

CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM AGREGADOS RECICLADOS DE CONCRETO (ARC)¹

SOUZA, André L. V (1); SCHWANTES, Nicole (2); SOUZA, Isabela C. (3); CAVALHEIRO, Caroline D. (4); PORTO, Maria F. (5); FONSECA, Matheus S. (6); TORALLES, Berenice M. (7)

(1) UEL, e-mail: andre1vicente1@gmail.com; (2) UEL, e-mail: nicoleschwantes@hotmail.com; (3) UEL, e-mail: isabela07@gmail.com; (4) UEL, e-mail: caroldias.cdc95@gmail.com; (5) UEL, e-mail: mfeernanda.porto@gmail.com; (6) UEL, e-mail: matsfonseca@gmail.com; (7) UEL, e-mail: toralles@uel.br

RESUMO

A indústria da construção civil se caracteriza como uma atividade ecologicamente impactante, pois apresenta grandes fontes geradoras de resíduos, os quais muitas vezes não possuem uma destinação adequada. Dentre estes resíduos destacam-se restos de concreto e argamassa, os quais podem ser reutilizados se passarem por um processo de reciclagem. Este trabalho teve com o objetivo estudar a utilização de agregados reciclados de concreto (ARC) na produção de concreto autoadensável. Para tanto, os materiais utilizados na dosagem foram: cimento Portland, cinza da casca de arroz, areia natural, ARC, aditivo superplastificante a base de policarboxilato e água. Os materiais foram caracterizados e a areia e o ARC foram combinados até a obtenção da maior massa específica. Na sequência, foram feitas dosagens até a obtenção de um concreto autoadensável, verificando a autoadensabilidade de acordo com a NBR 15823/2010. A dosagem ideal encontrada de 1:1,52:1,73 (cimento:areia:agregado reciclado de concreto) com relação a/c de 0,33 e adição de superplastificante de 0,5% da massa de cimento. Com a realização do trabalho experimental, pode-se concluir que é possível utilizar agregados reciclados de concreto para a obtenção de concretos autoadensáveis, se as características destes agregados forem consideradas.

Palavras-chave: Resíduos da construção civil. Agregado reciclado de concreto. Concreto autoadensável.

ABSTRACT

The construction industry is characterized as an ecologically impacting activity, as it has large sources of waste, which often lack an appropriate destination. Among these residues, stand out residual concrete and mortar, which can be reused to pass through a recycling process. The aim of this research was study the use of recycled concrete aggregates (RCA) in the production of self-compacting concrete. Therefore, the materials used in dosage were: Portland cement, rice husk ash, natural sand, RCA, superplasticizer the base of polycarboxylate and water. The materials were characterized and sand and ARC were combined to obtain higher specific mass. Further, dosages were made up to obtaining a self-compacting concrete, self checking adensabilidade according to NBR 15823/2010. The

¹SOUZA, André L. V; SCHWANTES, Nicole; SOUZA, Isabela C.; CAVALHEIRO, Caroline D.; PORTO, Maria F.; FONSECA, Matheus S.; TORALLES, Berenice M. Concreto autoadensável com agregados reciclados de concreto (arc). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

optimal dosage found of 1:1.52: 1.73 (cement: sand: recycled concrete aggregate) with w/c ratio of 0.33 and adding superplasticizer 0.5% of the cement mass. With the completion of experimental work, it can be concluded that it is possible to use recycled concrete aggregate to obtain autoadensáveis concrete, the characteristics of these aggregates are considered.

Keywords: Construction waste. Recycled concrete aggregate. Self-compacting concrete.

1 INTRODUÇÃO

O paradigma do desenvolvimento econômico empregado atualmente, pela sociedade, converge para políticas de extração de recursos naturais sem a inclusão equânime de benefícios sociais, econômicos e ambientais para o ser humano, tornando-se necessária a adoção de um modelo de desenvolvimento que possa suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer as necessidades das futuras gerações (CABRAL, 2007).

