinam de forma direta e indireta os parâmetros reológicos fundamentais do concreto. As propriedades que determinam este comportamento do concreto no estado fluido são a fluidez, habilidade passante- segregação, coesão e massa específica, inclusive no que se refere a uma maior possibilidade de redução de volume de vazios. Para verificação de tais propriedades foram executados os seguintes ensaios: Slump flow test, slump flow T50cm test, V-funnel test, v-funnel test 5 min, J-ring e massa específica (ME) no estado fluido.

A ABNT NBR 15823 (2010) classifica o CAA no estado fresco em função dos parâmetros apresentados e, seguindo a linha europeia da EN 206-9.

3.2.1 Slump flow test

O valor de espalhamento, medido através do ensaio *slump-flow* é especificado para todos os concretos autoadensáveis como um ensaio primário, esboçando indicações da fluidez do CAA e de sua habilidade de preenchimento das formas em fluxo livre (ausência de obstruções). A Figura 01 mostra a execução do ensaio citado com o traço CAA-04.



Figura 1 – Ensaio *slump-flow test* do traço CAA-04 com 20% de substituição do cimento por metacaulim.

Diante disso foi realizado o *slump flow test* em todos os traços executados, segundo Tutikian e Dal Molin (2008) o concreto autoadensável ideal deve apresentar uma medida de *slump flow* entre 60 e 75 cm. A maioria dos traços em estudo atendeu a essa especificação, com exceção do traço CAA-04, traço com uma substituição de 20% de metacaulim sobre a massa do cimento. Os resultados deste ensaio se encontram explicitados na figura 02.

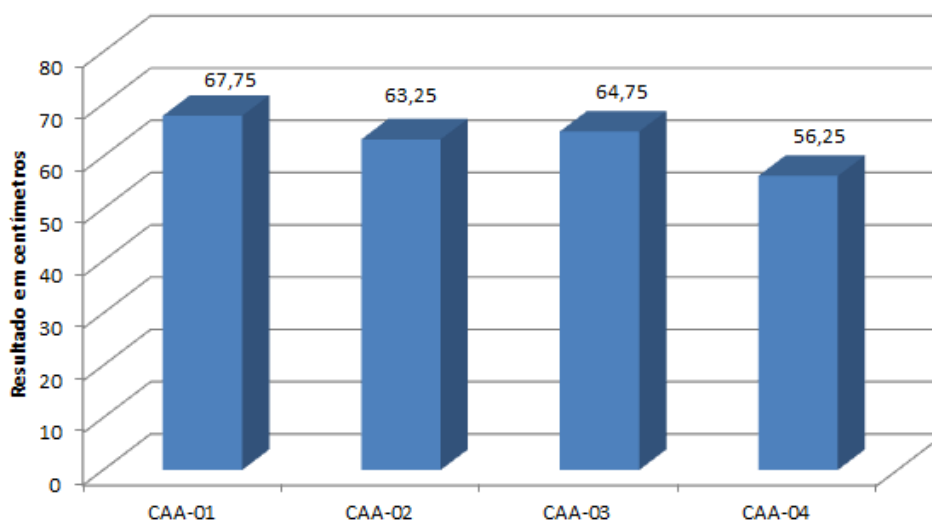


Figura 2- Variação do espalhamento de acordo com o slump flow test.

3.2.2 Slump flow T_{500} test

O slump flow T_{500} test é uma variação do slump flow, já que o procedimento e os equipamentos são os mesmos. As únicas alterações são a marcação de um círculo de 500mm de diâmetro centrado na base. O teste é realizado simultaneamente com o slump flow test, o operador deve acionar o cronometro e marcar o tempo em que o concreto alcança a marca dos 500 mm.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008) se o tempo for baixo indica que o concreto está muito fluido e se o tempo for alto indica que o concreto está muito coeso, ainda segundo os autores supracitados intervalo de tempo ideal está entre três e sete segundos, a figura seguinte ilustra os resultados obtidos nos traços em análise.

