

CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL COM CINZAS DE BAGAÇO DE CANA COMO FINOS: REOLOGIA DO CONCRETO FRESCO E COMPORTAMENTO NO ESTADO ENDURECIDO

SELF-COMPACTING CONCRETE WITH CANE BAGASSE ASHES AS FINE: RHEOLOGY BEHAVIOR OF FRESH CONCRETE AND IN THE HARDENED STATE

Marco Antônio de Moraes Alcantara¹, Bruno Vendramini dos Santos²

Recebido em 16 de agosto de 2012; recebido para revisão em 18 de agosto de 2012; aceito em 08 de setembro de 2012; disponível on-line em 25 de setembro de 2012.



PALAVRAS CHAVES:

Concreto auto-adensável;
Cinzas de bagaço de cana;
Concreto fresco;
Concreto endurecido.

KEYWORDS:

Self-compacting concrete;
Bagasse ash;
Fresh concrete;
Hardened concrete.

RESUMO: O artigo apresenta um estudo visando o aproveitamento de resíduos do agronegócio como finos no concreto auto adensável. O concreto auto-adensável é aquele que não necessita de vibração ao ser lançado, preenchendo este as formas pela ação da gravidade. Para isso ele deve ser relativamente fluido, sem que ocorram a exsudação ou a segregação, sendo o processo viabilizado por meio de uma grande quantidade de pasta no concreto, pelo uso de superplastificantes, e pela redução volumétrica dos agregados participando por metro cúbico de concreto. Utilizou-se de cinzas de bagaço de cana do tipo cristalinas, cimento do tipo CP-V, areia natural, seixo rolado, e superplastificante do tipo de ação estérica e eletrostática. Foram realizados os ensaios de validação para o concreto fresco para a verificação das condições de espalhamento e de fluidez, como o "slump-flow" e o ensaio da caixa em "L" para o escoamento confinado, e também, para se verificar as condições de segregação, se realizou o ensaio de peneiramento; foram avaliadas as propriedades mecânicas aos 7 e aos 28 dias de cura, em particular a resistência à compressão simples, a resistência à compressão diametral e o módulo de elasticidade. Foram ainda avaliadas a absorção d'água e a retração por secagem. Constatou-se que as cinzas atuaram de modo satisfatório como elementos de formação de pasta, e no controle da segregação Observou-se que a elevada finura das cinzas de bagaço de cana constitui-se em um aspecto muito importante para as dosagens, de modo a se viabilizar o concreto fresco, influenciando inclusive nas proporções que podem ser adotadas, as quais influenciam nos valores de resistência do material. Pelo possível melhor ajuste do esqueleto granular, e pelo efeito filer, com a incorporação das cinzas existem modificações sobre a ductilidade, proporcionando maior rigidez com o tempo. A absorção, e a retratibilidade são crescentes com o teor de água requerido e pelo teor de cinzas.

ABSTRACT: The article presents a study aimed at waste recovery agribusiness as self-compacting concrete in thin. The self-compacting concrete is one that requires no vibration to be released by completing this form by gravity. To this it must be relatively fluid, without the occurrence of segregation or exudation, the process being enabled by means of a large quantity of pulp in the concrete by use of superplasticisers, and the reduced volume of the aggregates participating per cubic meter of concrete. We used a cane bagasse ash-type crystal, cement type CP-V, natural sand, gravel, and superplasticizer type of steric and electrostatic action. Assays were performed to validate the fresh concrete to verify the conditions of spreading and fluidity, as the "slump flow" and testing of the box "L" for confined disposal, and also to check the conditions of segregation test was carried out the screening, the mechanical properties were assessed at 7 and 28 days of curing, in particular compressive strength, diametral compressive strength and tensile modulus. We also evaluated the water absorption and drying shrinkage. It was found that the ash worked satisfactorily as elements of pulping, and to control the segregation was observed that the fineness of the high ash bagasse in constitutes a very important aspect for the assay in order to to enable the fresh concrete, influencing even in such proportions as may be adopted, which exert influence values of resistance of the material. For the best possible adjustment of the granular skeleton, and the effect filer, with the incorporation of the ash is no change on the ductility, providing greater rigidity over time. The absorption and retractility are increasing with the amount of water required and the ash content.

* Contato com os autores:

^{1,2} e-mail : alcantara@dec.feis.unesp.br (M. A. M. Alcantara e B. V. dos Santos)

Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP.

ISSN: 2179-0612

© 2012 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

O concreto auto-adensável (CAA) é caracterizado pela ausência de vibração durante as fases de lançamento e de adensamento deste nas formas. Este deve se apresentar fluido, sem que se manifestem a segregação, a exsudação, ou casos bloqueios, em condições de peças fortemente armadas. Considerando o atendimento das propriedades no estado fresco parte do cimento é substituída por finos e, uma grande quantidade de finos também é adicionada para a formação de pasta, de modo a se reduzir o atrito entre os agregados graúdos; a quantidade destes deve apresentar porcentagem volumétrica menor do que para os casos de concretos convencionais, de modo a se evitar bloqueios; para se promover boas condições de fluidez do concreto, utiliza-se de superplastificantes. O superplastificante tem sempre por finalidade promover as boas condições de desfloculação do cimento BENTUR (2002), e, por consequência, de permitir o melhor contato da água com as partículas de cimento.

Em estudos de otimização as proporções entre os constituintes devem estar em compatibilidade, de modo a que não se tenham lugar os fenômenos de exsudação ou de segregação, normalmente causados tanto pelo excesso de água adicionada como pelo excesso de superplastificante além do teor crítico recomendado, visto que o superplastificante contribui para a diminuição da viscosidade do concreto LI *et al.* (2001). Os finos adicionados ao concreto também são importantes para que se alcancem as condições reológicas do concreto fresco. Segundo BENTUR (2002) as partículas podem ter efeito sobre as condições de fluidez, tanto pela ação lubrificante, como pela ação de superfície, absorvendo, então, parte da água de amassamento, e reprimindo o escoamento.

Um aspecto sobre o concreto auto-adensável é o fato possível deste apresentar comportamento peculiar em razão de sua elevada porcentagem de pasta, e de seu baixo volume de agregados graúdos com relação ao volume total do concreto, comparativamente aos casos dos concretos convencionais. De modo geral, a retratibilidade do concreto pela hidratação e secagem, o módulo de elasticidade, e os níveis de fluência alcançados pelo concreto endurecido são discutidos em ALCANTARA (2004) e considerados dentro da mesma faixa de tolerância que para os concretos convencionais, sobretudo, com melhorias do ponto de vista da durabilidade esperada.

Quanto aos efeitos dos finos no concreto endurecido, é sabido que estes podem apresentar ação pozolânica, de modo a atuarem como ligantes, ou podem atuar pelo efeito filer, contribuindo para a

melhora da estrutura final (BARBOSA, 2006). Do exposto compreende-se que o desempenho do CAA como concreto fresco ou como concreto endurecido pode depender de fatores conjuntos dos materiais, especialmente quando considerado o tipo de materiais utilizados. Em particular, pode-se considerar a atuação como finos. Como tipos de finos tradicionalmente utilizados, existe, por exemplo, o filer calcáreo, o metacaulim e a microssílica.

Pode-se lançar ao estudo de materiais alternativos como finos para a fabricação do concreto auto-adensável. Como exemplo, LISBOA (2004) apresenta um estudo sobre o desempenho de resíduos do beneficiamento do mármore e do granito, tendo em vista as suas utilizações no concreto auto-adensável. Outros tipos de resíduos têm sido avaliados, e considerados com desempenho favorável para serem utilizados no concreto auto-adensável, como o pó de pedra, subproduto da britagem, e a cinza de casca de arroz. ALCANTARA e WATANABE (2008) apresentam um estudo comparando o desempenho do pó de pedra com o da cinza de casca de arroz, sobretudo em termos das propriedades do concreto fresco, sendo os dois tipos de resíduos satisfatórios para que se atendam as propriedades requeridas para o concreto fresco, sendo necessário, para o caso do uso de cinzas de casca de arroz, um valor menor quanto à relação finos/cimento. Já ALCANTARA e LIMA (2009), apresentam estudo sobre o uso de pó de pedra e de cinzas de casca de arroz, e os resultados de ensaios mecânicos para as idades de 28, 60, 90 e 120 dias de cura, atestando o bom desempenho para ambos os casos. As cinzas de casca de arroz deram indicativos de melhor reatividade.

