

## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# ESTUDO DO USO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE PEDRA CARIRI NA PRODUÇÃO DE MISTURAS AUTOADENSÁVEIS<sup>1</sup>

**GALVÃO, Jonhnatan Santiago da Silva (1); PITA, Amanda C. Bernardo de Oliveira (2);  
MERCÊS, Uiliana Márcia da Silva (3); MOURA, Washington Almeida (4); LEITE, Mônica  
Batista (5)**

(1)UEFS, e-mail: johnatansantiago@gmail.com; (2)UEFS, e-mail: abernardoeng@gmail.com;  
(3)UEFS, e-mail: uilianamerces@yahoo.com.br; (4)UEFS, e-mail:  
washington.moura@gmail.com; (5)UEFS, e-mail: mleite.uefs@gmail.com

### RESUMO

A utilização de resíduos de outras cadeias produtivas na construção civil é uma alternativa para o alcance de padrões sustentáveis de produção. Durante o beneficiamento da Pedra Cariri, um calcário laminado explorado na região do Cariri/CE, é gerado um grande volume de resíduo, o Resíduo de Serragem de Pedra Cariri (RSPC). O objetivo deste trabalho é o estudo do uso de RSPC em substituição da areia na produção de argamassas autoadensáveis. Foram estudadas cinco misturas de argamassa, com traço 1,00:2,00, em massa, sendo uma de referência e quatro substituindo a areia por diferentes teores de RSPC (15, 20, 25 e 30%), em massa. Para cada mistura, a relação a/c foi definida com base no ensaio de espalhamento modificado, para uma faixa entre 200 e 280mm. As argamassas foram avaliadas também quanto ao tempo de escoamento no funil-V, massa específica, absorção de água e índice de vazios, e resistência à tração na flexão e à compressão. Os resultados indicaram que a utilização do RSPC na produção de argamassas autoadensáveis é tecnicamente viável, uma vez que o resíduo promoveu maior coesão e estabilidade nas misturas. Além disso, houve melhoria das propriedades mecânicas e redução da porosidade da mistura com 15% de resíduo.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de resíduos. Resíduo de serragem de pedra Cariri. Argamassa autoadensável.

### ABSTRACT

The use of waste in construction is an alternative to achieve sustainable production patterns. The processing of Cariri Stone, which is a laminated limestone, generates a large volume of waste, called Sawdust Waste of Cariri Stone (SWCS). The main goal of this work is to study the use of SWCS in self-compacting mortar production. Five mortar mixtures were studied: one for reference, and other four replacing the natural sand by different ratios of SWCS (15, 20, 25 and 30%), by weight. For each mixture, the w/c ratio was defined based on the modified spreading experiment to track a range of 200-280mm. The mortars were also evaluated by the flow of time in the funnel-V, in fresh state, and density, water absorption and void ratio, and tensile and compression strength in hardened state. The results showed that the use of SWCS in self-compacting mortar production is technically feasible, since the residue

<sup>1</sup>GALVÃO, Jonhnatan Santiago da Silva; PITA, Amanda C. Bernardo de Oliveira; MERCÊS, Uiliana Márcia da Silva; MOURA, Washington Almeida; LEITE, Mônica Batista. Estudo do uso de resíduo de serragem de pedra cariri na produção de misturas autoadensáveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

*promoted greater cohesion and stability to the mixtures. In addition, there was improvement in the mechanical properties and decrease in the porosity of the mixture with 15% of SWCS.*

**Keywords:** Reusing of waste. Sawdust Waste of Cariri Stone. Self-compacting mortar.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor industrial de grande importância econômica. Porém, suas atividades produtivas geram grandes impactos ambientais devido, principalmente, ao consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Com a crescente preocupação relacionada a um desenvolvimento sustentável, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando enquadrar o setor aos padrões de sustentabilidade. Nesse sentido, destaca-se o grande potencial da construção civil em relação à capacidade de incorporar resíduos do próprio setor assim como de outras cadeias produtivas (BASTOS et al., 2013; GONÇALVES e MOURA, 2002). Além disso, o desenvolvimento de novos materiais, visando suprir deficiências dos materiais convencionais, pode conferir maior eficiência nas práticas construtivas e maior desempenho e durabilidade às construções.

Dentre os principais setores cujos resíduos apresentam possibilidade de reaproveitamento na construção civil está o da mineração. Com destaque para os resíduos gerados na extração e beneficiamento de rochas ornamentais. O Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo. Somente no primeiro bimestre de 2016, as exportações brasileiras somaram 305.182,14 toneladas, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2016).

