



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

EFEITO DOS PARÂMETROS: INCORPORADOR DE AR E TEOR DE CINZA PESADA NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

Flora I. G. Santos (1); Malik Cheriaf (2); Janaíde C. Rocha (3)

(1) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil –
e-mail: flora_engcivil@yahoo.com.br

(2) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil –
e-mail: malik@infohab.org.br

(3) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil –
e-mail: ecv1jcr@ecv.ufsc.br

RESUMO

Existem diversas pesquisas que abordam a influência individual dos parâmetros emprego de incorporador de ar e do teor de cinza pesada oriunda da queima do carvão empregada em substituição ao agregado natural em argamassas. Porém, existe a necessidade de investigação da ação conjunta destes dois parâmetros em virtude de ser sabido que a cinza leve, que também é um sub-produto da queima do carvão mineral, possui a capacidade de adsorver o aditivo incorporador de ar. Esta adsorção ocorre em função da presença de carbono incombusto cuja superfície é porosa, e promove a redução da quantidade de ar incorporado decorrente da ação do aditivo. Assim sendo, o presente trabalho investigou a influência conjunta dos parâmetros incorporador de ar e teor de cinza pesada nas seguintes propriedades das argamassas: consistência, retenção de água, massa específica no estado fresco e no estado endurecido, e porosidade aberta. Para isto foram confeccionadas um total de seis argamassas que diferem entre si apenas pelo teor de cinza pesada em substituição ao agregado natural em volume (0%, 50% e 100%) e o emprego ou não de aditivo incorporador de ar. Através dos resultados obtidos foi possível determinar estatisticamente qual o parâmetro (cinza ou aditivo) que mais influencia em cada uma das propriedades analisadas, e observar uma tendência da ação do incorporador de ar ser minimizada quanto maior o teor de cinza pesada.

ABSTRACT

There are several researches about the individual influence of the parameters air-entraining agent and coal bottom ash used to replace natural aggregate in mortars. However, there is necessity of inquiry joint action of these two parameters in virtue of being known that the fly ash, that also is a by-product of burning mineral coal, has the capacity of adsorb the air-entraining agent. This adsorption occurs in function of the unburned carbon has porous surface and promotes the reduction of the hold the required air. Thus being, the present work investigated the joint influence of the parameters air-entraining agent and bottom ash in the following properties of mortars: consistency, water retention, specific gravity in the fresh and hardened state, and porosity. For this had been confectioned a total of six mortars that they differ between itself only for the percentage of bottom ash to replace natural aggregate in volume (0%, 50% and 100%) and the use or not of air-entraining agent. Through the gotten results was possible to determine by statistical analysis which parameter (ash or air-entraining agent) that it more influence in each one of the analyzed properties and to observe a trend of action of to air-entraining agent be minimized with de use of bottom ash.

Keywords: air-entraining agent; bottom ash; mortars.

1 INTRODUÇÃO

O uso de resíduos sólidos industriais e aditivos têm sido cada vez mais intenso na construção civil. em virtude destes, muitas vezes, possibilitarem ganhos de ordem econômica, ambiental e tecnológica.

Dentre os resíduos industriais gerados na região sul do Brasil destacam-se as cinzas pesadas provenientes da combustão do carvão mineral, pois nesta região estão situadas as principais jazidas carboníferas do país. Somente no Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda, localizado no município de Capivari de Baixo (SC), são geradas anualmente 818 mil toneladas de cinzas. Sendo que destas 70% são cinzas leves, que são extraídas por via seca, e 30% são cinzas pesadas, que são extraídas por via úmida (CHERIAF, ROCHA; 1997).

A cinza leve produzida no Complexo de Jorge Lacerda tem sido aproveitada pela cadeia produtiva do cimento, enquanto que para a cinza pesada a comercialização é inexistente, sendo então depositada em bacias de decantação que despendem grandes áreas.