Dentro do mesmo contexto das cinzas de casca de arroz se situam outros resíduos, como é o caso das cinzas de bagaço de cana (CBC). No Brasil, alguns dos trabalhos sobre a cinza do bagaço de cana-de-açúcar foram desenvolvidos por BORLINI *et al.* (2006); CALDAS *et al.* (2000), CORDEIRO (2006), FREITAS (2005), PAULA (2006), SANTOS e FORMAGINI (2008). Com vistas ao aproveitamento deste resíduo, a CBC foi experimentada na construção civil, sendo adicionada tanto juntamente com o cimento Portland, como em substituição ao agregado miúdo para a confecção de pastas, argamassas, e concretos, cumprindo funções diferentes. As cinzas de bagaço de cana podem ter efeito pozolânico, ou elas podem atuar pelo efeito filer, conduzindo à melhores valores de resistência em concretos e argamassas, assim como contribuir para a produção de concretos e argamassas menos permeáveis, conforme atesta o trabalho de MACEDO (2009). Tendo em vistas as potencialidades de uso das

cinzas de bagaço de cana, já conhecidas para melhorar as propriedades do concreto endurecido, e a sua caracterização física como fíler, foi então definido como objetivos deste trabalho, um estudo para a avaliação do seu desempenho como finos quando utilizados na produção do concreto auto-adensável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo foi utilizado cimento Portland do tipo CP-V, como agregado graúdo o seixo rolado, e como agregado miúdo a areia natural sedimentar. Como agregado fino foi utilizado cinzas de bagaço de cana com queima sem controle da temperatura, conforme os processos correntes de aproveitamento destas para a

produção de energia, procedentes de uma usina sucroalcooleira da região de General Salgado-SP. Como superplastificante, utilizou-se um composto de ação estérica e eletrostática.

Foram preparados concretos e argamassas de modo a serem utilizados nos ensaios de validação do concreto fresco, na preparação de corpos de prova com posterior cura e avaliação de resistência mecânica, e na avaliação das propriedades de absorção e de retratibilidade das argamassas.

O Quadro 1 e a Figura 1 apresentam informações sobre a caracterização e a curva granulométrica do agregado miúdo utilizado na pesquisa. O Quadro 2 e a Figura 2 apresentam as mesmas informações sobre o agregado graúdo utilizado.

Diâmetro Máximo	Módulo de finura	Massa específica	Massa unitária	Absorção	Material pulverulento	Matéria orgânica
(mm)		(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(%)	Aspecto
2,36	1,91	2,66	1,531	0,47	0,43	+clara

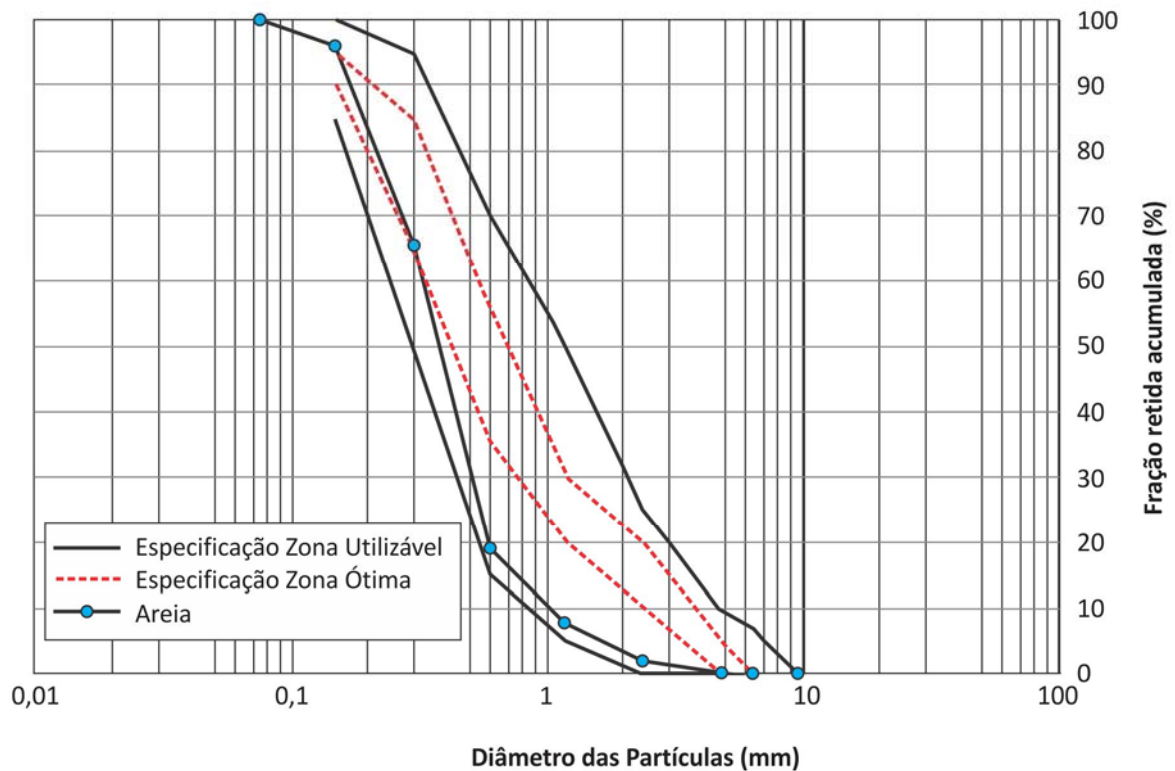


Figura 1: Curvas granulométricas do agregado miúdo utilizado na experiência.

Quadro 2: Caracterização do agregado graúdo utilizado na experiência					
Diâmetro Máximo	Módulo de finura	Massa específica	Massa unitária	Absorção	Material pulverulento
(mm)		(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(%)
12,5	5,86	2,65	1,671	0,28	0,13

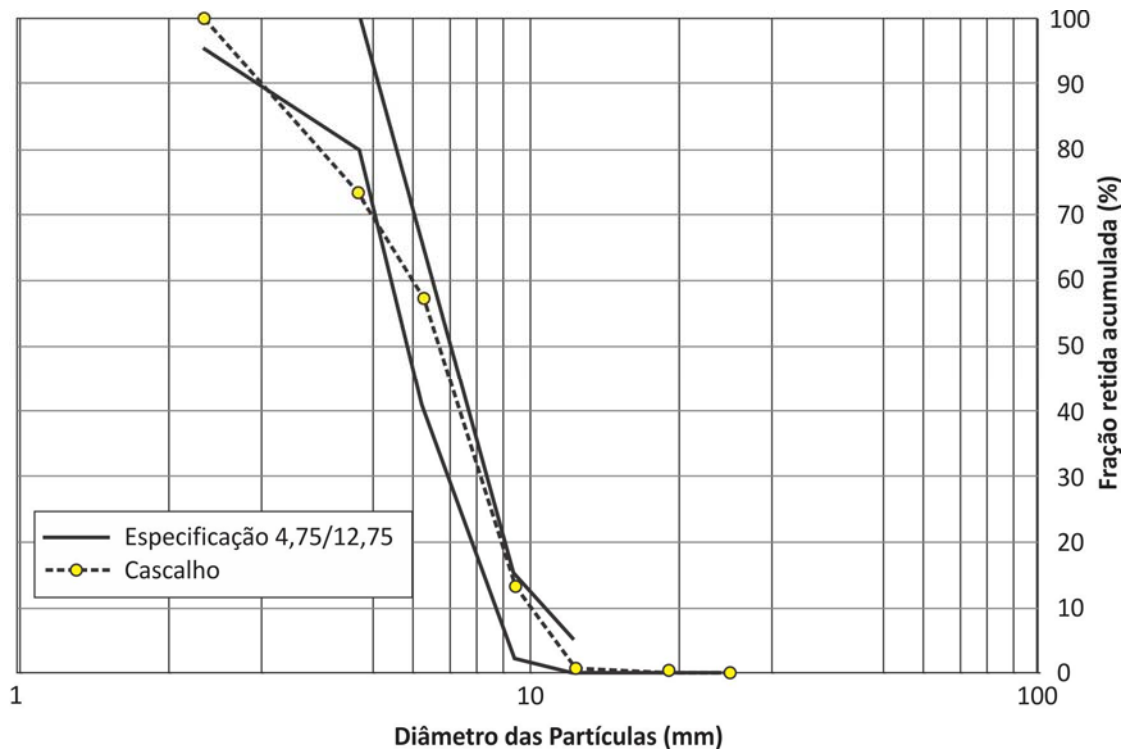


Figura 2: Curvas granulométricas do agregado graúdo utilizado na experiência.

As Figuras 3 e 4 apresentam o aspecto da cinza de bagaço de cana utilizada na pesquisa. São apresentadas as cinzas no estado quando aglomeradas, e peneiradas.