A produção e beneficiamento de rochas ornamentais estão associados a grandes quantidades de resíduos gerados. O problema se agrava devido à significativa parcela de microempresas e pequenos produtores artesanais, cujas práticas de extração rudimentares geram elevados índices de perdas (CASTRO, 2007; BASTOS et al., 2013). Nesse contexto, insere-se a exploração e beneficiamento da Pedra Cariri, cujo índice de perda total da produção chega a 70% (VIDAL e PADILHA, 2003).

Pedra Cariri é o nome comercial dado a um calcário laminado explorado na região do Cariri, Ceará. Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a reserva do calcário laminado, abrangendo principalmente os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda, é de cerca de 97 milhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a 241 milhões de toneladas deste calcário (CORREIA et al., 2005). O processo de lavra da Pedra Cariri é conduzido de forma seletiva e à céu aberto, sendo realizado de forma manual ou semi-mecanizada. Após a lavra, é feito o desplacamento manual das lajotas em placas de 1 a 3cm, com espátula e martelo, aproveitando a própria formação laminar da rocha. Nesse processo, podem ocorrer quebras das placas e, por falta de um controle rigoroso da geometria, perde-se muito do valor comercial. Em seguida, as placas são transportadas até serrarias, onde são esquadreadas em dimensões comerciais (BASTOS, 2014; VIDAL,

2003).

O processo de esquadrejamento gera grande quantidade de resíduos. Um deles em forma de filetes de rocha, e outro em forma de lama, uma vez que o corte é realizado com o uso de disco diamantado resfriado com água. A essa lama denomina-se Resíduo de Serragem de Pedra Cariri (RSPC) e sua disposição ocorre em depressões, formando lagoas de decantação. Estima-se que cerca de 850 toneladas de RSPC são geradas anualmente(BASTOS, 2014).

Algumas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de viabilizar o uso desse material como adição para produção de argamassas, blocos e telhas cerâmicas, pastas e concretos (SILVA, 2008; MENEZES et al., 2010; SUASSUNA et al., 2012; GUIMARÃES et al., 2013; BASTOS, 2014).

Estudos demonstraram que o RSPC apresenta uma elevada finura, e por isso, pode contribuir para o aumento da coesão de misturas de argamassas e concretos produzidos (BASTOS, 2014; MENEZES et al., 2010). Considerando essa característica, o RSPC apresenta grande potencial de uso como adição tipo filer, na produção de misturas que vão requerer elevada coesão, como é o caso das misturas autoadensáveis. Essas misturas necessitam de maior resistência à segregação e maior estabilidade, no estado fresco. De acordo com Gomes (2002), a produção de misturas autoadensáveis, que utilizam altas taxas de resíduos sólidos industriais na forma de finos, contribui para o desenvolvimento sustentável do setor construtivo.

Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência do uso de Resíduo de Serragem de Pedra Cariri (RSPC), em substituição parcial da areia natural, na produção de argamassas autoadensáveis, que serão utilizadas posteriormente na produção de concretos autoadensáveis, como base na metodologia descrita por Melo (2005).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Cimento

Utilizou-se o Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II Z – 32), por ser um cimento bastante comercializado na região, os resultados obtidos na caracterização estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do cimento

Propriedade – Método de ensaio	Resultado	Limites NBR 11578 (ABNT, 1991)
Massa específica - NBR NM 23 (ABNT, 2001)	3,00 g/cm <sup>3</sup>	-
Índice de finura - NBR 11579 (ABNT, 1991)	0,62%	≤ 12%
Início de pega NBR – NM 65 (ABNT, 2003)		≥ 1 h
Fim de pega NBR – NM 65 (ABNT, 2003)		≤ 10 h
Resistência à compressão- NBR 7215 (ABNT, 1996)	7 dias 14 dias 28 dias	22,0 MPa 25,6 MPa ≥ 32 MPa
		≥ 10 MPa ≥ 20 MPa

Fonte: Os autores

## 2.2 Agregado miúdo natural

Foram utilizados dois tipos de agregados miúdos naturais: uma areia fina, na proporção de 70%; e uma areia média, na proporção de 30%. Essa composição permitiu a obtenção de uma curva granulométrica final mais adequada ao estudo de misturas autoadensáveis conforme Melo (2005). Hodgson (2003) afirma que uma grande quantidade de areia grossa pode interferir negativamente nas propriedades de um produto autoadensável.