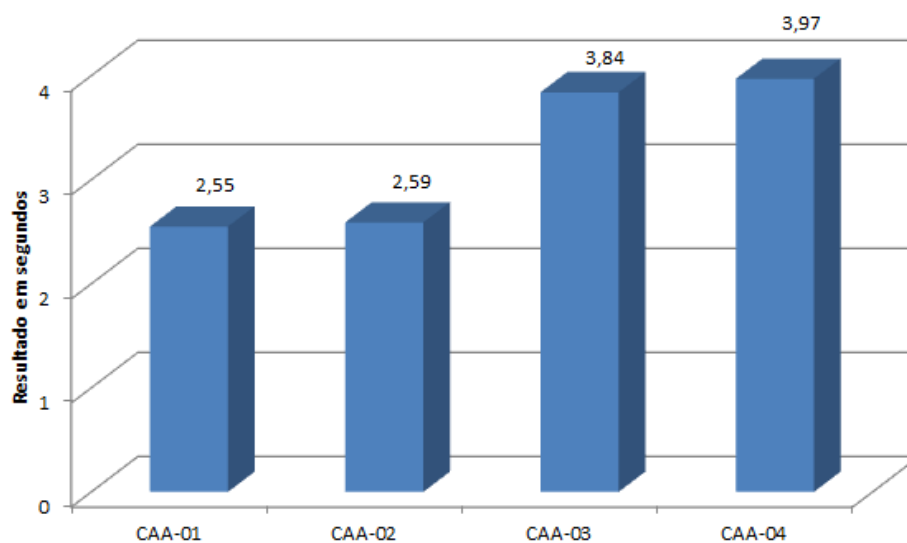


Figura 3- Variação do tempo de espalhamento de acordo com o slump flow T_{500} test.

3.2.3 V-funnel test

Assim como o slump flow test, o ensaio do funil “V” também serve como parâmetro de medida da fluidez do concreto, que envolve uma avaliação qualitativa da viscosidade aparente do concreto, em fluxo confinado, a partir do registro do tempo que o concreto leva para escoar neste equipamento. Esta medida consiste em cronometrar o tempo que o concreto leva para escoar totalmente através de equipamento em forma de V.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008) o valor médio do tempo de escoamento deve estar entre seis e doze segundos. De acordo com a figura adiante os concretos apresentaram um valor próximo do intervalo ideal, considerado por Tutikian e apenas o traço padrão, sem substituição do metacaulim, encontra-se no intervalo ideal.

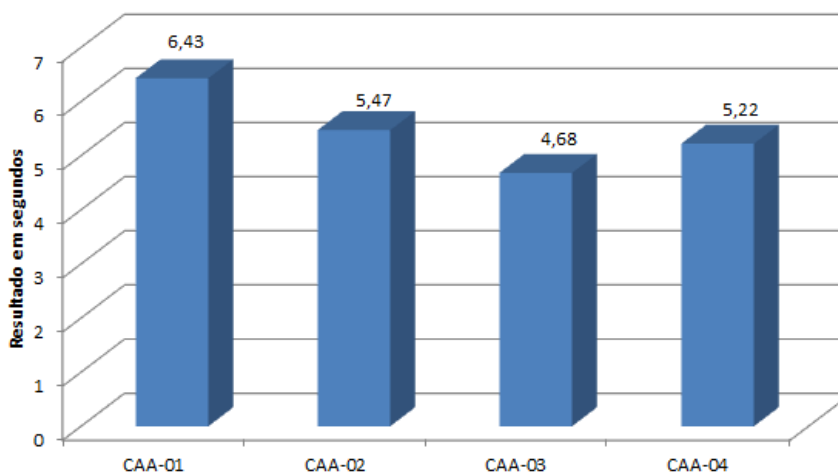


Figura 4- Variação do tempo de escoamento de acordo com o V - Funnel test.

3.2.4 V-funnel 5 min test

O ensaio v-funnel 5 min test é uma variação do ensaio anterior, após a execução do v-funnel test deve-se preencher novamente o funil com concreto e esperar 5 minutos para a repetição do procedimento, este ensaio tem como principal finalidade testar a resistência à segregação já que, se o CAA estiver segregando, o tempo aumentará significativamente.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008) o tempo máximo de acréscimo deve ser de três segundos, nos traços executados todos estão dentro do limite proposto, significando que os concretos não apresentam segregação, percebeu-se também que a substituição do metacaulim diminui essa diferença de tempo, significando uma maior homogeneidade nos concretos que tiveram parte do cimento substituído por metacaulim.

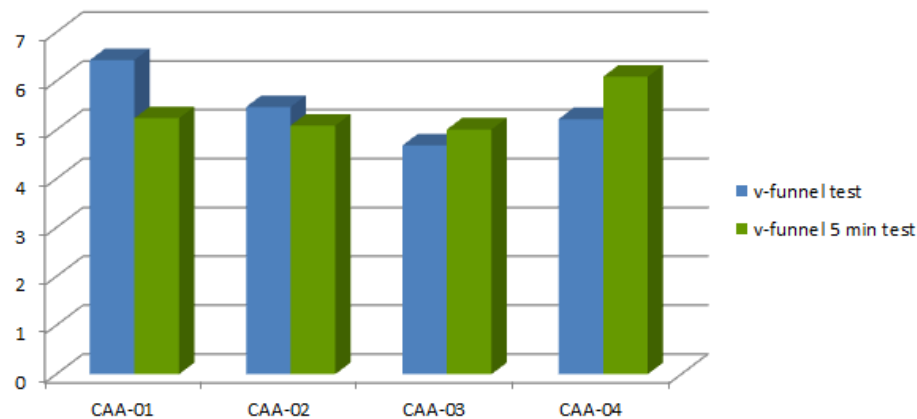


Figura 5- Diferença do tempo de escoamento dos ensaios V-funnel test e V-funnel 5min test.