O Quadro 3 apresenta a caracterização física e química das cinzas utilizadas no experimento.



Figura 3: Aspecto das cinzas aglomerada utilizadas no experimento.



Figura 4: Aspecto das cinzas peneirada utilizadas no experimento.

Quadro 3: Características da cinza de bagaço de cana		
Amostra		CBC Cristalina
Superfície específica (g/cm ³)		5,624
Densidade aparente (g/cm ³)		0,41
Densidade absoluta (g/cm ³)		2,4
Diâmetro médio das partículas (micras)		4,75
Índice de atividade pozolânica	Água requerida (%)	100,2
	com cimento (%)	75,8
	com cal (%)	1,9
Umidade da amostra (%)		1,43
Análise Química	Perda ao fogo	5,73
	SiO ₂	88,55
	Fe ₂ O ₃	0,68
	Al ₂ O ₃	1,96
	CaO	1,19
	MgO	0,78
	SO ₃	0,65
	Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	2,64
	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	91,19
	NaO ₂	0,16
	K ₂ O	0,29

O procedimento adotado inicialmente foi a preparação de uma composição preliminar para a validação das propriedades no estado fresco, e posterior ajuste da composição. Para fins de validação de composição nesta fase, também, se atentou para os valores de resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias de idade. As variáveis de estudo foram dadas pelas relações superplastificante/cimento, fíler/cimento, e água/cimento; estas foram alvos de análise, de modo a serem compatíveis com a condição de trabalhabilidade requerida para os concretos auto-adensáveis, e ao valor da resistência mecânica. As relações agregado miúdo/agregado graúdo se mantiveram constantes. Este procedimento também foi adotado conforme Alcantara e Lima (2009), visto que, estes parâmetros podem exercer influência sobre as condições de viscosidade e de fluidificação do concreto. Dado ao fato de que os resultados da primeira composição se apresentaram desfavoráveis no sentido de se validar as propriedades no estado fresco, foi decidido, então, por explorar as possibilidades de se diminuir os valores da

relação água/cimento, e de incrementar a relação fíler/cimento. Neste sentido, surgiram as composições denominadas por 2, 3, 4 e 5; cujas relações entre os constituintes se encontram no Quadro 4.

Uma vez realizada esta primeira fase de estudo exploratório, deu-se prosseguimento a novas experimentações, adotando-se as mesmas composições dentro de uma segunda fase de estudos para se avaliar a influência dos parâmetros de composição na variação da ductilidade para o concreto endurecido, na absorção, no potencial de retração das argamassas destes concretos.

Como ensaio para a avaliação das condições do escoamento livre foi realizado, segundo as prescrições de AFGC (2000), o ensaio de espalhamento "slump flow". Verificou-se os diâmetros de espalhamento do cone, e a diferença entre eles, conforme duas direções perpendiculares. Foi tomado, também em consideração, a forma da superfície devido ao espalhamento do concreto, a homogeneidade, e a presença de possíveis franjas de exsudação. O diâmetro mínimo para o escoamento do concreto era de 60 cm. Como escoamento confinado foi realizado o ensaio da caixa em "L", também, conforme orientado em AFGC (2000).

Quadro 4: Relação entre os constituintes das composições utilizadas no experimento

Traço	Relação entre os constituintes						
	a/c	a/(c+filer)	sup/cim	filer/cim	ag.miúdo/ag.graúdo	vol. agreg total/ vol. concreto	vol. agreg graúdo/ vol. concreto
1	1,06	0,78	0,013	0,35	0,9	0,551	0,289
2	0,84	0,62	0,01	0,35	0,9	0,589	0,310
3	1,06	0,71	0,013	0,5	0,9	0,540	0,284
4	1	0,71	0,01	0,4	0,9	0,542	0,285
5	1,07	0,74	0,012	0,45	0,9	0,535	0,281

O concreto era vertido, de modo a fluir da parte superior, vertical, de uma caixa em formato de “L”, para a parte inferior (horizontal). Na parte inferior do trecho vertical existe uma abertura com ferragens, dispostas verticalmente, perpendicularmente com relação à direção do escoamento. O concreto deveria passar pela abertura com ferragens, sem sofrer bloqueios. No final, foi analisado o preenchimento do concreto na caixa, onde, a relação entre as alturas do concreto, medidas depois da passagem, no trecho horizontal, com relação à altura do concreto no trecho vertical, não deveria ser inferior que 0,8.

O ensaio de segregação foi realizado conforme o ensaio de peneiramento, em face à simplicidade deste ensaio. Este ensaio foi realizado de acordo com o que é apresentado em AFGC (2000). Em suma, deve se verificar a quantidade de material que passa pela peneira de abertura de 5 mm, quando é lançado o concreto de uma altura aproximada de 50 cm. A amostra utilizada deve ter estado em repouso por aproximadamente 15 minutos após a sua retirada da betoneira, e deve pesar aproximadamente 5 +/- 0,2 kg. O valor do potencial para segregação é por meio da Equação 1.

$$\pi(\%) = \frac{M_p}{M_t} \cdot 100 \quad [\text{Eq.1}]$$

Este é o potencial para a segregação, associado a cada composição particular. Uma vez vertido o material na peneira, o tempo de espera para a passagem do material é de 2 minutos. Se o valor de $\pi(\%)$ estiver limitado em até 15%, o concreto é considerado estável, e, entre o intervalo situado entre 15 e 30%, o concreto é considerado como de ‘estabilidade crítica’, e, finalmente, se o valor de $\pi(\%)$ exceder a 30% o concreto é considerado como “instável”, segundo os critérios adotados para o método.

Para se avaliar a constância das características das composições adotadas, e da homogeneidade do concreto fresco, foi avaliada a massa específica aparente. Por fim, para avaliar o valor da resistência mecânica alcançada pelas dosagens foram realizados os ensaios de resistência à compressão simples e de ensaio de resistência à compressão diametral, para as idades de 7 e 28 dias de cura.

Os ensaios de absorção de água foram todos executados sob as prescrições da NBR 9778/2005 Versão Corrigida 2/2009 da ABNT, os de compressão simples e diametral segundo a NBR 5739/2007 e NBR 7222/2011 da ABNT, respectivamente; os de módulo de elasticidade segundo a NBR 8522/2008 da ABNT, e os de retratibilidade segundo a NBR 8490/1984. Após a realização das misturas, as mesmas foram moldadas em corpos-de-prova de PVC com 15x30 cm, e após 7 e 28 dias de cura

em câmara úmida foram submetidas aos ensaios de compressão simples ou de compressão diametral. Na idade de 28 dias foram realizados os ensaios de absorção de água dos corpos-de-prova.

A Figura 5 ilustra algumas das etapas realizadas

no ensaio de retração das barras de argamassa, entre elas, a de preparação das argamassas (a); a moldagem das barras e fixação dos delimitadores de aferição (b); a imersão das barras em água potável saturada de cal (c); e o aparelho comparador de comprimento (d).



Figura 5: Etapas do ensaio de retração.

3. RESULTADOS

Os Quadros 5 a 8 apresentam os resultados obtidos no estudo exploratório, envolvendo a validação do concreto fresco e o desempenho mecânico

encontrado nesta fase; e os Quadros 9 a 15 apresentam os resultados referentes ao estudo das propriedades no concreto endurecido, em função dos diversos traços. Os Quadros 5 a 7 apresentam os resultados dos ensaios do concreto no estado fresco.

Quadro 5: Resultados dos ensaios de validação para o concreto fresco, ensaio de espalhamento.

Ensaio de espalhamento						
Composição	Ensaio		Média (cm)	Exigências		
	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)		D ₁ , D ₂ (cm)	D ₁ , D ₂ (cm)	D ₁ -D ₂ (cm)
1	75	73	74	>60	<70	<5
2	68	65	66,5			
3	61	60	60,5			
4	62	61	61,5			
5	65	64	64,5			

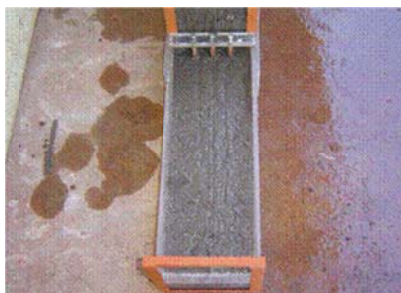
Quadro 6: Resultados dos ensaios de validação para o concreto fresco, ensaio de segregação e massa específica aparente

Composição	Valor de pi (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)
1	18	2,19
2	4,5	2,01
3	2	2,12
4	5,2	2,09
5	14,2	2,05

Quadro 7: Resultados dos ensaios de validação para o concreto fresco, ensaio da caixa em “L”

Ensaio da caixa em “L”*					
Composição	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₁ /H ₂	T ₂₀ (s)	T ₄₀ (s)
2	10	9	0,9	1	2
3	11	9	0,82	1	2
4	8,5	7,5	0,88	1	2
5	7,5	7,5	1	1	1,5

A Figura 6 ilustra os aspectos da superfície do concreto após o escoamento no ensaio “Slump-flow”, e a Figura 7, o ensaio da caixa em “L”; a Figura 8 mostra imagem de uma das fases da realização do ensaio peneiramento: após verter concreto sobre a “peneira+fundo” e, a Figura 9, do fundo sob a peneira com o resíduo de segregação que passou na peneira.