As duas areias foram caracterizadas no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), de acordo com as prescrições normativas vigentes. Os resultados de caracterização das areias estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de caracterização física dos agregados miúdos naturais

Propriedade – Método de ensaio	Resultado		Método de Ensaio
	Areia fina	Areia média	
Dimensão máxima característica - mm	1,20	2,40	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	1,77	2,88	
Material pulverulento - %	0,10	0,80	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
	Aparente	2,61	2,54
Massa específica- kg/dm <sup>3</sup>	S.S.S.	2,62	2,57
	Ag. Seco	2,62	2,61
Massa unitária - kg/dm <sup>3</sup>	1,60	1,42	NBR 7251 (ABNT, 1982)
Impurezas orgânicas	+ clara	+ clara	NBR NM 49 (ABNT, 2001)

Fonte: Os autores

## 2.3 Resíduo de Serragem de Pedra Cariri

O RSPC utilizado nesse estudo foi o mesmo coletado por Bastos (2014). A amostra de resíduo estava estocada em baias de materiais no Laboratório de Materiais de Construção da UEFS, e foi submetida ao seguinte processo de beneficiamento:

- o resíduo foi seco ao ar por 24 horas para retirar o excesso de umidade, e posteriormente foi seco em estufa por mais 24 horas;
- o material seco apresentava-se na forma de torrões, e por isso passou por um britador de mandíbulas, que foi ajustado para uma abertura máxima de cerca de 5mm, e foi posteriormente peneirado em uma malha de 4,8mm;
- o RSPC foi destorrado em moinho de bolas horizontal (CT 242 Servitech - Figura 1a). O tempo de moagem foi de 2 minutos e foi utilizada uma carga de 700g de bolas de alumina para 700g de resíduo. Ao final do processo de beneficiamento, o resíduo encontrava-se como mostra a Figura 1b.

De acordo com Bastos (2014), o resíduo apresenta:

- diâmetro médio de 5,3  $\mu\text{m}$ , que de modo geral é inferior a do cimento Portland;
- massa específica de 2,67 g/cm<sup>3</sup>;
- basicamente composto por óxido de cálcio, identificado através do difratograma de raio-X. Além disso, através da difração foi observada uma estrutura cristalina, indicando que o RSPC é inerte.

Figura 1 – Processo de beneficiamento do RSPC usado no estudo: (a) Moinho de bolas horizontal CT 242 Servitech; (b) Resíduo ao fim do beneficiamento



Fonte: Os autores

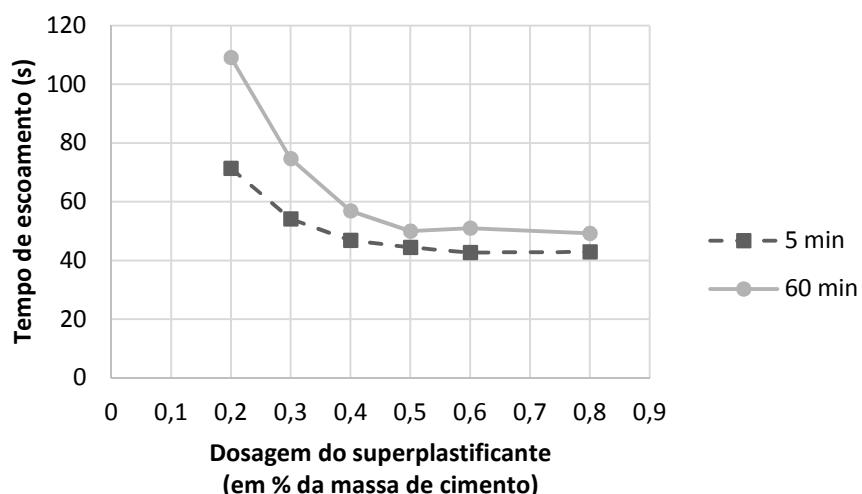
## 2.4 Aditivo superplastificante

Utilizou-se o ADVA™ CAST 525, da marca Grace, que é um superplastificante de última geração, à base de policarboxilato, recomendado pelo fabricante na produção de concretos autoadensáveis. De acordo com o fabricante, a dosagem de aditivo deve ser de 0,15 a 0,8%, sobre a massa do cimento. O aditivo possui massa específica de 1,06 kg/m<sup>3</sup> e teor de sólidos de 30%.

Foi estabelecida a dosagem ótima de aditivo utilizando para isso o método do Funil de Marsh, que consiste em preparar uma pasta e medir o tempo de escoamento da mistura. As pastas foram preparadas com relação água-

cimento de 0,35, e variou-se o teor de aditivo em acréscimos de 0,1%, em relação ao teor de sólidos. Para cada teor de SP foi preparado 1 litro de pasta e o escoamento foi medido aos 5 e aos 60 minutos após a mistura do aditivo. Com os resultados do ensaio foi plotado do gráfico que mostra a influência do aditivo sobre o escoamento das pastas, como mostrado na Figura 2. Observou-se que o teor ideal de aditivo foi de 0,5%, ponto a partir do qual o aumento da dosagem de aditivo não resultou em redução significativa no tempo de escoamento, ou seja, não alterou a viscosidade da pasta.