No entanto, a disposição de resíduos, principalmente em regiões com produção industrial, é um problema de complexidade crescente, que oferece elevados custos e expõe o meio ambiente a riscos de contaminação pela concentração de um grande número de substâncias potencialmente nocivas em um mesmo local (HADDAD; ANUATI; LOPES, 1997).

Já se tratando de aditivos merece destaque o incorporador de ar em função de promover a modificação da estrutura porosa por atuar na formação de alvéolos não interligados ao longo dos capilares, além de promover a redução da massa específica.

Ainda tem-se que, principalmente quando aborda-se o emprego de resíduos em argamassas deve-se buscar o emprego de aditivos para sanar eventuais deficiências nas propriedades destas. Dentro deste contexto, Santos (2004) ao avaliar o emprego conjunto da cinza pesada e do incorporador de ar em argamassas, verificou que este é bastante interessante, pois em muitas das propriedades relacionadas com a transferência de umidade, como por exemplo a absorção de água por capilaridade, a adsorção de água para umidades relativas elevadas, o tempo necessário para a secagem e a porosidade aberta, a cinza pesada provoca um aumento indesejado, que é balanceado através do emprego do aditivo incorporador de ar.

No entanto, na bibliografia existem diversos trabalhos que mencionam que o carbono incombusto presente na cinza leve oriunda da queima do carvão mineral, possui a capacidade de adsorver o surfactante presente no aditivo incorporador de ar (Zhang, 1996; Hill, Sarkar, Hower; 1997; Külaots, et al., 2003).

Logo, são necessários estudos que investiguem se a quantidade de ar incorporado, em função da ação do aditivo, é reduzida nas argamassas que contém cinza pesada, pois esta, a exemplo da cinza leve, também possui carbono incombusto na sua composição.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar a influência individual e conjunta dos parâmetros incorporador de ar e teor de cinza pesada nas seguintes propriedades das argamassas: consistência, retenção de água, massa específica no estado fresco e no estado endurecido, e porosidade aberta.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais utilizados

Os materiais empregados na presente pesquisa são:

- cimento Portland composto com adição de filler calcário, CP-II-F, classe 32, marca Itambé;
- cal hidratada classificada pela NBR7175/1992 como tipo CH-III, marca Minercal;
- areia natural oriunda de rio enquadrada na Zona 1 (muito fina) pela NBR7217/1983;
- cinza pesada (CZP) da Unidade C do Complexo Termelétrico de Jorge Lacerda, localizado em Capivari de Baixo/SC, com quantidade de material incombusto de 4,44% atribuída a presença de carbono;
- aditivo incorporador de ar (IA) em pó, marca Racicol;
- água.

Na Tabela 1 estão sintetizadas as principais características dos agregados (areia e CZP).

Tabela 1 - Características dos agregados

Características	Ensaio	Areia	CZP
Módulo de finura	NBR7217/83	2,02	1,22
D50 ⁽¹⁾ (mm)	--	0,48	0,23
Massa unitária (kg/dm ³)	NBR7251/82	1,41	0,61
Massa específica (kg/dm ³)	Método do Picnômetro	2,57	1,80
Material Pulverulento (%)	NBR7219/87	4,08	9,81
Perda de massa ao fogo (%)	NBR5743/77	1,15	4,44

Nota: (1) D50 é a abertura da peneira correspondente a 50% do material retido acumulado.

No Gráfico 1 é apresentado o difratograma da cinza pesada obtido através do difratômetro Rigaku – Miniflex cujas configurações são: radiação de cobre ($\lambda=1,5456$), tensão de 30 kV e corrente elétrica 15 mA. Por meio do difratograma assim obtido foi possível identificar as seguintes fases cristalinas majoritárias: quartzo (SiO_2) e mulita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), e uma fase minoritária: a hematita (Fe_2O_3) associada ao teor de óxido de ferro presente na cinza.