**Figura 6:** Superfície de espalhamento após o ensaio “slump-flow”.**Figura 7:** Ensaio da caixa em “L”.**Figura 8:** Fase do ensaio de peneiramento: material total vertido.**Figura 9:** Fase do ensaio de peneiramento: material retido no fundo.

Os resultados ensaios de resistência mecânica aos 7 e 28 dias, para a primeira fase de estudo, se encontram apresentados no Quadro 8, a seguir.

Quadro 8: Resultados dos ensaios mecânicos à 7 e a 28 dias.

Composição	Idade de cura (dias)	Resistência à compressão simples (MPa)		Resistência à compressão diametral* (MPa)		Resistência à compressão diametral/ Resistência à compressão simples (MPa)
		Valor médio	Desvio padrão	Valor médio	Desvio padrão	
1	7	16,3	0,12	-	-	-
	28	18,2	0,11	-	-	-
2	7	12,0	0,86	2,0	0,1	0,17
	28	13,9	0,63	2,1	0,4	0,15
3	7	10,07	0,5	1,8	0	0,17
	28	12,30	0,57	1,9	0,1	0,15
4	7	9,1	0,3	1,7	0,3	0,19
	28	10,5	0,61	1,9	0,1	0,18
5	7	7,7	0,4	1,4	0,02	0,18
	28	11,0	0,6	1,7	0,01	0,16

* Não foi realizado para a composição 1

Os Quadros 9 a 13, a seguir, contém os resultados provenientes dos ensaios mecânicos realizados na segunda etapa do projeto:

os ensaios de resistência mecânica por compressão axial, tração por compressão diametral e do módulo de elasticidade.

Quadro 9: Resultados do desempenho mecânico na segunda fase do estudo para o traço 1.

Ensaio de compressão							
CP	Idade	fc MPa	Valor médio	Desvio	M.E (GPa)	Valor médio	Desvio
1	7 dias	6,77	6,402	0,392	19,521	16,54	4,22
2		6,44					
3		5,99					
1	28 dias	8,16	8,057	0,165	16,723	16,338	0,544
2		8,14					
3		7,87					
Ensaio de compressão diametral							
CP	Idade	ft MPa	Valor médio	Desvio			
1	7 dias	0,80	0,81	0,014			
2		0,82					
1	28 dias	1,15	1,23	0,106			
2		1,30					

Quadro 10: Resultados do desempenho mecânico na segunda fase do estudo para o traço 2.

Ensaio de compressão							
CP	Idade	fc Mpa	Valor médio	Desvio	M.E (GPa)	Valor médio	Desvio
1	7 dias	6,67	6,662	0,269		13,3175	0,110
2		6,68			13,397		
3		6,36			13,238		
1	28 dias	10,47	10,38	0,096		14,064	0,497
2		10,28			13,712		
3		10,40			14,416		
Ensaio de compressão diametral							
CP	Idade	ft Mpa	Valor médio	Desvio			
1	7 dias	1,10	1,13	0,036			
2		1,15					
1	28 dias	1,29	1,39	0,148			
2		1,50					

Quadro 11: Resultados do desempenho mecânico na segunda fase do estudo para o traço 3.

Ensaio de compressão							
CP	Idade	fc MPa	Valor médio	Desvio	M.E (GPa)	Valor médio	Desvio
1	7 dias	7,8	7,108	0,6016		13,5915	1,372
2		6,69			11,562		
3		6,84			12,621		
1	28 dias	11,63	11,83	0,3308		14,822	1,388
2		11,21			15,804		
3		11,63			13,84		
Ensaio de compressão diametral							
CP	Idade	ft MPa	Valor médio	Desvio			
1	7 dias	1,38	1,33	0,078			
2		1,27					
1	28 dias	1,60	1,67	0,10			
2		1,74					

Quadro 12: Resultados do desempenho mecânico na segunda fase do estudo para o traço 4.

Ensaio de compressão							
CP	Idade	fc MPa	Valor médio	Desvio	M.E (GPa)	Valor médio	Desvio
1	7 dias	7,54	7,473	0,082		18,0855	1,414
2		7,50			17,085		
3		7,38			19,086		
1	28 dias	11,84	11,43	0,373		14,864	0,739
2		11,34			14,341		
3		11,11			14,387		
Ensaio de compressão diametral							
CP	Idade	ft MPa	Valor médio	Desvio			
1	7 dias	1,24	1,22	0,03			
2		1,22					
1	28 dias	1,4	1,4	-			
2		-					

Quadro 13: Resultados do desempenho mecânico na segunda fase do estudo para o traço 5

Ensaio de compressão							
CP	Idade	fc MPa	Valor médio	Desvio	M.E (GPa)	Valor médio	Desvio
1	7 dias	6,86	6,755	0,1139		12,335	0,612
2		6,65			11,902		
3		6,74			12,768		
1	28 dias	11,69	10,59	1,303		11,9023	1,110
2		9,15			11,117		
3		10,94			12,688		
Ensaio de compressão diametral							
CP	Idade	ft MPa	Valor médio	Desvio			
1	7 dias	1	1	0			
2		1					
1	28 dias	1,31	1,31	-			
2		-					

São apresentados no Quadro 14 os resultados provenientes do ensaio de retração por secagem das argamassas estudadas no projeto, na segunda fase,

e no Quadro 15 são apresentados resultados dos ensaios de absorção.

Quadro 14: Retração média dos corpos-de-prova.

Traço	Retração por secagem-valor médio (%)	Desvio padrão
1	-0,148	0,039
2	-0,137	0,061
3	-0,172	0,097
4	-0,155	0,001
5	-0,151	0,044

Quadro 15: Resultados para os ensaios de absorção.

Traço	CP	W(%)	Valor médio	Desvio
1	1	10,6	10,33	0,55
	2	9,5		
	3	10,0		
2	1	8,8	8,76	0,06
	2	8,7		
	3	8,8		
3	1	11,35	11,35	0,05
	2	11,4		
	3	11,3		
4	1	10,6	10,93	0,35
	2	10,9		
	3	11,3		
5	1	10,23	10,23	0,12
	2	10,3		
	3	10,1		

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

De modo geral, conforme o estudo exploratório de validação inicial, as composições 2, 3, 4 e 5 atenderam às exigências dos ensaios do concreto fresco. Do ensaio de espalhamento do cone todas as misturas tiveram homogeneidade satisfatória, com a formação de pequenas ou insignificantes franjas de exsudação circunscrevendo a superfície. Foi verificado o atendimento aos índices de validação para o concreto fresco com base nos ensaios de espalhamento e de segregação por peneiramento. Para os ensaios da caixa “L”, os resultados estão dentro das faixas de valores de ocorrência para os casos de concretos auto-adensáveis, atendendo a razão H_1/H_2 entre 0,8 e 1, conforme AFGC (2000), e os tempos T_{20} e T_{40} menores que 1 e 2 segundos, respectivamente, conforme GOMES (2002).

Uma observação relevante é a comparação entre as composições 1 e 3. Embora a composição 3 esteja dentre as que possuem maior proporção água/cimento, ela apresenta ainda um ligeiro desconfinamento no esqueleto granular, fatores como o maior valor da relação filer/cimento a levaram ao menor índice de segregação e aos menores diâmetros de espalhamento do conjunto. Assumindo-se as afirmações dadas por COSTA (2007), de que o crescimento de finos na matriz do concreto controla a viscosidade e pode dificultar o fluxo do concreto, o seu alto consumo mantém a estabilidade e dificulta segregação da mistura; a cinza de bagaço de cana teve um papel relevante como filer verificado na reologia do concreto fresco, pois mesmo com a adoção dos valores mais elevados da relação água/cimento, a mesma foi eficaz sob o aspecto de combate à segregação, e de exercer a influência com o efeito de redução da fluidez.