Figura 2- Resultados do ensaio para determinação da dosagem ótima do aditivo SP



Fonte: Os autores

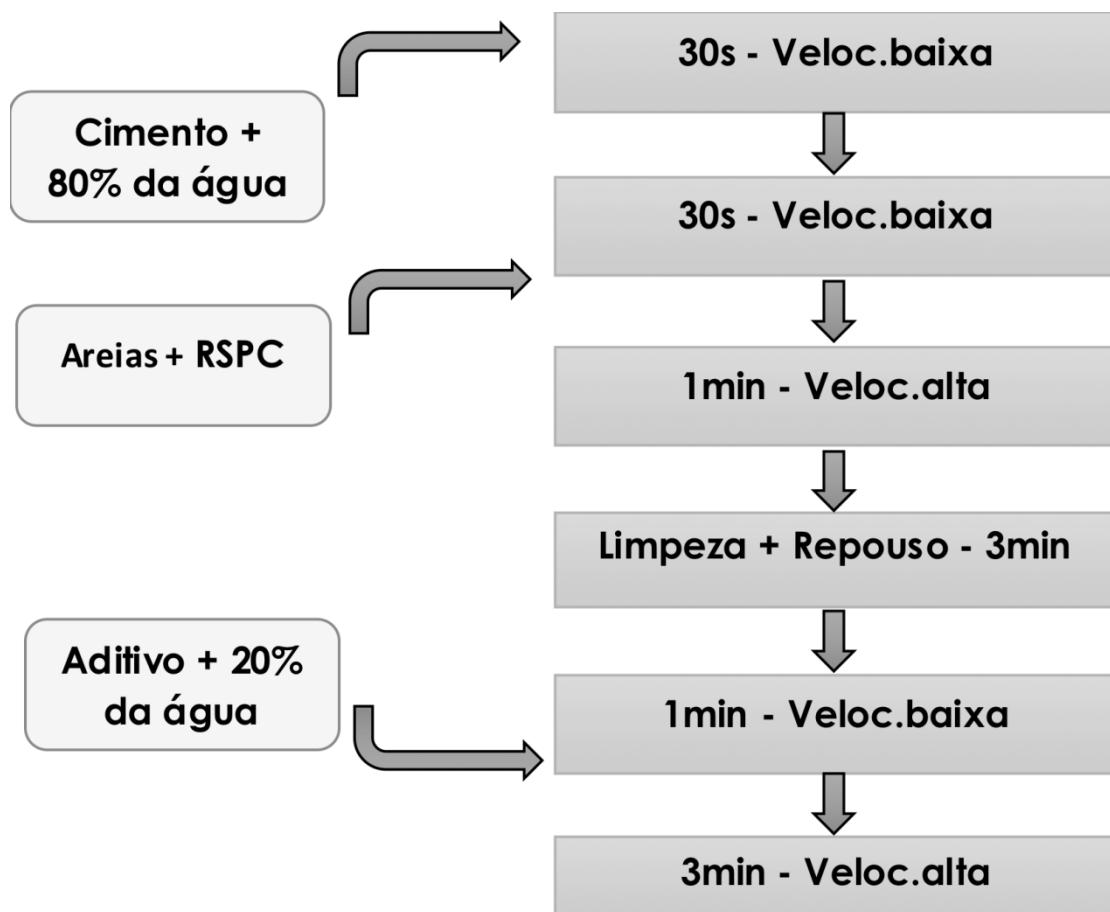
## 2.5 Produção das argamassas com RSPC

O estudo da influência do RSPC foi realizado em argamassas autoadensáveis. Esse estudo foi desenvolvido como etapa preliminar de um estudo mais amplo da aplicação desse resíduo em concretos autoadensáveis (CAA). De acordo com a metodologia descrita por Melo (2005) para dosagem e produção de concretos autoadensáveis, deve ser realizado um estudo preliminar do teor de filer e aditivo SP em argamassas, para posterior aplicação em CAA.

Foram produzidas cinco misturas de argamassa: uma de referência e quatro argamassas com diferentes teores de substituição das duas areias naturais por RSPC (15, 20, 25 e 30%, em massa). O traço avaliado foi 1,0:1,4:0,6, em massa, (cimento:areia fina:areia média). Esse traço foi escolhido porque se observou que menores consumos de cimento não produziam a quantidade de pasta necessária para uma argamassa autoadensável, de modo a envolver os grãos de agregado miúdo. Além disso, proporções maiores do que 30% de areia média produziam misturas ásperas e com alto grau de exsudação. Para cada mistura, a relação a/c foi ajustada com base no ensaio de espalhamento modificado proposto por Gomes (2002), utilizando-

se as faixa de aceitação variando de 200 a 280 mm de acordo com a proposição de Melo (2005). Foi utilizada a sequência de mistura apresentada na Figura 3, e foi utilizada uma argamassadeira planetária, com capacidade nominal de 5 litros. Além dos ensaios de espalhamento, as misturas de argamassa autoadensáveis foram avaliadas também através do ensaio tempo de escoamento, medido no funil-V, como proposto por Gomes (2002).