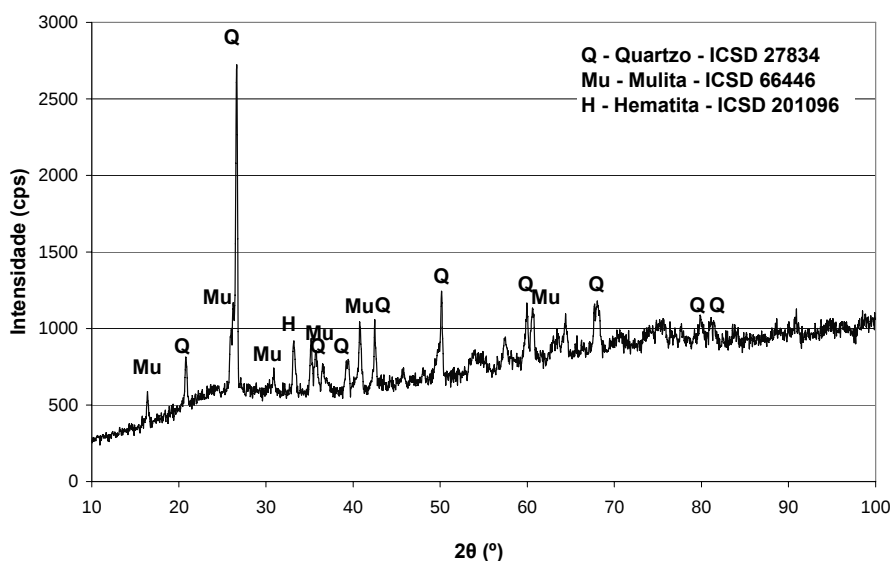


Gráfico 1 - Difratograma da cinza pesada

Para a caracterização do aditivo incorporador de ar foi obtido o seu espectro por infra-vermelho que está apresentado no Gráfico 2. Este espectro foi obtido em pastilha de KBr, sendo que a análise desta foi realizada através de um espectrofotômetro de BOMEM FT-IR, modelo MB-100.

Através da análise do infra-vermelho têm-se que as seguintes posições de banda em cm^{-1} representam os seguintes grupos ou ligação:

- 3460: hidroxilas (OH);
- 2920 e 2850: grupo CH_x ;
- 2520: composto inorgânico (Na);
- 1460: grupo CH_x e CO_3 .

Além disso determinou-se a perda de massa ao fogo deste aditivo, sendo que esta foi bastante elevada: 49,59%.

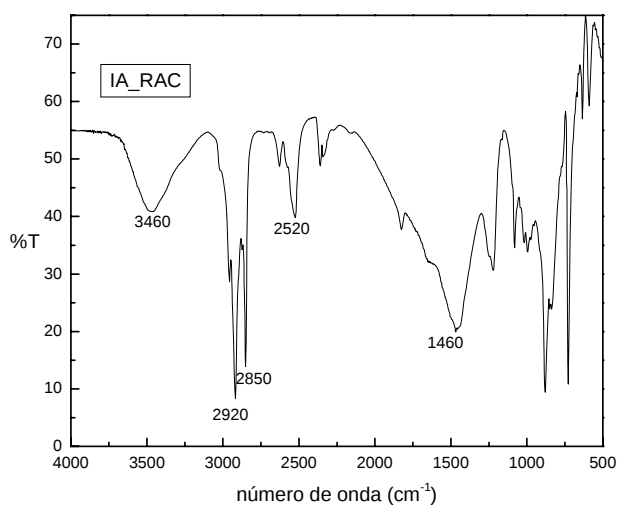


Gráfico 2 - Infra-vermelho do incorporador de ar

3.2 Programa experimental

Foram produzidas argamassas a partir do traço base, em volume, de 10,91% de cimento, 30,64% de cal e 58,45% de areia, sendo trabalhados teores de 0, 50 e 100% substituição em volume de areia por cinza pesada. Para cada um destes teores foram confeccionadas argamassas com e sem aditivo incorporador de ar. A quantidade de aditivo em relação a massa total de material seco foi de 0,03% e a relação a/c foi de 2,29 para todas as argamassas. A nomenclatura utilizada para estas argamassas, bem como as formulações destas estão sintetizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Nomenclatura e formulação das argamassas, em % e em volume

