

6^{ta} JIDeTEV

Investigación y Desarrollo Tecnológico.
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción.

INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NA CARBONATAÇÃO DOS CONCRETOS

SEIDLER, NELSON(1); DAL MOLIN, DENISE C. C.(2);

(1) *Professor MSc, Departamento das Engenharias e Ciência da Computação Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI Santo Ângelo. RS. Brasil. Email: seidler@urisan.tche.br Telefone: (0xx) 55 3313 7900 – Fax: (0xx)55 3313-7900*

(2) *Professora Doutora, Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação - NORIE Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS Porto Alegre. RS. Brasil. Email: dmolin@vortex.ufrgs.br – Telefone: (0xx) 51 3316 3518*

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Rua Universidade das Missões, 464 – 98802-470 Santo Ângelo, RS. Brasil.

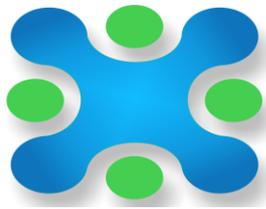
Palavras Chaves: carbonatação, resistência à compressão; adições minerais.

Resumo

Este trabalho de pesquisa visa apresentar resultados do comportamento da carbonatação frente ao uso de adições minerais de sílica ativa, cinza volante e cinza de casca de arroz. A espessura de carbonatação foi obtida por colorimetria, utilizando-se fenolftaleína a 1 por cento, nas idades de 3, 7, 28, 56, 91 e 126 dias. Este estudo foi realizado em argamassa, para as relações água / aglomerantes (a/agl.) de 0,40 , 0,55 e 0,70, utilizando as adições minerais de sílica ativa (sa), cinza volante (cv) e cinza de casca de arroz (cca), nos percentuais de 10, 20 e 30 por cento. Todos os resultados foram comparados com os corpos de prova testemunho. Foram realizadas análises comparativas da espessura de carbonatação (EC) em argamassas, em função da idade, relação água / aglomerante, cura úmida e com 5 por cento de CO₂, tipo e percentual de pozolana. Todos os resultados foram estudados estatisticamente, pela Análise da Variância (ANOVA). Segundo ANOVA, para idênticas combinações de materiais, não existe uma relação direta de dependência da resistência à compressão na espessura de carbonatação.

1. INTRODUÇÃO

Concretos com elevada porosidade, na presença de umidade e sob umidade relativa entre 25 –75%, estão mais sujeitos à carbonatação. O gás carbônico gasoso na realidade não é reativo, porém na presença de água, forma o ácido carbônico, que reage com o hidróxido de cálcio gerando, entre os compostos principais, carbonato de cálcio.



1.1 FATORES INTERVENIENTES NA CARBONATAÇÃO

1.1.1 Influência das adições minerais na carbonatação

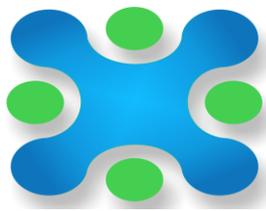
O uso de adições minerais pode trazer efeitos benéficos na redução da carbonatação, pela modificação de sua microestrutura, reduzindo o volume dos poros capilares e o refinamento dos mesmos. Além da redução da porosidade total, reduz os mecanismos de transporte, restringindo os movimentos de água, íons e gases para o interior do concreto, melhorando com isto as condições de durabilidade.

Existem contradições quanto ao uso de adições minerais nos concretos e seus efeitos sobre a carbonatação.

GJORV(1995); YAMATO, SOEDA e EMOTO, citados por JOHN (1993), usando altas quantidades de sílica ativa, em curas pobres, para concretos convencionais, verificaram um aumento do grau de carbonatação. Já alguns pesquisadores não encontraram efeitos do uso da sílica ativa na carbonatação. WOLF e MAAGE, citados por DAL MOLIN (1995), não observaram influência significativa da sílica ativa na espessura de carbonatação. CHRISTENSEN e MAAGE, citados por GJORV (1995), estudando concretos de alta resistência com adição de sílica ativa, também não encontraram efeitos significativos no grau de carbonatação.

O uso da cinza volante como adição e seus efeitos na carbonatação é que possui maior contrariedade de opiniões. Um de seus efeitos negativos na carbonatação é sua influência no aumento da demanda de água e trabalhabilidade dos concretos frescos.