A construção civil tem um papel relevante em termos econômicos e sociais para o país, pois é um dos setores mais significativos no desenvolvimento econômico brasileiro. Porém, é considerada uma atividade geradora de impactos ambientais, apresentando como principal problemática a imensa geração de resíduos sólidos de construção civil (RCCs) (ABRECON, 2015).

Os RCCs podem representar cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos. Alguns estudos apontam que o total de geração de resíduos varia de 163 a mais de 300 quilos por habitante/ano. Além disso, a destinação inadequada desses resíduos pode acarretar problemas na qualidade estética, ambiental e de saúde pública, além de sobrecarregar os sistemas de limpeza pública municipal (MESQUITA, 2012).

Neste contexto, a utilização de agregados reciclados pode ser uma alternativa sustentável para a preservação dos recursos naturais, além de contribuir com a diminuição da quantidade de resíduos de construção civil (RCC) descartados pelas obras, proporcionando uma destinação ambientalmente adequada para estes. Estudos realizados mostram que é possível produzir concretos de alto desempenho utilizando agregados reciclados, sem que ocorra diminuição da qualidade do produto final (CABRAL, 2007). O concreto autoadensável produzido com agregados reciclados é um exemplo da evolução do setor.

O concreto autoadensável (CAA) tem uma estrutura semelhante com a do concreto convencional, ambos são constituídos por cimento Portland, agregados miúdos, graúdos e água. Porém, para que o CAA tenha a capacidade de se auto-adensar nas fôrmas, utiliza-se aditivos redutores de água de elevada efetividade e modificadores de viscosidade. Além disso, existe a limitação da quantidade de agregados graúdos, de forma que sua dimensão seja sempre menor do que os obstáculos a serem vencidos pelo concreto no ato da concretagem (TUTIKIAN, 2004).

O CAA apresenta algumas vantagens quando comparado com o concreto convencional, entre elas, a eliminação da etapa de adensamento e de acabamento do concreto, além de um melhor desempenho devido ao

melhor empacotamento do esqueleto granular e, consequentemente, uma menor porosidade (EFNARC, 2005).

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da utilização de agregados reciclados de concreto (ARC) na produção de concreto autoadensável com desempenho satisfatório no estado fresco e endurecido.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item, serão vistos os materiais utilizados na confecção do concreto autoadensável e os métodos utilizados para caracterização do mesmo.

2.1 Materiais

O cimento utilizado na dosagem foi o CPIIZ-32 e a adição mineral foi a cinza da casca de arroz, conhecida comercialmente como Silcca Nobre SCI, com 95% de sílica no estado amorfo e massa específica de 2,16 g/cm³. Como agregado miúdo foi utilizado areia quartzosa e como graúdo o agregado reciclado de concreto (ARC), o qual foi triturado a partir de britador de mandíbula e separado por granulometria. Sendo utilizadas na dosagem as granulometrias de pedrisco(b_0) e a brita (b_1).

Para melhorar a trabalhabilidade e reduzir a relação a/c do CAA, foi utilizado o aditivo superplasticante TecFlow8000, à base de policarboxilato, em proporção de 0,5% da massa de cimento. Por fim, a água utilizada para os ensaios foi potável, proveniente da rede de distribuição da SANEPAR.

2.2 Métodos

Para atingir o objetivo proposto, primeiramente foi realizada a caracterização dos materiais conforme o Quadro 1.

Quadro 1- Ensaios para análise dos agregados de ARC

Ensaio	Normas	
	Agregado miúdo - areia	Agregado graúdo - ARC
Análise granulométrica	NBR NM 248/2003	NBR NM 248/2003
Absorção de água	NBR 52/2009	NBR NM 53/2009
Massa específica	NBR 52/2009	NBR NM 53/2009
Massa unitária	NBR NM 45/2006	NBR NM 45/2006

Fonte: Os autores

Na sequência, realizou-se um estudo dos agregados miúdos e graúdos, para a obtenção da composição granulométrica que apresentava a maior compacidade e consequentemente menor índice de vazios.