Argamassas	Cim.	Cal	Areia	CZP	IA
0%CZP	10,91	30,64	58,45	0,00	SEM
50%CZP	10,91	30,64	29,22	29,22	SEM
100%CZP	10,91	30,64	0,00	58,45	SEM
0%CZP+IA	10,91	30,64	58,45	0,00	COM
50%CZP+IA	10,91	30,64	29,22	29,22	COM
100%CZP+IA	10,91	30,64	0,00	58,45	COM

As propriedades avaliadas nas argamassas, bem como os ensaios realizados nas amostras estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades das argamassas e ensaios realizados

		Ensaio
Propriedades no estado fresco	Consistência	NBR13276/95
	Capacidade de retenção de água	NBR9287/86
	Massa específica no estado fresco	NBR13278/95
Propriedades físicas no estado endurecido	Massa específica	NBR13280/95 com adaptações.
	Porosidade aberta	NBR9778/87

As adaptações efetuadas na determinação da massa específica no estado endurecido, em relação ao proposto pela NBR13280/95, dizem respeito ao volume da amostra que foi reduzido e a determinação deste que foi realizada por meio de imersão em mercúrio. Quanto a obtenção das amostras, foram retiradas da parte central de corpos-de-prova cilíndricos 5x10 cm através do uso de serra de bancada.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Para uma melhor análise dos resultados determinou-se estatisticamente, através da análise de variância (ANOVA) dos resultados, os parâmetros que influem significativamente, com 95% de confiabilidade, nas propriedades avaliadas das argamassas. Esta análise está apresentada no ANEXO.

4.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

As propriedades das argamassas no estado fresco abordadas na presente pesquisa estão apresentadas na Tabela 4, bem como os seus valores.

Tabela 4- Propriedades das argamassas no estado fresco

Argamassas/Propriedades	Consistência (mm)	Capacidade de retenção de água (%)	Massa específica (kg/dm ³)
0% CZP	306	81,75	2,02
50% CZP	285	76,05	1,86
100% CZP	236	77,70	1,63
0% CZP + IA	301	94,61	1,63
50% CZP + IA	281	92,74	1,47
100% CZP + IA	241	81,29	1,42

Através do Gráfico 3 verifica-se que para uma mesma relação a/c as argamassas estudadas apresentam diferentes consistências, sendo que quanto maior o teor de cinza menor é a consistência, sendo que isto ocorre tanto para as argamassas sem como para as com aditivo incorporador de ar. Quanto ao efeito do aditivo incorporador de ar, verificou-se que a sua influência não foi significativa podendo isto ser atribuído ao fato das argamassas com teores de 0% e 50% de substituições de areia por cinza pesada já apresentarem elevado espalhamento, ou seja, superior a 265 mm.

Além disso, tem-se que, segundo a bibliografia nacional, o método da mesa de espalhamento para a determinação da consistência não se mostra adequado para a avaliação do efeito do incorporador de ar (CARDOSO, PILEGGI & JOHN, 2005; NAKAKURA, 2003; CAVANI, ANTUNES & JOHN, 1997).

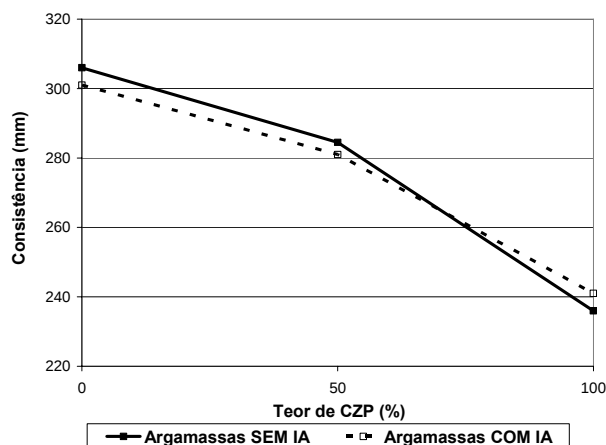


Gráfico 3 - Consistência das argamassas

Através da ANOVA, pode-se afirmar, com 95% de confiabilidade, que o teor de cinza pesada é o parâmetro que influi significativamente na consistência. Já a influência da inter-relação entre os parâmetros aditivo e teor de cinza não pode ser verificada em função de não se ter repetições para cada tratamento estatístico.

