



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76  
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

## **XXIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA - 2019**

### **ESTUDO DA COMPACIDADE DE MISTURAS DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM RESÍDUO DE SERRAGEM DE PEDRA CARIRI**

**Sasha Kaline Santana Botelho<sup>1</sup>; Mônica Batista Leite<sup>2</sup>; Koji de Jesus Nagahama<sup>3</sup>;  
Uiliana Marcia da Silva Mercês Farias<sup>3</sup>**

1. Bolsista PIBIC/CNPq, Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:  
sashaksbotelho@gmail.com

2. Orientadora, Departamento de Tecnologia - DTEC, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:  
mleite.uefs@gmail.com

3. Pesquisador(a), Departamento de Tecnologia - DTEC, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail:  
kjnagahama@gmail.com; uilianamerces@yahoo.com.br

**PALAVRAS-CHAVE:** Concreto Autoadensável; Resíduo de Serragem de Pedra Cariri; Modelo do Empacotamento Compressível (MEC).

### **INTRODUÇÃO**

O concreto autoadensável (CAA) é um tipo de concreto especial que possui a capacidade de autoadensar e passar por obstáculos (armaduras e eletrodutos) sem ocorrer bloqueio ou segregação (OKAMURA; OUCHI, 2003). Além disso, o CAA apresenta benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais (MELO, 2005). Para Gomes (2002), o desenvolvimento do CAA deve utilizar altas taxas de finos na forma de adições minerais, e assim, viabilizar o uso de novos materiais inertes. Como exemplo, há os resíduos da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais que podem ampliar a disponibilidade de materiais para a produção de CAA e contribuir para o desenvolvimento sustentável do concreto.

O Brasil é um grande exportador de rochas ornamentais, tendo exportado em 2019 cerca de 1,96 milhões de toneladas desse material (ABIROCHAS, 2019). Dentre essas rochas destaca-se um calcário laminado conhecido como “Pedra Cariri”, explorado no estado do Ceará, que é um tipo de rocha sedimentar composta basicamente de carbonato de cálcio (CORREIA *et al.*, 2005). De acordo com os estudos realizados, o resíduo de serragem de Pedra Cariri (RSPC) tem potencial de utilização na forma de adição mineral tipo filer, apresentando efeitos positivos como o aumento da viscosidade e da coesão das misturas (BASTOS, 2014; MENEZES *et al.*, 2010). Uma vez que para a produção de CAA é necessária uma grande quantidade de finos, com o intuito de promover a viscosidade adequada e aumentar a resistência à segregação (EFNARC, 2005), o RSPC aparece como uma alternativa potencial para a produção deste tipo de concreto.

O uso de 10% de RSPC foi testado na produção de CAA por Farias (2017) e verificou-se que, usando um método de dosagem essencialmente experimental - Método Repette-Melo (MELO, 2005), não se conseguiu uma maior dispersão das partículas finas de resíduos. Embora os concretos tivessem apresentado maior coesão, houve uma redução da resistência mecânica. Nesse contexto, na busca por métodos que ajudem a produzir um concreto de melhor desempenho, destaca-se o método de dosagem baseado no

Modelo do Empacotamento Compressível (MEC) apresentado por François De Larrard (1999). O MEC segue princípios científicos e estabelece modelos matemáticos que possibilitam a análise da contribuição de novos materiais na produção do concreto, ao apresentar as propriedades mecânicas do concreto baseado na compacidade das misturas granulares (SILVA, 2004; FORMAGINI, 2005).

Deste modo, esse estudo propõe uma avaliação da compacidade de misturas de CAA com e sem a incorporação de RSPC. Foi realizada uma análise da compacidade dos concretos obtidos por Farias (2017) e de misturas de CAA, com e sem RSPC, otimizadas. Em ambos os casos foi utilizado o MEC, proposto por De Larrard (1999).