Posteriormente, foram realizados os ensaios para a verificação da autoadensabilidade, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Ensaios para verificação da autoadensabilidade do concreto

Ensaios	Norma
SlumpFlow	NBR 15823/2 – 2010
Anel Japonês	NBR 15823/3 – 2010
Caixa L	NBR 15823/4 – 2010
Funil V	NBR 15823/5 – 2010

Fonte: Os autores

Após a verificação da autoadensabilidade foram realizados ensaios de massa específica segundo a NBR 9778/2009 e resistência à compressão segundo a NBR 5739/2007, nas idades de 7 e 28 dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção estão apresentados os resultados da caracterização dos agregados miúdos e graúdos, assim como os resultados dos ensaios do concreto no estado fresco e endurecido.

3.1 Características dos agregados

Os resultados da caracterização dos agregados miúdos e graúdos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do agregados

Agregado ensaiado	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)	Módulo de finura	Absorção de água (%)	Dimensão Máxima (mm)	Classificação
Agregado miúdo	2,61	1,77	2,3	0,57	2,4	Areia fina
Agregado Graúdo - ARC	2,07	-	5,7	-	9,5	Pedrisco (B ₀)
Agregado Graúdo - ARC	2,07	-	7,1	2,48	19	Brita 1

Fonte: Os autores

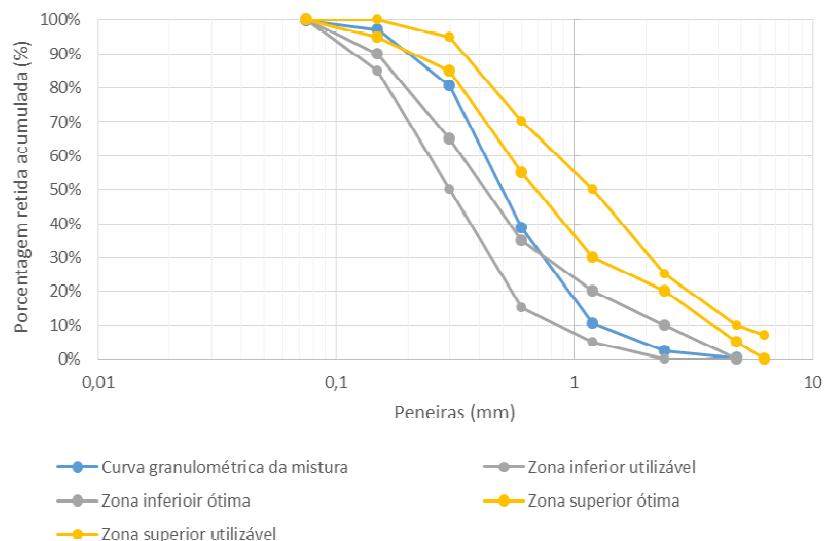
Cabe salientar que o agregado miúdo apresentado na Tabela 1 é oriundo da composição granulométrica de 80% de areia fina e 20% de areia média, essa mistura foi caracterizada como uma areia fina, resultando em uma massa unitária compactada de 1,77 g/cm³ e uma porcentagem de vazios de 32,4.

Como pode se observar o agregado de ARC apresenta uma massa específica inferior a de um agregado convencional de basalto e uma absorção de água de 2,48%, que pode ser considerada como um valor

elevado. Portanto, no momento da dosagem estes fatores devem ser considerados na demanda de água efetiva.

Na Figura 1, está apresentado a curva granulométrica da combinação de agregados miúdos que resultou em uma composição com maior compacidade e com menor índice de vazios.

Figura 1– Curva granulométrica da combinação dos agregados miúdos



Fonte: Os autores

Para o agregado graúdo (B_1 e pedrisco) foram realizadas misturas para a obtenção da maior massa unitária. Conforme a Tabela 2.