3.2.5 J-ring test

Normalizado pela ASTM 1621, o ensaio do anel J, previsto na parte 3 da Norma Brasileira e ilustrado na figura 02, É constituído por um anel de barras de aço espaçadas conforme a armadura real que se deseja simular. Mas, normalmente, o diâmetro é de 300 mm, a altura é de 100 mm e o espaçamento entre barras deve ser 3 vezes o diâmetro máximo do agregado graúdo. A medida da habilidade passante é obtida pela média da diferença entre a altura interna e externa ao anel de barras de aço em quatro pontos diferentes. A figura a seguir ilustra o ensaio de anel J executado no traço CAA- 04.



Figura 6- Execução do ensaio Anel J com o traço CAA-04.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008) a diferença entre as alturas devem está entre zero e dez milímetros, a maioria dos traços atenderam os requisitos propostos pelos autores citados, apenas o traço CAA-04 não se apresenta no intervalo ideal. Na figura abaixo encontram-se os resultados obtidos com os traços executados.

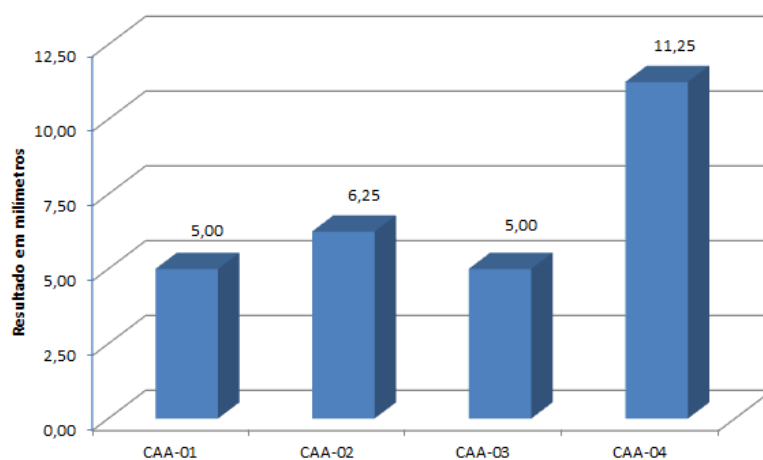


Figura 7- Variação de segregação de acordo com o ensaio Anel J.

6. CONCLUSÕES

Os resultados referentes ao comportamento do concreto no estado fluido indicam que todos os traços atendem aos requisitos prescritos na norma ABNT NBR 15823/ 2010 para o concreto autoadensável.

As substituições parciais do cimento por metacaulim em teores de 10%, 15% e 20% são mais viáveis do que o traço apenas com cimento, traço este que se denominou como traço padrão, pois além de melhor a características do concreto autoadensável, diminui o consumo de cimento. Fatos estes relacionados com a diminuição da exsudação e segregação.

A segregação, considerada um dos grandes problemas da fabricação dos concretos autoadensáveis, diminuiu consideravelmente com a substituição do metacaulim, fato este evidenciado com os resultados obtidos através dos ensaios de Slump flow test, Slump flow T₅₀₀ test e V-funnel 5 min test

Percebeu-se também que, no traço com substituição de 20% de metacaulim, a fluidez diminuiu consideravelmente, em comparação com os outros traços, não significando que o concreto deixou de atender os requisitos, exigidos pela norma supramencionada, de concreto autoadensáveis.

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos a FAPERN- Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Norte pela concessão de apoio financeiro ao projeto através do programa primeiros projetos (PPP). Ao CNPQ e ao IFRN- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte/ Campus Natal-Central pela concessão da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11578 – **Cimento Portland**, Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211 – **Agregados para concreto** – especificações, Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9776 – **Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**, Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15823 – **Requisitos para classificação, controle e aceitação do CAA no estado fresco**. Rio de Janeiro, 2010.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12653 – **Materiais pozolânicos**. Rio de Janeiro, 1992.

ANJOS, M. A. S.; MOREIRA, H. P.; BORJA, E.V.; PEREIRA, A.C.; NETO, C. A. **Efeito adição de cinza de biomassa da cana-de-açúcar como finos no concreto autoadensável**. In: Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Fortaleza, 2010.

BORJA, E. V. **Efeito da adição de argila expandida e adições minerais na formulação de concretos leves estruturais**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

G.C. Isaia. 1.ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. IBRACON. São Paulo, 2008.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável**. 1ºed. São Paulo: PINI, 2008.

VITA, Marcos Onofre, et al. Concreto auto adensável: estudo da influência de diferentes tipos de adições minerais na fluidez e no comportamento reológico, **52º Congresso Brasileiro do Concreto**. Fortaleza - CE, IBRACON, 2010.