Em tratando-se de capacidade de retenção de água, de acordo com o apresentado no Gráfico 4, tem-se que o emprego da CZP implica em uma redução da capacidade de retenção de água, sendo que este resultado está de acordo com o encontrado por Margon (2002) ao realizar estudo de argamassas contendo cinzas em substituição ao agregado natural.

Quanto a ação do IA, este implica em um aumento da retenção, o que esta de acordo com o mencionado na bibliografia.

No entanto, a ação conjunta dos parâmetros incorporador de ar e teor de cinza pesada não é verificada.

Através da análise de variância, não se pode afirmar, com 95% de confiabilidade, que o teor de cinza pesada e o aditivo são parâmetros que influem significativamente na retenção de água. Já a influência da inter-relação entre os parâmetros aditivo e teor de cinza não pode ser verificada em função de não se ter repetições para cada tratamento estatístico.

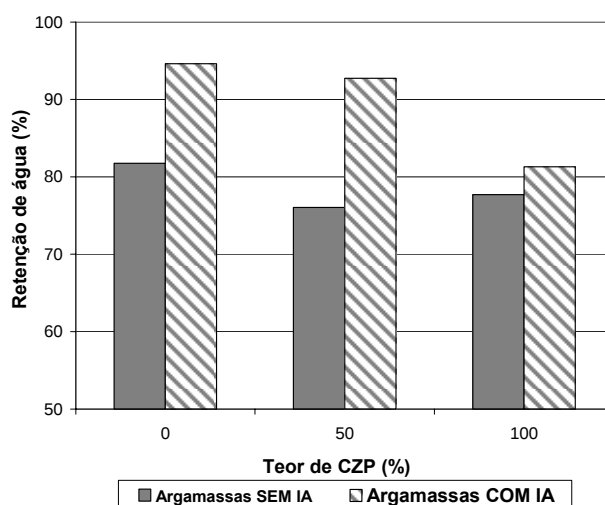


Gráfico 4 - Retenção de água das argamassas

Quanto as massas específicas apresentadas no Gráfico 5, verifica-se que ocorre uma diminuição da massa específica nas argamassas quanto maior o teor de cinzas pesadas e quando se faz uso do incorporador de ar. Isto já era esperado em função da cinza apresentar menor massa específica do que a areia, e do incorporador de ar atuar no aumento do teor de ar incorporado.

Em tratando-se da inter-relação dos parâmetros incorporador de ar e teor de cinza pesada percebe-se uma tendência da ação do aditivo ser minimizada quanto maior o teor de cinza pesada o que é perceptível por meio da inclinação das retas que relacionam a massa específica com o teor de CZP das argamassas com e sem IA.

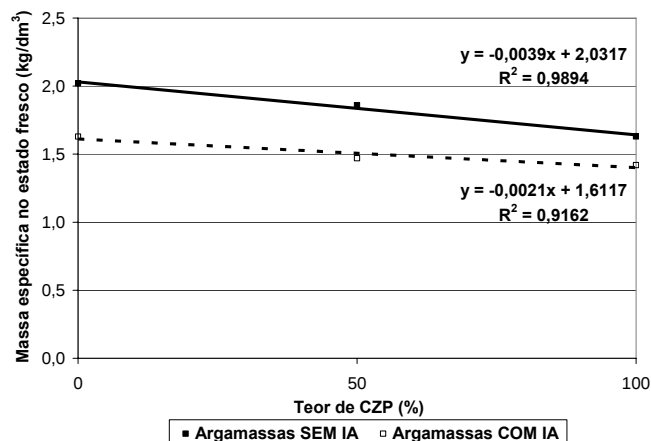


Gráfico 5 - Massa específica das argamassas no estado fresco

Através da ANOVA, pode-se afirmar, com 95% de confiabilidade, que o aditivo é o parâmetro que influi significativamente na massa específica. Já a influência da inter-relação entre os parâmetros aditivo e teor de cinza não pode ser verificada em função de não se ter repetições para cada tratamento estatístico.