Tabela 2– Massa unitária compactada para a mistura de agregados graúdos

Mistura % (Brita/Ped.)	Massa Unitária Compactada (g/cm ³)
70/30	1,76
60/40	1,41
50/50	1,44

Fonte: Os autores

Sendo assim, a mistura que apresenta a maior massa unitária compactada, ou seja, o menor volume de vazios, é a de 70% de brita 1 e 30% de pedrisco.

3.2 Escolha do esqueleto granular

A partir da seleção da composição dos agregados miúdos e graúdos foi realizada a escolha do esqueleto granular final. Os resultados estão representados na

Tabela 3.

Tabela 3– Massa unitária compactada para a mistura de agregados graúdos e miúdos

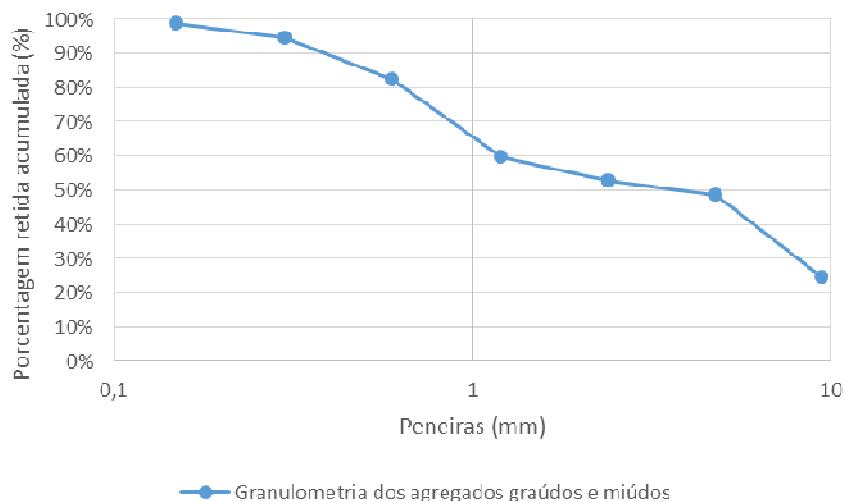
Massa % (graúdo/miúdo)	Massa unitária compactada (g/cm ³)
60/40	2,23
55/45	2,25
50/50	2,25

Fonte: Os autores

Não havendo diferença considerável entre as três misturas, utilizou-se a mistura de 50% de agregado miúdo, sendo que 80% desta parcela é de areia média e 20% de areia fina, e 50% de agregado graúdo, sendo 70% desta parcela de brita 1 e 30% de pedrisco.

Na Figura 2, está apresentada a curva granulométrica da mistura de agregado miúdo e graúdo.

Figura 2– Granulometria da composição de agregados graúdos e miúdos



Fonte: Os autores

A partir da Figura 2 é possível observar que a granulometria é contínua o que torna o esqueleto granular mais compacto.

3.3 Estudo da dosagem

Para se obter a dosagem inicial foi utilizado o método de dosagem para concretos de alto desempenho desenvolvido por Toralles-Carbonari (1996), que leva em consideração o índice de vazios dos agregados para determinar a quantidade de pasta e a massa específica dos agregados e

da pasta de cimento parra determinar o consumo de cada material.

Na Tabela 4, encontram-se os consumos dos materiais da dosagem em estudo.

Tabela 4– Dosagem final

Dosagem para 1 m ³		
Materiais	Quantidades	Unidades
Cimento CPIIZ-32	494,4	Kg
Cinza da casca de arroz	39,6	Kg
Areia fina	163,1	Kg
Areia média	652,2	Kg
Pedrisco	225,8	Kg
Brita	526,9	Kg
Água	163,2	L
Aditivo	2,2	L
Água absorção	23,3	L
Traço: 1:1,52:1,73		
a/c	0,33	

Fonte: Os autores

Na Figura 3, pode-se visualizar o concreto produzido com a dosagem apresentada na Tabela 4.