## MATERIAIS E MÉTODOS

No estudo e produção do CAA foi utilizado o cimento CII Z 32 e o RSPC como adição mineral. Utilizou-se um aditivo superplastificante (SP), ADVA 567, à base de policarboxilatos do tipo SPII, com massa específica entre 1,050 e 1,090 g/cm<sup>3</sup> e teor de sólidos entre 35,91% e 39,69%, de acordo com o fabricante. Como agregados miúdos, foi utilizada uma combinação binária de areias quartzosas: a areia fina (AF) e a areia média (AM), com dimensão máxima característica (D<sub>max</sub>) de 1,2 e 2,4 mm, respectivamente. E como agregados graúdos, foi utilizada uma composição entre duas britas de origem granítica: a B9,5 com D<sub>max</sub> de 9,5 mm e a B19, com D<sub>max</sub> de 19mm. A composição granulométrica da mistura dos agregados para os concretos produzidos foi estabelecida com base no estudo de Farias (2017) e na otimização dos traços do mesmo. Para a utilização do MEC foram necessários os ensaios de compacidade dos grãos. A compacidade em materiais finos (cimento e RSPC) foi determinada utilizando o método de demanda d'água, seguindo a metodologia apresentada por De Larrard (1999). Para a compacidade de materiais com dimensões acima de 100µm foi realizado o ensaio de compactação e vibração que, de acordo com De Larrard (1999), apresenta um índice de empacotamento K=9. Neste ensaio é utilizado um cilindro com diâmetro interno de 160 mm e altura de 320 mm, e um pistão maciço de 200N. As massas específicas e compacidade dos materiais estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Resultados de massa específica e compacidade dos materiais granulares

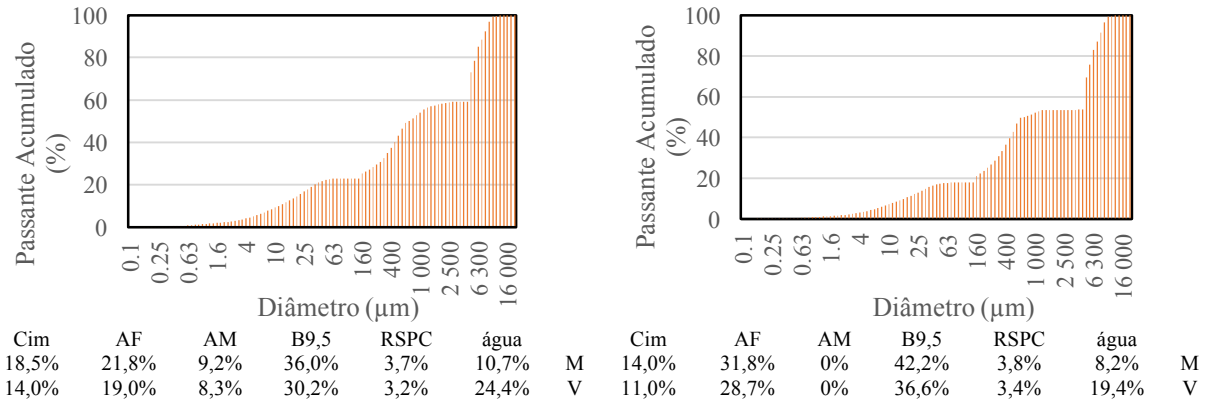
Material	CPIIZ 32	RSPC	AF	AM	B9,5	B19
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	3,03	2,69	2,62	2,61	2,69	2,76
Compacidade experimental	0,538	0,569	0,71	0,66	0,59	0,60

Com a compacidade calculada pelo MEC e os parâmetros referentes aos agregados foi possível fazer correlações com propriedades do concreto no estado fresco e endurecido usando formulações matemáticas. O MEC é capaz de analisar as misturas granulares apresentadas e prever suas propriedades. As misturas provenientes do estudo de Farias (2017) foram reproduzidas computacionalmente, no software *BetonLab Pro*® e também foram otimizadas de acordo com os parâmetros de compacidade estabelecidos. A avaliação dos concretos produzidos foi realizada a partir do espalhamento no estado fresco, prescrito pela NBR 15823-2 (ABNT, 2010) e da resistência à compressão no estado endurecido, prescrito pela NBR 5739 (ABNT, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As otimizações geradas a partir do software *BetonLab Pro*®, adotando como parâmetro a maior compacidade dos agregados na mistura, suprimiram dos traços um dos agregados miúdos, a areia média. Isso se deve, possivelmente, a sua granulometria com dimensões muito próximas a da areia fina, causando um efeito de afastamento dos grãos, no qual a classe menor (AF) não tem tamanho pequeno o suficiente para ocupar os espaços vazios existentes entre os grãos da classe dominante (AM), sem causar um

afastamento pontual entre os grãos (DE LARRARD, 1999). De acordo com a teoria utilizada, esse afastamento proporciona o aumento de vazios na mistura, reduzindo, então, sua compactidade. Contudo, observou-se que os traços otimizados obtidos para a máxima compactidade dos agregados na mistura apresentaram, desta maneira, distribuição granulométrica com falhas maiores quando comparadas aos traços obtidos experimentalmente por Farias (2017), como pode ser observado na Figura 1. As falhas de distribuição granulométrica expostas pela curva do traço de concreto otimizado (Figura 1b) são reflexo da retirada da areia média e da nova proporção das misturas.