O Comitê 67 – FAB da RILEM, JAWED et al., citados por ISAIA (1995), comparando concretos com resistência normal, com e sem adições, concluíram



que a taxa de carbonatação com cinza volante foi mais elevada do que a de concretos sem adições.

1.1.2 Influência da carbonatação na resistência

A afirmação que a carbonatação está diretamente ligada à resistência à compressão do concreto é uma simplificação inadequada, embora no final seja verdade. TAYLOR(1997) afirma que a resistência à compressão pode ser aumentada em até 100 por cento nas regiões carbonatadas. Segundo ROY et al. (1996), concretos com baixas resistências oferecem possibilidades de possuírem maiores espessuras de carbonatação. A relação a/c, o tipo de cimento ou ambos interferem na carbonatação, como também influenciam na resistência.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Esta pesquisa considerou uma série de combinações de variáveis, como relação a/agl., tipos e percentuais de adição, idade, tipo de cura, para determinar o efeito das adições minerais na carbonatação e sua influência na resistência à compressão.

2.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

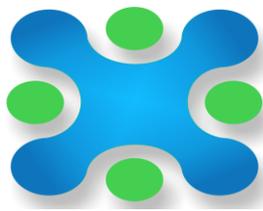
2.1.1 Variáveis

A escolha das variáveis, está atrelada a uma linha de pesquisa de um estudo mais amplo do comportamento do concreto, em andamento no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação - NORIE, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

a) A tabela 1 mostra a relação a/agl. e seus respectivos traços. A dosagem do concreto foi determinada pelo método IPT, previamente pelo grupo de pesquisa da UFRGS, considerando um grau de abatimento 60 ± 10 centímetros. As argamassas usadas na pesquisa foram obtidas através da retirada da água de absorção dos agregados graúdos.

Tabela 1 - Apresentação dos traços pesquisados.

RELAÇÃO A / AGLOM.	TRAÇOS
0,40	1:1,21:2,59
0,55	1:2,18:3,73
0,70	1:3,15:4,87



b) Idades: 3, 7, 28, 56, 91 e 126 dias.

c) Cura: úmida e em CO₂: Para se verificar a resistência à compressão, foram utilizados corpos de prova curados a umidade de 95%. A espessura de carbonatação foi pesquisada em cura úmida e cura carbonatada, com 5% de CO₂. Os corpos de prova permaneceram por 28 dias em câmara úmida e posteriormente foram encaminhados para uma câmara de sazonalização por 7 dias, isenta de CO₂, inserida no interior de uma câmara climatizada, com temperatura de 21±1,5 e umidade relativa de 68±2 por cento. A partir daí foram colocadas em câmara de carbonatação até a idade da pesquisa.

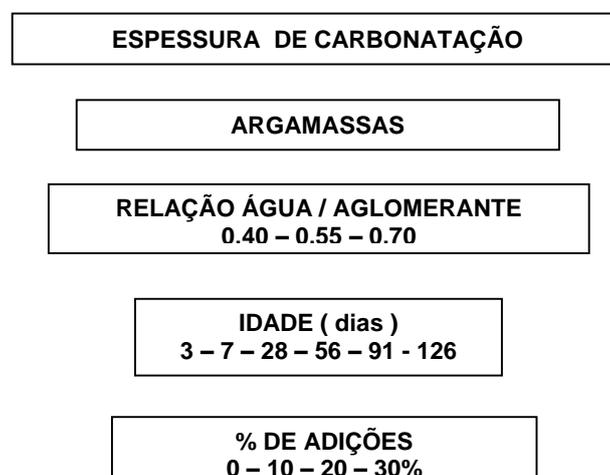
d) Tipos e percentuais de adições: Foram usadas sílica ativa, cinza volante e cinza de casca de arroz, com corpo de prova testemunho, 10, 20 e 30 por cento.

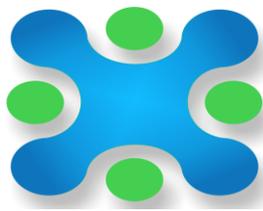
O cimento utilizado foi o CPI-S 32 e como agregado miúdo, a areia normalizada brasileira - NBR 7214/1982.