Figura 3– Dosagem final



Fonte: Os autores

3.4 Avaliação da autoadensabilidade

Os resultados das avaliações das características de autoadensabilidade do concreto produzido, de acordo com a NBR 15823/2010, estão resumidos no Quadro 3.

Quadro 3 - Resumo dos resultados obtidos com os ensaios de adensabilidade

Ensaios Realizados	Classificação	Observações
Slump Flow Test	SF2 e VS2	O concreto alcançou a marca de 20 cm e 50 cm em 1 e 4 segundos, respectivamente. A NBR 16823-2/2010 determina que concretos SF2 são adequados para a maioria das aplicações correntes e concretos VS2 possuem efeito tixotrópico, menor pressão nas formas, e melhor resistência de segregação, além de obter efeito negativo no aprisionamento de ar e preenchimento de cantos.
Anel Japônes	Não atendeu a condição estabelecida por norma	As diferenças entre as alturas de dentro e de fora do anel foram de 10 mm enquanto que a média aritmética das distâncias perpendicular de espalhamento do concreto foi de 69 mm. Os resultados negativos foram causados possivelmente por causa da dimensão dos agregados graúdos, já que esses ficaram, em sua maioria, no centro do círculo.
Caixa L	No limite	Já a Caixa em L, apesar de ter obtido um resultado satisfatório em relação aos requisitos da norma, teve um escoamento insatisfatório, já que as barras de aço que promovem um obstáculo ao escoamento impediram a passagem dos agregados graúdos.
Funil V	VF1	O tempo necessário para o concreto fluir por completo foi de 7 segundos, podendo ser aplicado em Estruturas com alta densidade de armadura e embutidos, mas com exigência de controle de exsudação e segregação.

Fonte: Os autores

A Figura 4 apresenta as imagens de cada um dos ensaios durante a realização destes.

Figura 4– Ensaios de adensabilidade



Fonte: Os autores

3.5 Parâmetros que influenciam na autoadensabilidade do concreto de ARC.

Após a realização dos ensaios de adensabilidade foi observado que os parâmetros de massa específica, absorção de água, granulometria e forma dos agregados influenciaram nas características de fluidez do concreto.

A massa específica é um parâmetro utilizado na escolha do agregado por estar relacionado com a mineralogia do material. Com isso, observou-se que uma massa específica baixa do agregado prejudicaria a fluidez do concreto. Devido a este fator foi escolhido o ARC para o trabalho e não o agregado de resíduo misto (ARM).

Para minimizar os efeitos da absorção nas características de fluidez, foi acrescentada a água de absorção à mistura, para que os agregados não absorvessem a água da pasta de cimento e prejudicassem a fluidez.

Observou-se que a granulometria do agregado graúdo foi contínua, contribuindo para a fluidez do concreto. Além disso, os agregados com dimensões maiores prejudicaram o desempenho no estado fresco e tiveram que ser limitados na sua dimensão máxima.

A forma lamelar do agregado foi prejudicial à fluidez, já que esta característica impede que os agregados se movimentem com certa facilidade.

3.6 Verificações das propriedades no estado endurecido

Os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5– Resistência à compressão aos 7 e 28 dias

Corpos de prova	7 dias	28 dias
-----------------	--------	---------

1	50,8	74,8
2	49,1	72,6
3	48,4	68,8
4	47,6	-
Média	48,7	72,1
Desvio Padrão	1,36	3,01
Coeficiente de variação	2,78%	4,18%

Fonte: Os autores

Aos 7 dias, a resistência à compressão dos corpos de prova foram bastante satisfatórias, já que atingiram uma resistência média elevada com valor de 48,74 MPa.

Aos 28 dias, obtiveram-se altas resistências, podendo o concreto ser considerado de alto desempenho segundo a NBR 6118/2014.