Figura 3 – Sequência de mistura para produção das argamassas



Fonte: Os autores

## 2.6 Propriedades avaliadas

As argamassas autoadensáveis foram avaliadas ainda quanto as suas propriedades no estado endurecido. Foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005), e índices físicos – massa específica, absorção de água e índice de vazios - segundo a NBR 9778 (ABNT, 2008). Todas as propriedades foram avaliadas aos 28 dias de idade.

Foram moldados 4 corpos de prova prismáticos de 40x40x160 mm, para os ensaios de resistência, e 3 corpos de prova cilíndricos de 50mm de diâmetro e 100 mm de altura para a determinação da massa específica, absorção de água, e índice de vazios. O ensaio de resistência mecânica das argamassas

(tração e compressão) foi realizado com base na prescrição da NBR 13279 (ABNT, 2005), que determina a resistência à tração na flexão em 3 pontos, em corpos de prova prismáticos, e a resistência à compressão das metades desses corpos de provas após a ruptura à flexão.

Por se tratar de argamassa autoadensável, os corpos de prova foram moldados sem vibração, e foram curados ao ar nas primeiras 24 horas e após a desmoldagem foram curados submersos em água com cal até a idade de ensaio.

### 3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 3.1 Propriedades no estado fresco

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de espalhamento e tempo de escoamento para cada uma das misturas avaliadas, bem como, as relações a/c obtidas em cada caso. Visualmente, o aumento do teor de RSPC em substituição aos agregados miúdos naturais também foi avaliado, como pode ser observado nas Figuras 5a, 5b, 5c, 5d, 5e.

Tabela 3 –Resultados do espalhamento modificado e tempo de escoamento e relação a/c para cada mistura avaliada

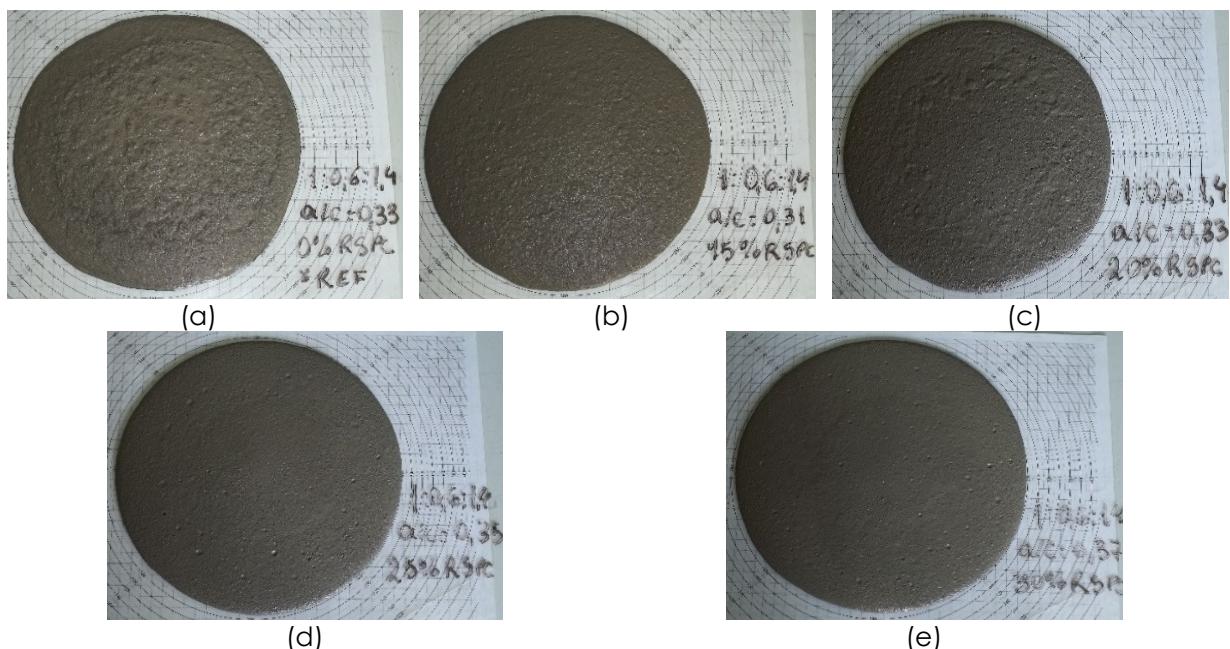
Mistura	a/c	Diâmetro médio espalhamento (mm)	Tempo de escoamento (s)
REF	0,33	269,5	14,44
15%RSPC	0,31	252,0	23,56
20%RSPC	0,33	238,5	14,53
25%RSPC	0,35	263,5	15,53
30%RSPC	0,37	268,5	14,21