4.2 Propriedades físicas das argamassas no estado endurecido

Na Tabela são apresentadas os valores médios e o desvio padrão das propriedades físicas no estado endurecido das argamassas estudadas que são massa específica aparente e porosidade aberta.

Tabela 5 - Propriedades físicas das argamassas no estado endurecido

Argamassa/ Propriedade	Massa específica no estado endurecido (kg/dm ³)		Porosidade aberta (%)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
0% CZP	1,74	0,01	29,8	0,5
50% CZP	1,50	0,01	33,6	0,3
100% CZP	1,27	0,01	37,0	0,4
0% CZP + IA	1,43	0,04	26,3	0,6
50% CZP + IA	1,23	0,00	29,3	0,6
100% CZP + IA	1,11	0,02	34,4	0,4

Os valores de massa específica no estado endurecido são apresentados no Gráfico 6. Através deste verifica-se que o comportamento da massa específica no estado endurecido apresenta-se condizente com o encontrado no estado fresco, bem como com a massa específica dos agregados empregados (massa específica da areia é cerca de 43% maior do que a da cinza pesada) e a ação do incorporador de ar.

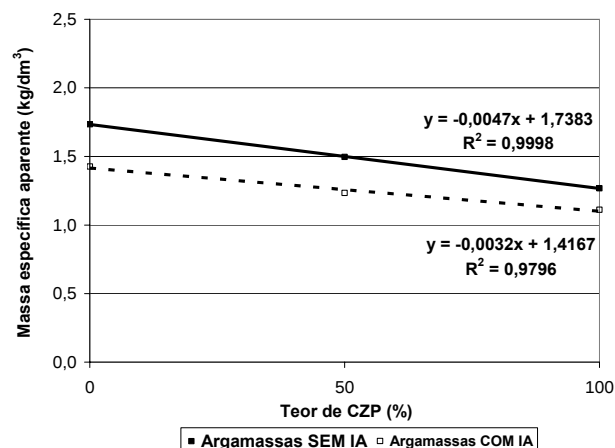


Gráfico 6 - Massa específica aparente das argamassas no estado endurecido

Através da ANOVA, pode-se afirmar com 95% de confiabilidade que os parâmetros teor de cinza pesada, aditivo e a inter-relação entre estes influem significativamente na massa específica. Destes parâmetros é o aditivo incorporador de ar o que mais influi.

Os resultados obtidos para a porosidade aberta apresentados no Gráfico 7 mostram que para um mesmo teor de CZP a porosidade é reduzida com o emprego do IA. Verifica-se ainda através de uma relação nítida que quanto maior o teor de CZP maior é a porosidade aberta, sendo que isto mostra que o uso da cinza pesada implica em argamassas com maior volume de poros permeáveis.

Através da análise de variância, pode-se afirmar com 95% de confiabilidade que os parâmetros teor de cinza pesada, aditivo e a inter-relação entre estes influem significativamente na porosidade aberta. Destes parâmetros é o teor de cinza pesada o que mais influi.