Como os coeficientes de variação obtiverem valores menores do que 5% nota-se que os corpos de prova tiveram pequena variabilidade.

Um dos corpos de prova foi rompido à tração diametral para que se pudesse verificar a distribuição dos agregados no interior. Notou-se que a disposição foi bastante homogênea, como pode ser observado na Figura 5, comprovando que não ocorreu segregação.

Notou-se também que a ruptura do corpo de prova ocorreu na zona de transição entre a pasta e o agregado obtida antes da reciclagem do material, sendo este um fator determinante na resistência a compressão.

Figura 5– Corpos de prova



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível verificar que a substituição dos agregados graúdos de basalto na produção de um CAA por agregados graúdos

reciclados de concreto (ARC) pode ser eficiente, se a dosagem for feita corretamente e as características dos ARC's consideradas.

Pode-se perceber que a produção do CAA é bastante complexa e, por isso, é necessário um total conhecimento dos materiais e os efeitos que as características de cada um podem causar no produto final.

Em relação aos ensaios de autoadensabilidade, o concreto produzido neste trabalho atendeu as especificações da norma com algumas ressalvas. No ensaio do anel japonês ocorreu uma diferença insignificante, podendo assim o concreto ser considerado aprovado neste teste. No ensaio da caixa em "L", o CAA atendeu as exigências da norma em relação as diferenças de altura final e inicial, porém notou-se que as barras de aço impediram que os agregados de maiores dimensões pudessem fluir livremente. Já nos testes do Funil "V" e do Slump Flow o CAA foi aprovado sem ressalvas.

O fato de o concreto produzido ter apresentado pequenas falhas nos ensaios se deve a escolha do esqueleto granular. Os agregados graúdos se apresentaram irregulares, com formato tendendo à lamelar o que prejudica a fluidez deste tipo de concreto. Muito provavelmente o concreto apresentaria resultados de autoadensabilidade melhores se fosse usada uma peneira intermediária de 12,5 mm para excluir os agregados mais graúdos.

Quanto à resistência à compressão, os resultados foram bastante satisfatórios, já que apresentaram uma resistência elevada. A resistência à compressão de 48,75 MPa aos 7 dias, e de 72,06 MPa aos 28 dias, mostra que este é um concreto que poderia ser usado para fins estruturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT **NBR NM 27**: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Maio de 2011.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, Março de 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Novembro de 2009.

_____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Fevereiro de 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Julho de 2003.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpo-de-prova cilíndricos. Maio de 2007.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Abril de 2009.

- _____. **NBR 9778**: Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Julho de 2005.
- _____. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Janeiro de 2008.
- _____. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Novembro de 2004.
- _____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Maio de 2004.
- _____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Agosto de 2011.
- _____. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Setembro de 2004.
- _____. **NBR 15823**: Concreto auto-adensável, Partes 2 a 5. Abril de 2010.

ABRECON. **Associação brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil e demolição**. Disponível em: <www.abrecon.org.br/index.php/o-que-e-entulho>. Acesso em: 22 de mar. de 2016, 14:15:30.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concreto produzido com agregado reciclado, considerando-se a variabilidade de composição do RCD**. 2007. 280 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo 2007.

CARRIJO, P.M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo 2005.

EFNARC – EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICAL AND CONCRETE SYSTEMS. The Europeans Guidelens for Self-Compacting Concrete – Specification, production and use. Londres 2005.

MESQUITA, Atila. **Análise da Geração de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Teresina, Piauí**. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/835/530>>. Acesso em: 22 de mar. 2016, 16:20:30.

TORALLES-CARBONARI, Berenice Martins. **Estudio Paramétrico de Variables y Componentes Relativos a la Dosificación y Producción de Hormigón de Altas Prestaciones**. 1996. 179 f. Tese (Doutorado em Enginyeria de Camins Canals i Ports) – Universidade Politécnica da Catalunha. Catalunha, 1996.

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.