Fonte: Os autores

De um modo geral, a substituição das areias naturais pelo RSPC promoveu uma maior coesão das misturas de argamassa autoadensáveis, necessitando de um aumento na relação a/c para alcançar a faixa de espalhamento estabelecido (200 a 280 mm). Apenas, para a mistura com 15%RSPC houve uma redução de 0,02 na relação a/c. O maior tempo de escoamento (23,6 s) foi obtido também nessa mistura (15%RSPC), o que pode ser explicado pela sua menor relação água cimento, e aumento da viscosidade com a diminuição da relação água/finos (MELO, 2005; RIZWAN e BIER, 2011; TÜRKEL e YIGIT, 2009). De um modo geral, materiais finos possuem maior superfície específica, e agem na elevação da viscosidade (BARROS, 2008).

O incremento na substituição das areias naturais por RSPC promoveu maior homogeneidade e melhorias na espessura das argamassas após o escoamento, como foi observado visualmente (Figura 5), seguindo critérios descritos por Martins (2009). Contudo, o aumento da relação a/c promovido pelo aumento no teor de RSPC acarretou um aumento na quantidade de vazios que foi observada nas misturas 25%RSPC e 30%RSPC, no estado fresco.

Figura 4 – Aspecto das 5 misturas no ensaio de Espalhamento modificado. (a) Mistura de referência; (b) Mistura 15% RSPC; (c) Mistura 20% de RSPC; (d) Mistura 25% de RSPC; (e) Mistura 30% de RSPC



Fonte: Os autores

### 3.2 Propriedades no estado endurecido

#### 3.2.1 Resistência à tração e à compressão

Os resultados das resistências, determinados aos 28 dias de idade, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados médios, desvios padrão e coeficientes de variação, para resistência à tração e resistência à compressão das argamassas ensaiadas

<b>Mistura</b>	<b>Resistência à tração na flexão</b>			<b>Resistência à compressão</b>		
	<b>f<sub>t</sub>medio (MPa)</b>	<b>Sd (MPa)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>f<sub>c</sub>medio (MPa)</b>	<b>Sd (MPa)</b>	<b>CV (%)</b>
REF	11.3	0.6	5.6	44.5	4.9	11.1
15%RSPC	12.8	0.8	6.4	70.4	6.4	9.1
20%RSPC	11.9	0.8	6.3	68.1	6.5	9.5
25%RSPC	11.9	0.9	7.4	67.9	3.1	4.6
30%RSPC	10.1	0.4	4.2	67.7	4.1	6.0

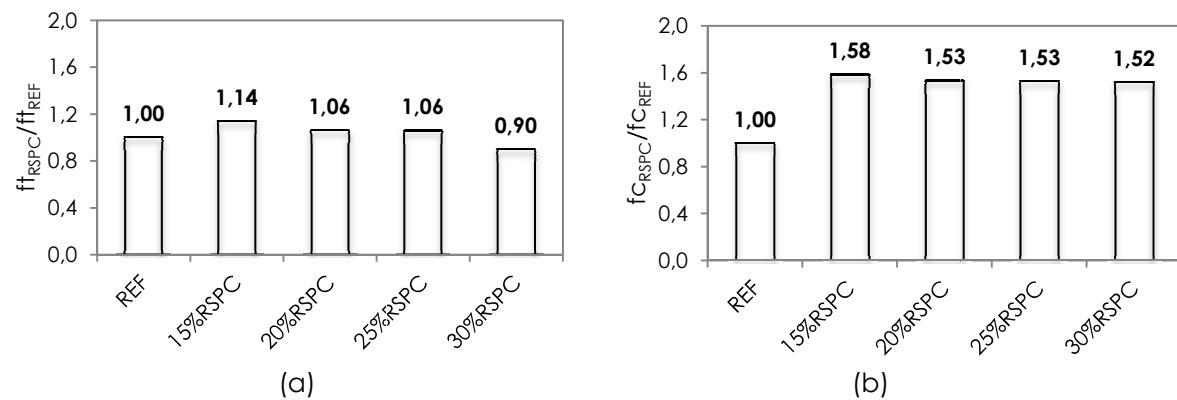
Fonte: Os autores

Observa-se que o aumento no uso de RSPC em substituição aos agregados miúdos naturais fez reduzir as resistências, tanto na tração quanto na compressão, exceto para a mistura 15%RSPC. Vale salientar que essa mistura apresentou a menor relação a/c e isso contribuiu para que a mesma apresentasse maior resistência que as demais argamassas com resíduo.