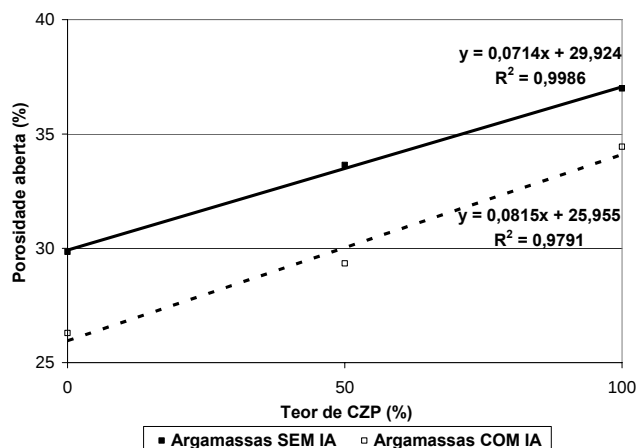


Gráfico 7 – Porosidade aberta das argamassas

4.3 Conclusões

Os resultados permitem concluir que:

O teor de cinza pesada afeta significativamente, com 95% de confiabilidade as seguintes propriedades: consistência, massa específica no estado endurecido e porosidade aberta. A cinza pesada promove a redução da consistência e da massa específica no estado endurecido. Em tratando-se da porosidade aberta promove o aumento. Dentre estes efeitos, apenas o de redução da massa específica pode ser considerado interessante.

Apesar de não ter-se conseguido provar estatisticamente, com 95% de confiabilidade, a influência do teor de cinza pesada na retenção de água e na massa específica no estado fresco, verifica-se no entanto, uma tendência do emprego da CZP reduzir a capacidade de retenção e massa específica. Assim sendo, recomendam-se estudos adicionais nos quais sejam feitas repetições dos valores medidos.

Já o incorporador de ar afeta significativamente, com 95% de confiabilidade, as massas específicas no estado fresco e endurecido e a porosidade aberta, sendo que o seu efeito é redutor. Este efeito é bastante interessante uma vez que permite elaborar materiais com menor densidade, sem implicar em materiais mais penetráveis à água já que os poros provenientes da incorporação de ar promovida pelo aditivo não estão interligados.

Não se conseguiu provar estatisticamente o efeito do aditivo na retenção de água. No entanto percebe-se uma tendência do incorporador de ar aumentar a retenção de água o que está de acordo com a bibliografia pertinente. Assim sendo, novamente são recomendados estudos adicionais nos quais sejam feitas repetições dos valores medidos.

Em tratando-se do efeito do aditivo na consistência são recomendados estudos adicionais, que além de fazerem repetições dos valores medidos, trabalhem com diferentes relações a/c e emprego de outro ensaio em substituição ao da mesa de espalhamento para a determinação da consistência, como por exemplo, o squeeze-flow⁽¹⁾ e o dropping-ball⁽²⁾ abordados por CARDOSO, PILEGGI & JOHN, 2005.

Quanto ao emprego conjunto da cinza pesada e do aditivo incorporador de ar, somente foi possível analisar estatisticamente a inter-relação entre estes parâmetros nas propriedades para as quais foram realizadas repetições para a determinação, que no presente estudo foram as propriedades físicas no estado endurecido (massa específica e porosidade). Nestas propriedades, conseguiu-se comprovar estatisticamente que existe inter-relação entre os parâmetros teor de cinza pesada e aditivo.

Ainda tem-se que, principalmente no caso das massas específicas abordadas no presente estudo é possível observar uma tendência da ação do incorporador de ar ser minimizada quanto maior o teor de cinza pesada. Por esta razão, são recomendados estudos adicionais que envolvam ensaios como a medida do ar incorporado e que estabeleçam a quantidade de aditivo incorporador de ar necessária para a compensação do aditivo adsorvido pelo carbono incombusto presente na cinza pesada.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR5743**. Análise química do cimento Portland – Determinação da perda de massa ao Fogo. Rio de Janeiro, 1977

_____. **NBR7175**. Cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR7217**. Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR7219**. Determinação do teor de material pulverulento. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR7251**. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR9287**. Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto. Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR9778**. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR13276**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 1995.

(1) O método squeeze-flow é usualmente empregado pela indústria para a avaliação da consistência de alimentos como requeijão, iogurtes e outros que tem na sua concepção os conceitos reológicos. O ensaio é baseado na metodologia proposta por Ozhan et al. (1999).