**Figura 1** - Curva granulométrica do CAA com incorporação do RSPC, relação a/c 0,57: a) Estudo de FARIAS (2017); b) Traço otimizado através do MEC (Nota: M= em massa; V= em massa)

As descontinuidades das curvas granulométricas indicam a ausência de grãos intermediários, fator que pode influenciar negativamente na compactidade, permeabilidade, resistência e durabilidade do concreto (SOUSA, 2011).

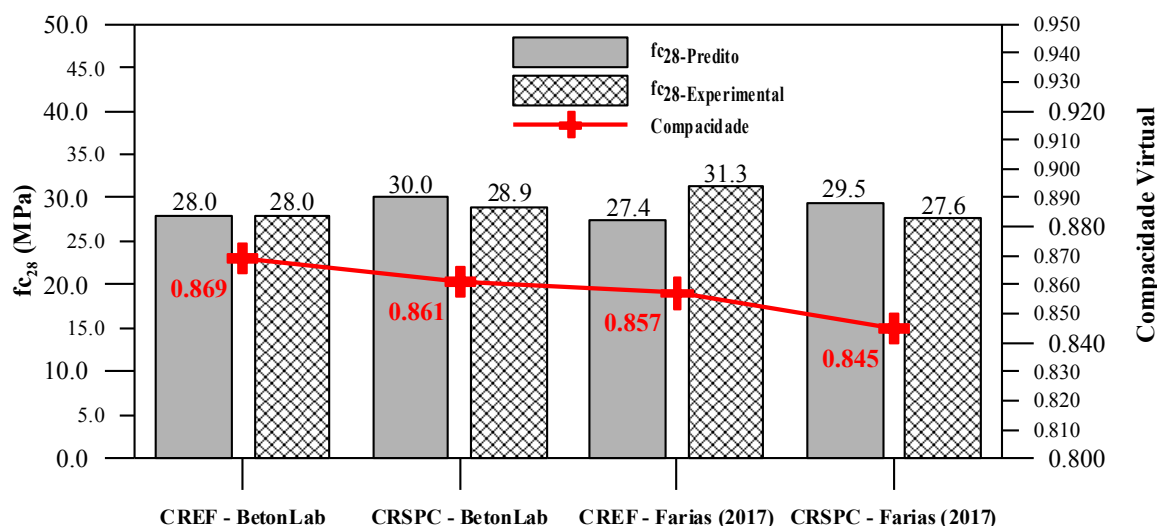
Os CAA, produzidos a partir dos traços otimizados, foram avaliados quanto a fluidez e coesão no estado fresco, obtendo resultados dentro da faixa de trabalho (550 a 800 mm). Observa-se uma redução de cerca de 4% no diâmetro de espalhamento do concreto autoadensável com a incorporação do resíduo (CRSPC), comparado ao concreto autoadensável de referência (CREF), o que indica uma melhora na coesão da mistura (Tabela 2). Quando comparados com os concretos do estudo de Farias (2017), os CAA apresentam uma maior tendência à segregação e menor capacidade de fluir.

**Tabela 2** – Resultados dos ensaios dos concretos produzidos

a/c	Mistura	Presente estudo			Farias (2017)		
		E (mm)	fc28±Sd (CV) MPa±MPa(%)	C	E (mm)	fc28±Sd(CV) MPa±MPa(%)	C
0,50	CREF	599	28,0±1,2 (4,2)	0,869	630	31,3±1,0 (3,2)	0,857
0,70	CRSPC	576	29,5±1,5 (5,0)	0,861	608	27,6±0,7 (2,4)	0,845

Nota: CREF – CAA de referência; CRSPC – CAA com incorporação do RSPC; E – Espalhamento; ; fc<sub>28</sub> – resistência à compressão axial, aos 28 dias; Sd – desvio padrão; CV – coeficiente de variação; C – Capacidade do esqueleto não confinado de concreto.