Do outro lado, para a composição 1, de modo simplista, enquanto este possui praticamente a mesma quantidade de água de amassamento que para a composição 3, o efeito da redução de sua relação filer/cimento ficou evidente com os acréscimos nos valores de 800% no ensaio de segregação, e de 20,3% no ensaio de espalhamento, ambos em relação aos valores encontrados para a composição 3. As propriedades avaliadas no estado fresco estão sujeitas a influência de fatores diferentes. O espalhamento depende dos fatores de mobilidade, dados por fatores de inércia e de atrito da parte dos agregados graúdos, e de superfície específica, formação de pasta e coesão, pelos finos; e a segregação depende das propriedades viscosas e de esqueleto granular. O ensaio de espalhamento é realizado logo após a mistura, enquanto que o de segregação é realizado após o repouso de 15 minutos,

sujeito, então, à haver a acentuação das propriedades viscosas, decorrente de efeitos de tixotropia. Então, é coerente que a composição 3 apresente os valores mais baixos alcançados nos ensaios de espalhamento e de segregação, enquanto que a composição 1 apresente os valores mais altos.

A Figura 10 procura correlacionar os valores dos diâmetros de espalhamento do ensaio “slump-flow” com os valores dos índices de segregação. Observa-se um indicativo à tendência de correlação entre os dois tipos de variáveis. As composições 3, 4 e 5 com os maiores teores de filer e com valores próximos da relação agregado/cimento tendem a se situar segundo uma reta. Os parâmetros estimados para esta reta estão apresentados no gráfico. As composições 2 e 1 aparentam pertencer à famílias diferentes. As peculiaridades da composição 1 já foram discutidas nos parágrafos anteriores. O comportamento da composição 2 se apresenta de modo atípico com relação ao das composições 3, 4 e 5, porém, cabe considerar que esta é a que apresenta as menores relações água/cimento e água/(cimento+filer), de modo a se acentuar as suas propriedades viscosas, e tende a concentrar-se na região com os valores menores de segregação. Embora apresente também a maior relação “volume agregado/volume de concreto” as suas condições de fluidez não foram prejudicadas com relação às composições 3, 4 e 5.

Quando comparado o comportamento da composição 4 com o da composição 5, se observa algumas peculiaridades. A composição 5 tende a ocupar a região onde se encontram os maiores valores de índice de segregação, assim como de maiores diâmetros de espalhamento, porém, ela apresenta como relação filer/cimento 0,45, maior do que o valor desta relação para a composição 4. A inversão se deve, possivelmente, ao fato dela apresentar valores mais elevados nas relações água/cimento e água/(cimento+filer), e, também, a menor porcentagem volumétrica de agregados totais e graúdos, de modo a se poder contribuir para a melhoria da fluidez, e de favorecer as condições de mobilidade pela diminuição do efeito de atrito e de inércia dos agregados. Considerou-se ainda relevante correlacionar os valores dos ensaios de escoamento confinado, através da caixa em “L”, com os valores de segregação, ilustrados na Figura 11. Neste caso, não aparece a composição 1. Pode-se observar por meio da figura que os valores tendem a apresentar correlação, visto que os dois tem relação com as condições de fluidez.

Os pontos referentes às composições 3, 4 e 5 continuam segundo a mesma ordem e quase alinhados.

Alguns valores merecem ser chamados a atenção, como é o caso da composição 5 que, juntamente com a boa condição de fluidez, apresenta a menor relação volumétrica de agregados totais e grãos, contribuindo para menores chances de choques intergranulares, que normalmente interferem neste tipo de escoamento. Por outro lado, a composição 2 apresentou um nível de

escoamento favorável no caso da caixa em “L”; embora apresentasse a maior porcentagem volumétrica de agregados totais e grãos, possivelmente em decorrência de sua aparente boa condição de viscosidade, demonstrada no ensaio de segregação, e que minimizou os choques intergranulares.

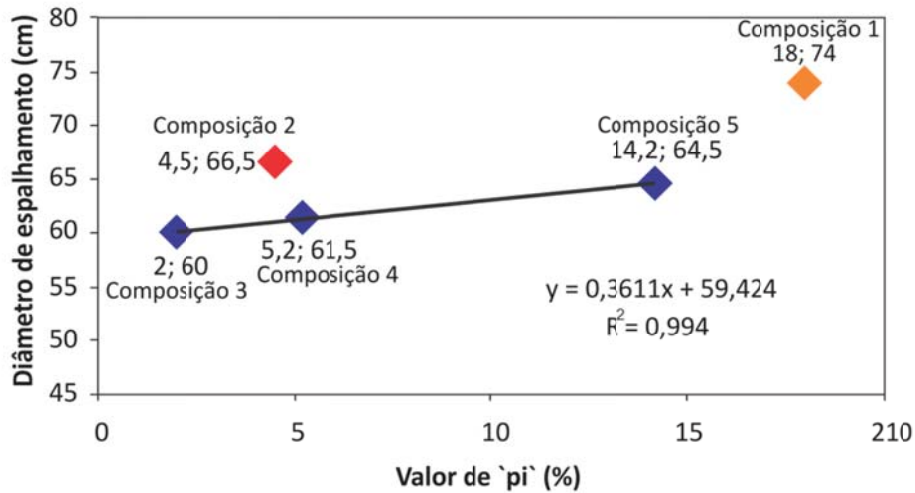


Figura 10: Comparação entre os valores dos ensaios de espalhamento e os de segregação.

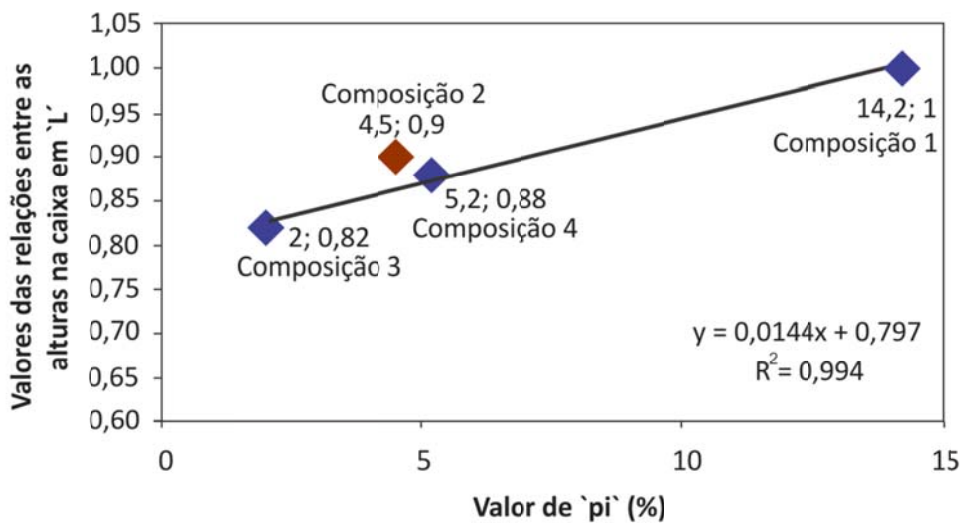


Figura 11: Comparação entre os valores dos ensaios da caixa em “L” e os de segregação.

A Figura 12, por sua vez, procura apresentar possível correlação entre os escoamentos livres, através do ensaio de espalhamento “Slump-flow”, e o confinado, através do ensaio realizado com a caixa em “L”. Da mesma maneira, pode-se observar um indicativo deste tipo de correlação, principalmente para as composições 3, 4 e 5, estando, a composição 2, com outro comportamento, diferente da tendência de crescimento entre os valores de espalhamento livre com os da caixa em “L”, apresentados pelas demais composições.

Novamente se observa que a composição 2 apresenta maior porcentagem de agregados totais e grãos em composição, fato que, aparentemente, para o caso do escoamento livre não afetou tanto as condições de mobilidade como no caso do escoamento confinado, devido a fatores como o dos choques intergranulares. A composição 3, que apresenta os valores mais baixos de escoamento livre e confinado, em coerência com a sua maior acentuação das propriedades viscosas ocupa a posição inicial da reta.