2.1.2 Espessura de carbonatação

A figura 1 mostra as variáveis utilizadas para medir a espessura de carbonatação, determinada por aspersão de fenolftaleína a 1 por cento.

Figura 1 - Variáveis utilizadas para determinar a espessura de carbonatação.

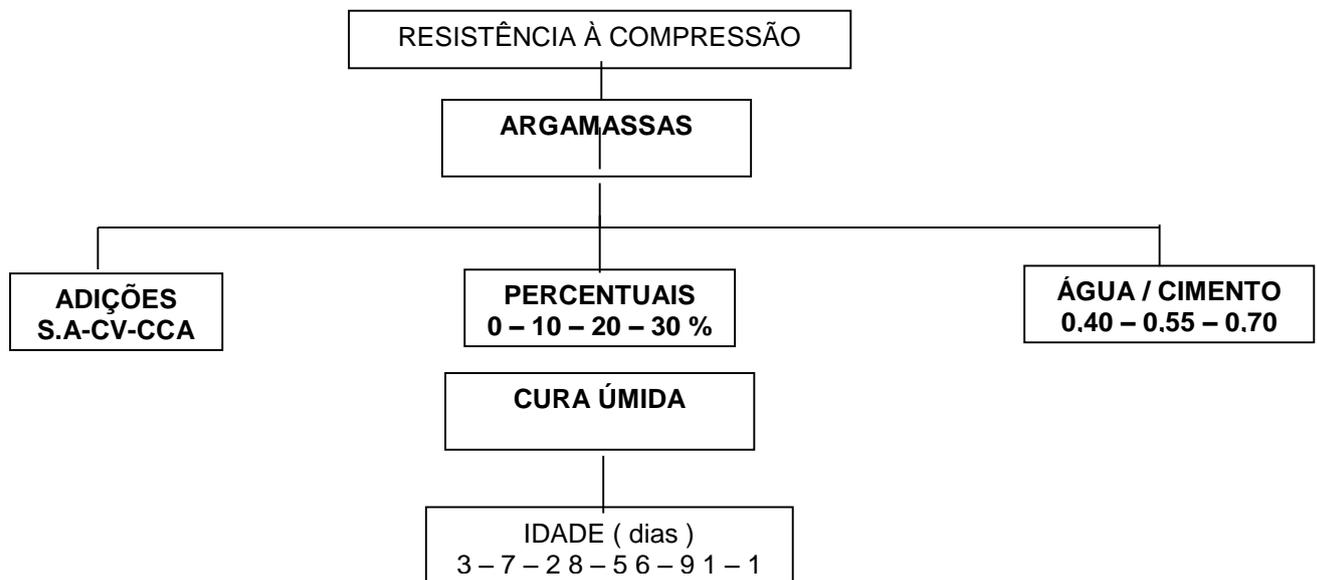




2.1.3 Resistência à compressão

Foram moldados 3 corpos de prova por idade, em argamassa, de 50 x 100 mm, seguindo a NBR 7215/1966 e de acordo com a figura 2.

Figura 2 - Fluxograma das variáveis utilizadas para os ensaios de resistência à compressão, onde S.A = sílica ativa; CV = cinza volante; CCA = cinza de casca de arroz.



3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1 CIMENTO

Foi utilizado o cimento Portland comum, tipo CPI-S 32, apresentando massa específica de 3,12 t/m³ (NBR 6474/1984) e a composição conforme tabelas 2 e 3.

Tabela - 2 Composição química do cimento utilizado na pesquisa - Fluorescência de Raio X.

Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	SrO
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2,3	11,0	4,3	73,0	6,1	1,3	0,9	0	0,2	0,5	0,4

Tabela - 3 Características físicas do cimento CPI-S 32 (Dados do fabricante).

Blaine	Tempo de pega (min)		# 200	# 325	Resistência à compressão (MPa)			
M ² /kg	Início	Final	%	%	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
308,52	204,13	311,18	2,13	9,59	14,03	27,41	32,65	40,13

3.2 AGREGADO MIÚDO

Foram utilizadas as quatro frações da areia normalizada brasileira, especificada de acordo com a NBR 7214/1982.