No estado endurecido, os concretos otimizados também foram avaliados segundo sua resistência à compressão axial, aos 28 dias. O CRSPC obteve um maior fc<sub>28</sub> quando comparado ao CREF, com aumento de cerca de 5,5% de resistência, o que indica uma influência positiva do RSPC na mistura. No que diz respeito a predição do MEC para esta propriedade, os concretos produzidos apresentaram valores muito próximos aos valores calculados pelo software, como pode ser observado na Figura 2. Quanto aos concretos do estudo de Farias (2017) as predições não foram eficazes, apresentando uma variação considerável entre os resultados experimentais e as predições (Figura 2). De um modo geral, o traço otimizado para o CRSPC apresentou resultados superiores ao traço base do estudo de Farias (2017), já o CREF produzido através do traço otimizado obteve um desempenho inferior ao CREF do estudo de Farias (2017).



**Figura 2** - Resultados de resistência à compressão, aos 28 dias, preditos e experimentais, e de compacidade virtual, para os concretos produzidos e os concretos do estudo de Farias (2017)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MEC foi aplicado na determinação da compacidade do CAA estudado por Farias (2017), bem como, na otimização do CAA com uso de RSPC. Os traços de concreto otimizados apresentaram maiores discontinuidades no esqueleto granular, mesmo tendo alcançado maiores valores de compacidade que as misturas obtidas com o Método Repette-Melo usado por Farias (2017). A influência de tais discontinuidades foram observadas no estado fresco, uma vez que o CAA otimizado (CREF e CRSPC) mostrou maior potencial de segregação e menor fluidez, quando comparado aos CAAs obtidos por Farias (2017). Por outro lado, no estado endurecido, os resultados foram satisfatórios quanto à predição das resistências experimentais para os traços otimizados. Quanto à predição das resistências do estudo de Farias (2017), o MEC apontou para resultados mais divergentes em comparação aos resultados experimentais, ocasionando uma incerteza na predição dessas propriedades. Contudo, os resultados de compacidade virtual foram menores para estas misturas, o que demonstra que as resistências tenderiam a cair, o que não foi observado na mistura CREF do estudo de Farias (2017). Os resultados mostram que é necessário investigar melhor a composição do esqueleto granular com o MEC, de modo a eliminar o efeito de afastamento observado nas misturas experimentais, que eliminou uma das areias do traço, tanto para o CAA de referência, quanto para o CRSPC. Além disso, o uso do RSPC proporcionou uma melhoria das propriedades dos CAA, notadamente no estado fresco. Isso mostra a necessidade de ampliação do estudo desse material, com seleção de novos materiais, e obtenção de misturas com melhores propriedades finais.

## REFERÊNCIAS

ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). **Cenário Mundial do Setor de Rochas Ornamentais**. São Paulo, SP. 2019. Disponível em: < [https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2019/09/Exporta\\_Importa%20Novembro\\_2019.pdf](https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2019/09/Exporta_Importa%20Novembro_2019.pdf) >. Acesso em: 21 mar. 2020.

BASTOS, AJO. Avaliação do uso de resíduo de serragem de Pedra Cariri (RSPC) para produção de concretos convencionais. Feira de Santana, 2014. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana.

CORREIA, J. C. G.; VIDAL, F. W. H.; RIBEIRO, R. C. C. Caracterização tecnológica dos calcários do Cariri do Ceará. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 5, Recife, 2005.

DE LARRARD, F. Concrete mixture proportioning: a scientific approach. 1<sup>a</sup>. Ed., Londres: E & FN SPON, 1999.

EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. Reino Unido. 2005. 68 p.

FARIAS, U.M.S.M. Produção de concreto autoadensável com uso de resíduo de serragem de pedra cariri. 2017. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2017.

FORMAGINI, S. Dosagem científica e caracterização mecânica de concretos de altíssimo desempenho. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GOMES, PCC. Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete. 2002. 139p. Tese - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya.

MELO, K. A. de. Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário. 2005. 183 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENEZES, R. R. et al. Reciclagem do resíduo de serragem de calcário laminado para produção de blocos cerâmicos. Revista Escola de Minas, 63, p. 667-672, Out/Dez. 2010.

OKAMURA, H; OUCHI, M. Self-compacting concrete. Journal of Advaced Concrete Technology, v.1, p.5-15, 2003

SILVA, A. S. M. Dosagem de concreto pelos métodos de empacotamento compressível e Aïtcin-Faury modificado. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUSA, R. A. Dosagem de concretos utilizando a ferramenta computacional BetonLab: Estudo de caso para concreto reciclado. 2011. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.