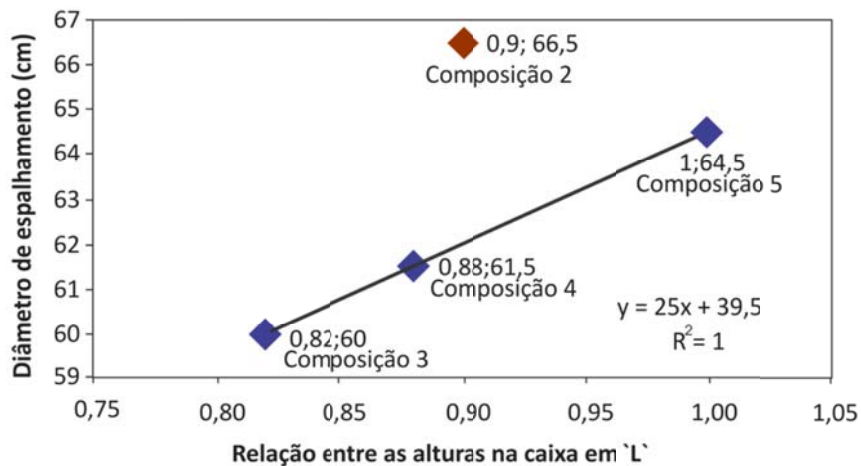


Figura 12: Comparação entre os valores dos ensaios de espalhamento e os da caixa em "L"

Quando comparados os resultados dos ensaios mecânicos das composições estudadas com os apresentados por Alcantara e Lima (2009), que utilizou a cinza de casca de arroz e o pó de pedra como finos na produção de CAA, observa-se que, no caso das cinzas de bagaço de cana estas apresentaram comportamento mecânico significativamente inferior. Da ordem de 10 a 18 MPa para a CBC, e para a casca de arroz 35 MPa. Uma possível explicação para esta diferença está no valor elevado da relação água/cimento, quando no uso das cinzas de bagaço de cana. Enquanto este é da ordem de 0,62 para os casos das cinzas de casca de arroz, ele varia para valores em torno de 0,84 a 1,07 para os casos de cinzas de bagaço de cana. A elevada finura das cinzas de bagaço de cana, em comparação com a finura das cinzas de casca de arroz, induz à utilização de quantidades mais elevadas de água, contribuindo para a elevação da relação água/cimento, ao desconfinamento da composição, e a diminuição da densidade, contribuindo para a menor capacidade portante. Um fato curioso do estudo exploratório é o da composição 1 exibir os maiores valores para resistência mecânica à compressão simples, visto que ela apresenta valores elevados nas relações água/cimento e água/(cimento+fíler). Possivelmente, a isto se pode associar o fato de que ela apresentou a maior densidade. Lamentavelmente, não se avaliou o ar incorporado nas misturas, o que, poderia contribuir para a justificativa dos valores de densidade alcançados.

De modo a se compreender a importância do nível de segregação para os concretos, foram observados os aspectos das seções dos corpos de prova rompidos diametralmente. A Figura 13 procura ilustrar seções de corpos de prova rompidos para o caso da composição 1, e a Figura 14 da composição 3. Observa-se para o caso da composição 1 a presença de uma diferenciação no topo, pela descida de agregados graúdos em decorrência de sua menor viscosidade; já para a composição 3, a seção aparenta estar mais homogênea.



Figura 13: Aspectos das seções dos corpos de prova rompidos no ensaio de compressão diametral para os casos da composição 1.



Figura 14: Aspectos das seções dos corpos de prova rompidos no ensaio de compressão diametral para os casos da composição 3.

Tendo em vista as peculiaridades da influência das cinzas no concreto auto-adensável endurecido, preocupou-se então com os parâmetros de dosagem e os resultados mecânicos. A partir dos resultados mecânicos obtidos na segunda fase da pesquisa, a Figura 15 procura apresentar a correlação entre os valores da resistência à compressão simples

com os valores da relação água-cimento, para as idades de cura de 7 e 28 dias de cura; por outro lado, a Figura 16 procura apresentar o mesmo tipo correlação considerando os valores da relação $a/(cim+finos)$. Nota-se por estas figuras que, aparentemente, o valor da resistência à compressão simples tende a manter coeficiente de correlações mais fortes com a relação água/(cim+finos), confirmando, como já apresentado, a

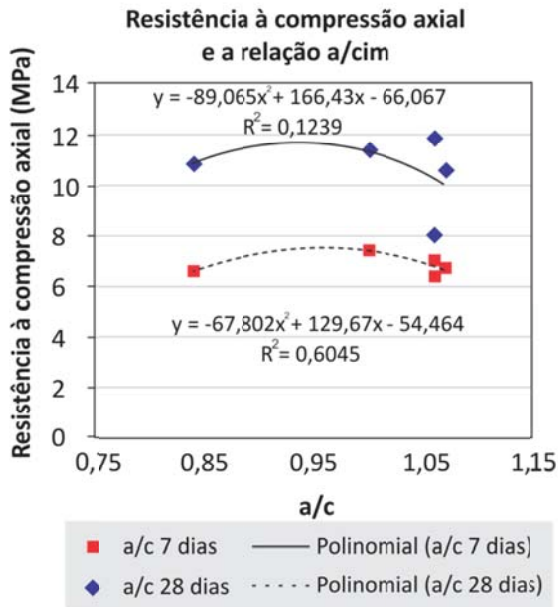


Figura 15: Influência da relação água-cimento no valor da resistência mecânica.

Conforme a análise da Figura 16, aparentemente, o valor da resistência mecânica é favorecido inicialmente com o aumento do valor da relação água/(cimento+finos) por razões de melhorias das condições de trabalhabilidade, pela desfloculação dos finos, coerente com a elevada finura da CBC. Posteriormente, com o acréscimo de água que permite a desfloculação das cinzas, e a sua absorção e formação de pasta, o valor da resistência mecânica vem a apresentar decréscimos com o aumento da água-cimento+finos, de maneira similar aos casos de concretos e argamassas pela sua influência na relação água-cimento e pelo enfraquecimento da pasta.

Por outro lado, quanto à influência do teor de cinzas na evolução do valor da resistência mecânica tem-se que o teor de cinzas pode influenciar no crescimento desta resistência, sendo mais relevante quando a idade de cura varia de 7 para 28 dias; verifica-se que, existe a tendência de haver acréscimos maiores no valor da relação entre resistências, considerando-se 28 dias e

grande influência do teor de cinzas na trabalhabilidade, de modo a se requerer quantidades maiores de água para a desfloculação destas e, também atender a absorção devida à sua superfície específica; então, um efeito combinado pode haver, de modo que a quantidade de água possa ter influências tanto na cimentação como na trabalhabilidade e estruturação do material.

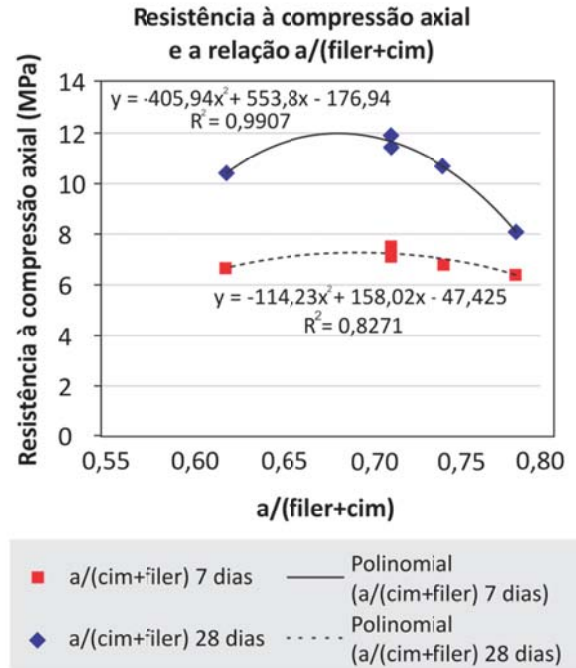


Figura 16: Influência da relação água-(cimento+finos) no valor da resistência mecânica.

7 dias, em função do aumento da relação fíler/cimento, conforme indica a Figura 17. Isto está em acordo com a influência das cinzas na melhoria da resistência mecânica em decorrência do efeito fíler, conforme atesta Macedo (2009), para o uso de cinzas de bagaço de cana em argamassas.

A Figura 17, ora apresentada ilustrando a variação do valor da resistência com a idade de cura, não considerava, todavia, a magnitude dos valores envolvidos nas resistências, para os traços estudados. Porém, se considera relevante que, com relação ao aumento do valor da resistência mecânica um aspecto importante pode estar relacionado com a magnitude desta, e possivelmente em decorrência do efeito fíler: é o fato de que material tende a se tornar mais frágil com a evolução da resistência, conforme Barbosa (2006), sendo que, nestas condições, o valor da relação entre a resistência à compressão diametral com o da resistência à compressão axial tende a diminuir. Neste sentido, a Figura 18 procura ilustrar esta variação.