Outro ponto que deve ser analisado é o resultado de resistência à compressão obtido para a mistura de referência (44,5MPa), que está muito abaixo da resistência alcançada pelas demais misturas. Esse

comportamento ficou evidenciado no gráfico de resistência relativa apresentado na Figura 5b, no qual observa-se que todas as misturas com RSPC apresentaram um acréscimo de mais de 50% nos valores de resistência à compressão se comparadas a mistura de referência. É importante salientar que para a argamassa de referência houve uma elevada dispersão dos valores obtidos no ensaio, sendo o resultado médio obtido apenas com dois valores de resistência, e ainda assim o coeficiente de variação (11,1%) foi maior que nas argamassas com RSPC. Desse modo, o ensaio deverá ser repetido para confirmar esse resultado.

Figura 5 – Resultados de resistência relativa das misturas estudadas: (a) resistência à tração; (b) resistência à compressão



Fonte: Os autores

Observa-se que para a tração (Figura 5a), a mistura 15%RSPC apresentou um acréscimo de 14% em comparação com a argamassa de referência, e a mistura 30%RSPC apresentou uma redução de 10%.

Para baixos teores de substituição das areias naturais por até 20% RSPC houve um aumento na coesão das misturas, com redução da relação a/c, e consequente aumento da resistência. Com o aumento do teor de RSPC há um aumento no teor de material pulverulento total da mistura e isso acarretou aumento na demanda de água, com redução da resistência dessas misturas.

### 3.2.2 Índices físicos

As argamassas foram submetidas ao ensaio absorção de água e índice de vazios pelo método da NBR 9778 (ABNT, 2008), cujos resultados médios estão apresentados na Tabela 5.

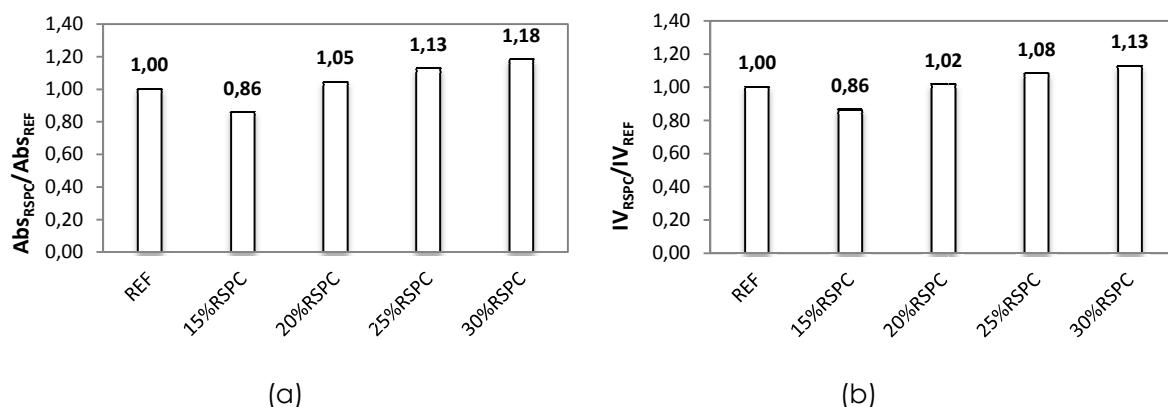
Observa-se que assim como para as propriedades mecânicas, a mistura 15%RSPC apresentou os menores valores de taxa de absorção de água e índice de vazios (redução de 14% - Figura 6a e b), como era de se esperar, uma vez que essa mistura apresenta menor relação a/c que as demais. Além disso, esse efeito também deve estar associado com o preenchimento de vazios promovido pelas partículas finas do RSPC. Esse comportamento também foi evidenciado por Bastos (2014) em seu estudo com RSPC para produção de concretos.

Tabela 5 – Resultados médios, desvios padrão e coeficientes de variação, dos ensaios de massa específica, absorção e índice de vazios das argamassas estudadas

<b>MISTURA</b>	<b>ME<math>\pm</math>Sd(CV) - %</b>	<b>Abs <math>\pm</math> Sd(CV) - %</b>	<b>IV<math>\pm</math> Sd(CV) - %</b>
REF	2.58 $\pm$ 0.01(0.3)	6.6 $\pm$ 0.1(2.2)	14.6 $\pm$ 0.3(2.2)
15%RSPC	2.53 $\pm$ 0.01(0.5)	5.7 $\pm$ 0.0(0.5)	12.6 $\pm$ 0.1(0.6)
20%RSPC	2.52 $\pm$ 0.02(1.0)	6.9 $\pm$ 0.1(1.4)	14.9 $\pm$ 0.2(1.6)
25%RSPC	2.51 $\pm$ 0.02(0.7)	7.5 $\pm$ 0.1(1.1)	15.8 $\pm$ 0.1(0.8)
30%RSPC	2.51 $\pm$ 0.03(1.0)	7.8 $\pm$ 0.1(1.1)	16.5 $\pm$ 0.3(1.7)