(2) O método dropping-ball consiste na penetração de uma esfera padrão conforme a metodologia recomendada pela norma BS 4551 part.1.

____. **NBR13278**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos –Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

____. **NBR13280**. Argamassa de assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION - BS 4551: **Methods of testing mortar, screeds and plasters**. London, 1980.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de reometria por squeeze-flow. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas/ I International Symposium on Mortars Technology, 2005, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis, SC, p. 121-143.

CAVANI, G. R.; JOHN, V. M.; ANTUNES, R. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Salvador, 1997. **Anais...**, Salvador, 1997, p.110-119.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C. Caracterização dos resíduos industriais do estado de Santa Catarina e as possibilidades de valorização na construção civil.. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1º. **Anais...**, Canela, 1997, p. 81-92.

HADDAD, E.; ANUATI, F.; LOPES, M. et al. **Políticas públicas para a utilização de resíduos em habitação**. [Relatório IPT/DES – AETEC/DIGEO/DEC n.34904196 – Interessado: FINEP]. São Paulo: IPT, 1997. p.158.

HILL, R. L.; SARKAR, S. L.; RATHBONE, R. F.; HOWER, J. C. An examination of fly ash carbon and its interactions with air entraining agent. **Cement and Concrete Research**, Volume 27, n 2, February, 1997, pp. 193-204.

KÜLAOTS, I.; HSU, A.; HURT, R. H.; SUUBERG, E.M. Adsorption of surfactants on unburned carbon in fly ash and development of a standardized foam index test. **Cement and Concrete Research**, Volume 33, Issue 12, December 2003, Pages 2091-2099

MARGON, P. V. **Influência do uso das cinzas de carvão mineral de termelétricas em argamassas de revestimento: dosagem por curvas granulométricas**. 2002. p.127. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Florianópolis, 2002.

NAKAKURA, E. H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003, p. 198.

OSHAN, N.; OYSU, C.; BRISCOE, B.J.; AYDIN, I. Rheological analysis of ceramic pastes. **Journal of the European Society**, 19, 1999, 2883-2891.

SANTOS, F. I. G. **Avaliação de propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. 2006. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFSC, Florianópolis, 2006.

ZHANG, D. S. Air entrainment in fresh concrete with PFA. **Cement and Concrete Composites**, Volume 18, n. 6, 1996, pp. 409-416.

ANEXO

Consistência						Massa específica no estado endurecido					
Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F α	Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F α
CZP	4417	2	2209	145,62	F _{0,05} (2,2)=19,00	CZP	0,47	2	0,23	675,69	F _{0,05} (2,12)=3,89
IA	3	1	3	0,18	F _{0,05} (1,2)=18,51	IA	0,26	1	0,26	766,52	F _{0,05} (1,12)=4,75
Resíduo	30	2	15			CZPxIA	0,02	2	0,01	26,63	F _{0,05} (2,12)=3,89
Total	4450	5				Dentro	0,00	12	0,00		
Retenção de água						Total	0,75	17			
Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F α	Porosidade aberta					
CZP	76	2	38	1,67	F _{0,05} (2,2)=19,00	Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F α
IA	183	1	183	8,07	F _{0,05} (1,2)=18,51	CZP	175,91	2	87,96	394,47	F _{0,05} (2,12)=3,89
Resíduo	45	2	23			IA	54,11	1	54,11	242,67	F _{0,05} (1,12)=4,75
Total	304	5				CZPxIA	2,34	2	1,17	5,24	F _{0,05} (2,12)=3,89
Massa específica no estado fresco						Dentro	2,68	12	0,22		
Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F α	Total	235,04	17			
CZP	0,09	2	0,05	8,35	F _{0,05} (2,2)=19,00						
IA	0,16	1	0,16	30,25	F _{0,05} (1,2)=18,51						
Resíduo	0,01	2	0,01								
Total	0,26	5									