Pode-se observar, pela Figura 18 que, para os diversos traços, a relação entre o valor da resistência à compressão diametral e o valor da resistência à compressão axial tende a diminuir, e se associam diferentes variações nas relações percentuais sobre os valores da resistência à compressão diametral com relação ao valor da resistência à compressão axial, quando se considera os períodos de cura 7 e 28 dias de cura. Para o traço 1 nota-se que este se apresenta de modo atípico, mas porém, para os demais casos, verificou-se, em conformidade com Barbosa (2006), há um indicativo da tendência de que a variação ocorre preferencialmente com relação ao crescimento do valor percentual do aumento da resistência à compressão simples axial, ou seja, do aumento do nível de resistência

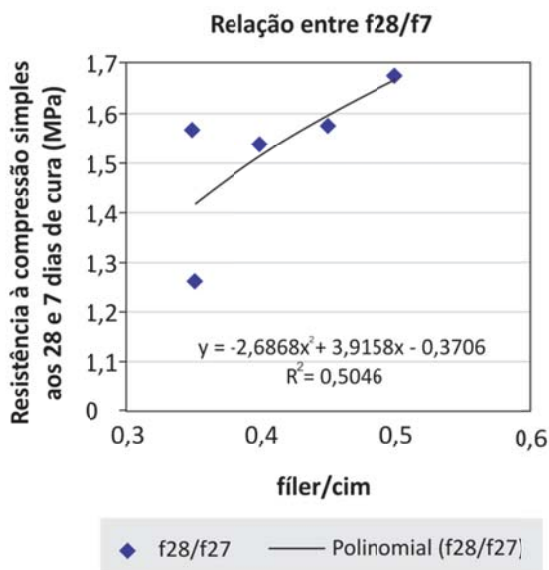


Figura 17: Influência da relação fíler-cimento na evolução do valor da resistência mecânica.

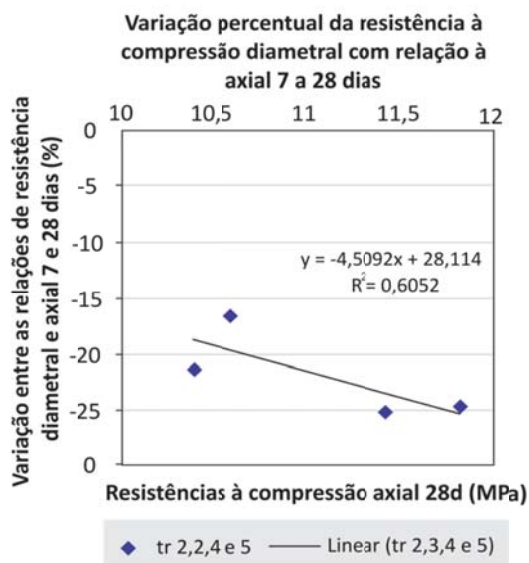


Figura 19: Variação entre as relações entre resistências diametral e axial aos 7 e aos 28 dias e o valor da resistência axial aos 28 dias.

mecânica do material, conforme ilustra a Figura 19.

O aumento da fragilidade ou da ductilidade do material em função da incorporação das cinzas é muito importante. Depara-se segundo Alcantara (2004) que, os concretos auto-adensáveis podem ser sujeitos a apresentarem níveis de fluência mais elevados do que os apresentados pelos concretos convencionais. A Figura 20 procura correlacionar o valor do módulo unitário, dado pela relação entre a resistência à compressão simples e o módulo de elasticidade. Verifica-se que o módulo de elasticidade vem a crescer proporcionalmente ao valor da resistência mecânica em modo crescente com o aumento da relação fíler-cimento, ganhando rigidez. Este efeito, conforme mostra a Figura 20, aparenta ser mais acentuado com o tempo de cura.

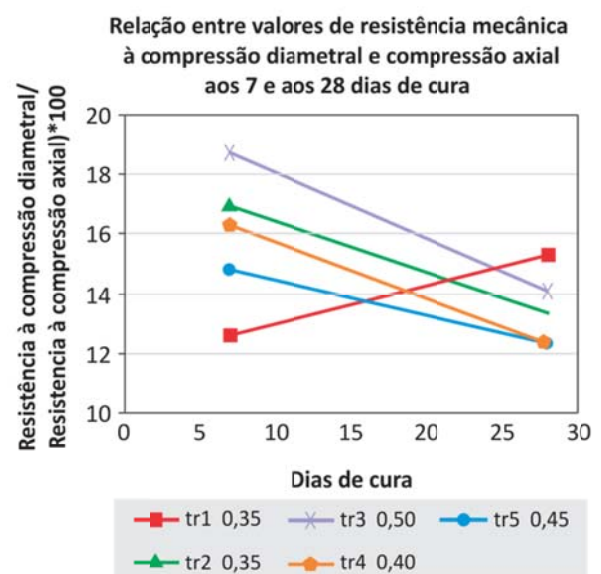


Figura 18: Variação da relação entre o valor da resistência à compressão diametral com relação ao valor da resistência à compressão simples com o tempo.

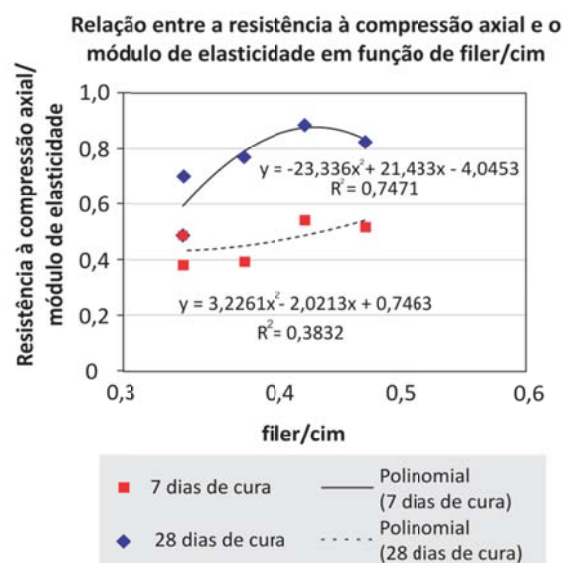


Figura 20: Variação da relação entre os valores da resistência à compressão axial e o módulo de elasticidade em função da relação fíler-cimento.

Finalmente, considera-se também a influência da presença das cinzas de modo a contribuir para os valores de absorção e de retração de secagem. Os dois aspectos são importantes no que tange à durabilidade do material. As Figuras 21 e 22 apresentam a variação da absorção em função da variação da relação água/cimento, visto que esta implicaria em maior porosidade, e em função do teor de cinzas, visto que esta pode contribuir para o aumento do caráter higroscópico do material, conforme ALCANTARA *et al.* (2011). Verifica-se que o fenômeno da absorção apresenta correlações para com o valor da relação água/cimento, e para com o valor da relação filer/cimento, coerente com as expectativas,

apresentando coeficiente médios de correlação.

Quanto aos valores da retratidade, os resultados expressos pelo ensaio de retração por secagem das argamassas, demonstram conforme as Figuras 23 e 24 que as composições com as menores relações água/cimento e filer/cimento evidenciaram menor retração dos corpos-de-prova. A influência da quantidade de água nos concretos e argamassas, assim como a proporção de finos, contribuem para o aumento do valor da retração total. Verifica-se, contudo, pelos coeficientes de correlação alcançados, que a influência do teor de finos aparenta ter um efeito mais relevante sobre o fenômeno da retração.

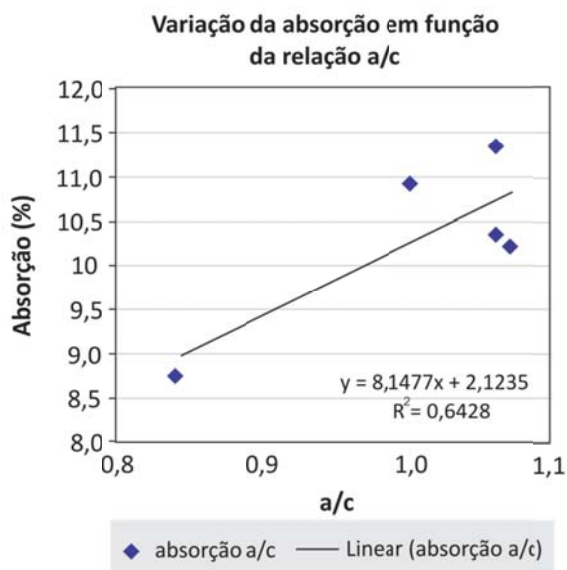


Figura 21: Variação da absorção em função da relação água-cimento.