Fonte: Os autores

Figura 6 – Resultados de índices físicos relativos das misturas estudadas: (a) absorção de água; (b) Índice de vazios



Fonte: Os autores

O maior incremento na absorção de água e índice de vazios foi de 18 e 13%, respectivamente, para a mistura 30%RSPC quando comparada com os resultados da mistura de referência (Figura 6a e b). O aumento do teor de RSPC fez aumentar a demanda de água e, por consequência, a porosidade das misturas.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo do uso de RSPC em substituição a areia natural para produção de argamassas autoadensáveis mostrou que:

- no estado fresco, observou-se que, para teores de até 20% de substituição, o resíduo promove um aumento na coesão e viscosidade das misturas de argamassa, promovendo maior homogeneidade e melhorias na espessura de borda das argamassas. Para teores mais elevados (25 e 30%) houve um aumento na demanda de água e as misturas incorporaram mais vazios;
- no estado endurecido houve um aumento na resistência à tração e resistência à compressão das misturas com RSPC, exceto no caso da tração para teores de 30% de resíduo. A melhoria observada nas propriedades mecânicas está associado com o aumento do efeito de preenchimento de vazios (efeito filer) promovido pelo RSPC, que é ainda

mais evidente para teores abaixo de 20%;

- as argamassas com 15% de RSPC em substituição à areia apresentou melhores resultados de absorção de água e índice de vazios que a argamassa de referência, em função do efeito de preenchimento de vazios (efeito fíler) promovido com o uso do RSPC.

Desse modo, conclui-se que o uso de RSPC para produção de argamassas autoadensáveis é viável tecnicamente. Os resultados experimentais obtidos permitem afirmar que o teor de 15% de RSPC em substituição às areias é o mais viável para produção dessas argamassas, que servirão de base para produção de concretos autoadensáveis, considerando tanto os aspectos técnicos, quanto possíveis vantagens econômicas e ambientais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento das bolsas de iniciação científica concedidas pelo PIBIC/CNPq e PIBIC/FAPESB e o suporte financeiro ao projeto de pesquisa do CNPq (Processo n.457738/2015-6). Além disso, agradecem a Grace Brasil Ltda pela doação do aditivo químico utilizado nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

ABIROCHAS, **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. Disponível em: <[http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve\\_id=3894](http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3894)>. Acesso em 19 mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária - Método de ensaio. Rio de Janeiro 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2006b.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2003a.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 49:** Agregado fino – Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003b.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:** Agregados. Determinação da composição granulométrica, 2001.

ARAÚJO, T. R.; ANJOS, M. A. S.; MARTINELLI, A. E.; FARIAS, E. C.; SILVA, C. R. F.; GOMES, V. L. L. Efeitos da incorporação do fíler calcário e do resíduo da biomassa da cana-de-açúcar em argamassas autonivelantes. **XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 2015.

BASTOS, A. J. O. **Avaliação do uso de resíduo de serragem de pedra cariri (RSPC) para produção de concretos convencionais.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana.

BARROS, P.G.S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito.** 2008. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Alagoas.

BASTOS, R. S.; ULIANA, J. G.; CALMON, J. L.; TRISTÃO, F. A.; VIEIRA, G. L.; DEGEN M. K. Revisão bibliográfica dos estudos sobre a aplicação da lama do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de materiais de construção. **Anais 55º Congresso Brasileiro de Concreto**, 2013.

CASTRO, N. F.; CAMPOS, A. R.; VIDAL, F.W.H. Melhorias técnicas na lavra e na proteção do patrimônio e meio ambiente do Arranjo Produtivo Local de Calcários do Cariri – CE. **I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM**, 2007.

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.

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

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A. Reciclagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na construção civil. **III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, 2002.

HODGSON, T. **Laboratory and field investigations of self-consolidating concrete**. 2003. 91 f. MS Thesis – Departament of Civil Engineering, Aunurn University, Alabam, 2003.

MARTINS, E. J. **Procedimento para dosagem de pasta para argamassa auto-nivelante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, 2009.

MELO, K. A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de fíler calcário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

RIZWAN, S. A.; BIER, T.A. Blends of limestone powder and fly-ash enhance the responseof self-compacting mortars. **Construction and Building Materials**, v. 27, p.398-403, Fev. 2012.

TÜRKEL, S.; YIGIT, A. The effect of limestone powder, fly ash and silica fume onthe properties of self-compacting repair mortars. **Sadhana**, v. 34, part. 2, p.331–343, Abril 2009.

VIDAL, F.W.H.; PADILHA, M.W.M; A indústria extractiva da pedra cariri no estado do Ceará: problemas x soluções. **Livro IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, 16 a 19 denovembro de 2003, Fortaleza – Ceará – págs. 199 a 210.