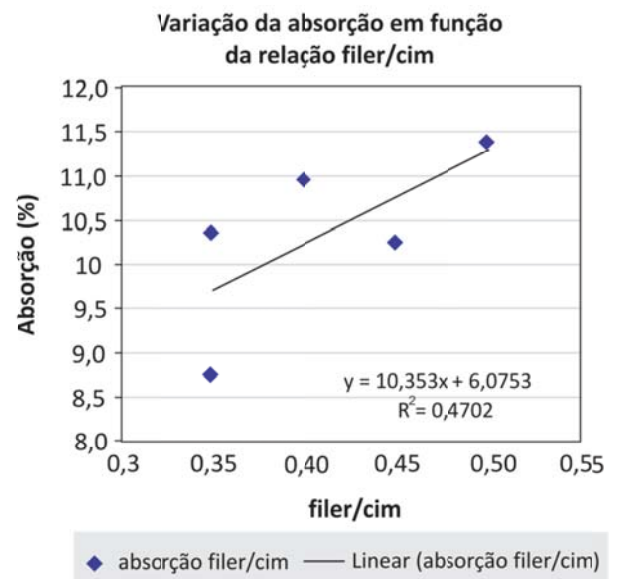


Figura 22: Variação da absorção em função da relação filer-cimento.

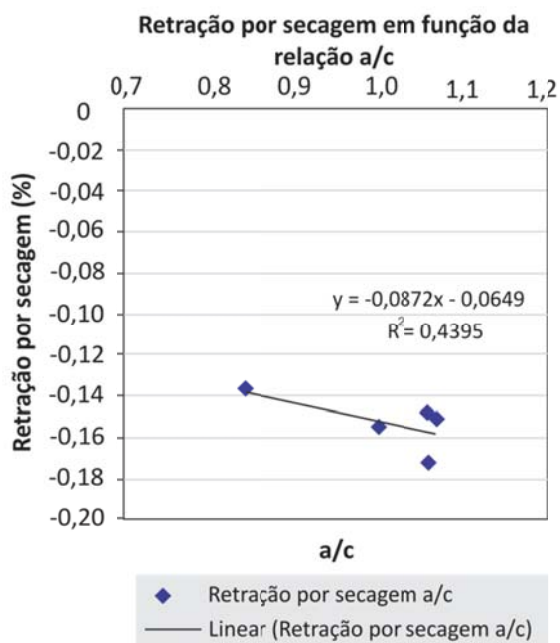


Figura 23: Variação da retração de secagem em função da relação água-cimento.

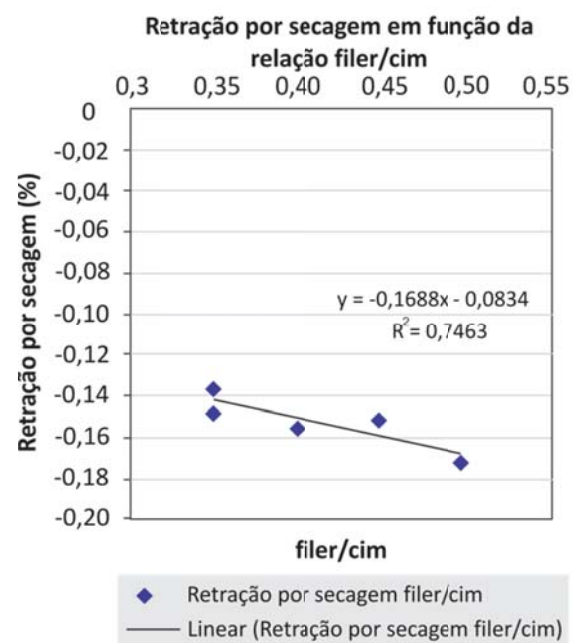


Figura 24: Variação da retração de secagem em função da relação filer-cimento.

5. CONCLUSÕES

Pelo que se depara desta avaliação realizada neste estudo, conclui-se que as cinzas de bagaço de cana se mostraram adequadas para a utilização como finos em concreto auto-adensável. Aparentemente, em decorrência das suas finura e superfície específicas muito elevadas, as composições com C.B.C requerem altos valores de água em composição, influenciando nos valores de resistência mecânica, mas, em contra partida, tem-se o efeito da segregação atenuado pela presença das cinzas. Pelo possível melhor ajuste do esqueleto granular e, pelo efeito filer, com a incorporação das cinzas existem modificações sobre a ductilidade, proporcionando maior rigidez com o tempo. A absorção, e a retratibilidade são crescentes com o teor de água requerido e pelo teor de cinzas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro dado ao bolsista Bruno Vendramini dos Santos, a REEC-UFG, pela oportunidade de apresentação e de divulgação do trabalho. Agradecemos também à Companhia Energética de São Paulo (CESP), pelo apoio dado, permitindo a realização dos ensaios de caracterização das cinzas em seus laboratórios.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, M. A. M. **Bétons auto-plaçants et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique.** (THÈSE). Toulouse. INSA, 192p. 2004

ALCANTARA, M. A. M.; WATANABE. W. **O uso de cinzas de casca de arroz e do pó de pedra na fabricação de blocos de concreto auto-adensável para a pavimentação.** IN: 39ª Reunião Anual de Pavimentação / 39º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Recife - Olinda, 2008, ANAIS - CD ABPV, 2008.

ALCANTARA, M. A. M.; LIMA, G. G. **O uso de cinzas de casca de arroz e do pó de pedra como finos na produção do concreto auto-adensável.** IN: 2º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, 2009, ANAIS - CD, EESC-USP. 2009.

ALCANTARA, M. A. M.; SANTOS L. P.; LIMA D. C.; SEGANTINI, A. A. S. AKASAKI, J. L. **O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar na produção de tijolos de solo-cal.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, UFG, Nº 3, ISSN 2179-0612. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 9778:** Argamassa de concreto endurecida – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, ABNT, 2005 Versão corrigida 2: 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto: ensaios de compressão com corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto: determinação dos módulos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:2:** Argamassa de concreto- determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. ABNT, Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8490:** Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural, retração por secagem, método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 7P.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE GENIE CIVIL (AFGC). **Bétons Autoplaçants, Recommandations Provisoires.** PARIS, 2000, NP.

BENTUR A. **Cimentitious Materials: Nine Millenia and a New Century, Past, Present, Future.** Journal of materials of civil engineering, 14-1, ASCE - AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS MATERIALS ENGINEERING DIVISIONS. 2002.

BARBOSA, M. B. **Utilização de resíduos de cinzas de casca de arroz e borrachas de pneus em concreto de elevado desempenho.** (DISSERTAÇÃO DE MESTRADO). Ilha Solteira, FEIS/UNESP, 2006, 147 p.

BORLINI, M. C.; MENDONÇA, J. L. C. C.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Influência da temperatura de sinterização nas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de cerâmica vermelha incorporada com cinza de bagaço de cana de açúcar.** Revista Matéria, Rio de Janeiro, V.11, N. 4, P. 435-443, 2006. Disponível em <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10799>>. Acesso em: 22 nov. 2007.

CALDAS, A.; MELO NETO, A. A.; JOHN, V. M.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. **Tecnologias alternativas para habitação: o uso de cinzas residuais para produção de novos materiais e componentes construtivos.** IN: Congresso Internacional de Tecnologia e gestão da Qualidade na Construção Civil, 2, 2000, Recife. Anais... Recife: POLI-UPE. 2000. 12p.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** 2006. (Tese) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 445p.

COSTA, M.R.R.R. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos.** São Paulo, 2007. (Tese) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007. 148p.

FREITAS, E. DE S. **Caracterização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar do município de campos dos goytacazes para uso na construção civil.** 2005. (DISSERTAÇÃO) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005. 81p.

GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete.** 2002, Universitat Politècnica de Catalunya, Tesis Doctoral - Barcelona, 2002. 139 p.

LI V., KONG H., BIKE S. **Constitutive rheological design for development of self-compacting engineered cementitious composites.** 2D International Symposium on Self-Compacting Concrete. Tokyo, 2001, 147-158pp.

LISBOA, E.M. **Obtenção de concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento de mármore e granito e estudo das propriedades mecânicas.** (Dissertação). UFAL, Maceió, 2004, 144p.

MACEDO P.C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinzas de bagaço de cana.** (Dissertação). Ilha Solteira, FEIS/UNESP. 2009. 118p.

PAULA, M. O. DE. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento portland.** 2006. (Dissertação) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, VIÇOSA, 2006. 60p.

SANTOS, M. R.; FORMAGINI, S. **High performance concrete with addition of ultra fine sugarcane bagasse ashes.** IN: International ACI/CANMET Conference on High Performance Concrete Structures and Materials, 5, 2008, Manaus. Proceedings... Manaus: ACI/CANMET, 2008. 13p.