3.3 ADIÇÕES

3.3.1 Sílica ativa

Foi utilizada uma sílica ativa nacional, gerada no ano de 1996, cujas características encontram-se nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Características físicas da sílica ativa (Dados do fabricante).

FÍSICOS	MÍNIMA	MÉDIA	MÁXIMA
Umidade	0,42	0,67	0,84
Densidade (g / m ³)	0,32	0,40	0,53
PH	7,40	8,48	9,40

Tabela 5 - Composição química da sílica ativa, por Fluorescência de Raios X.

QUÍMICOS	% EM MASSA	QUÍMICOS	% EM MASSA
Fe ₂ O ₃	0,70	CaO	1,10
Al ₂ O ₃	0,10	MgO	1,50
K ₂ O	4,40	Na ₂ O	0,39
SiO ₂	91,00	P ₂ O ₅	0,097
SO ₃	0,16	Cl	0,29
Cr ₂ O ₃	0,22	MnO	0,19
ZnO	0,13	Rb ₂ O	0,058
SrO	0,044		

3.3.2 Cinza volante

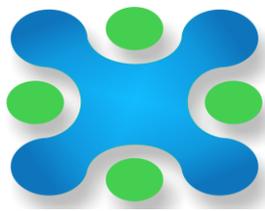
A cinza volante, utilizada na pesquisa, foi gerada na Usina Termelétrica de Charqueadas, RS e suas características químicas encontram-se na tabela 6.

Tabela 6 - Análise química da cinza volante pelo método de Fluorescência de Raios X.

QUÍM	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	SrO	Rb ₂ O	ZrO ₂	TOTAL
% PESO	63	20	7,1	0	0,9	2,8	0,1	3,2	2,4	0,1	0,1	0,03	0,04	0,1	99,87

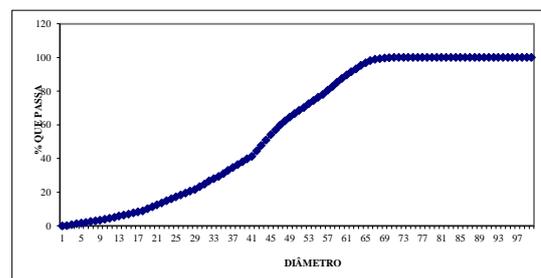
3.3.3 Cinza de casca de arroz

A cinza de casca de arroz é da cidade de Pelotas, no Estado do Rio Grande do Sul, gerada pela queima controlada em leito fluidizado. A finura foi definida pela análise granulométrica a laser em três tempos de moagem, 20, 30 e 50 minutos. Segundo METHA (1966), partículas maiores que 45 µm apresentam pequena ou nenhuma reatividade pozolânica, para uma condição normal de hidratação. Satisfazendo as condições de tamanho recomendadas por METHA (1996) e



analisando custos, chegou-se a conclusão que o tempo de moagem que melhor atendia as necessidades da pesquisa era de 30 minutos. Apresentou diâmetro médio de 11,68 μm , dez por cento da amostra com diâmetro de 1,97 μm e noventa por cento com 36,34 μm . A figura 3 mostra a curva granulométrica da cinza de casca de arroz.

Figura 3 - Curva granulométrica da cinza de casca de arroz, com diâmetro da partícula em μm .



4. PREPARO DAS AMOSTRAS

Para medir a espessura de carbonatação foram usados corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm, em argamassa. Em 24 horas foram desmoldados, recebendo um envolvimento de um filme de PVC. Foram ainda colocados em sacos de polietileno, completamente lacrados, para haver um total isolamento da umidade da câmara, visando obter as reações de hidratação somente com a água da mistura. Nas idades planejadas, foram rompidas fatias transversais de aproximadamente 2 centímetros, aspergindo fenolftaleína e a média dos quatro cantos centrados caracterizou o resultado final. A face rompida foi isolada com parafina aquecida, para obter a carbonatação somente pelas faces laterais.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1 ESPESSURA DE CARBONATAÇÃO POR COLORIMETRIA

Convém salientar as influências estatisticamente significativas da idade e relação a/agl. na carbonatação.

5.1.1 Efeito do tipo de cura na espessura de carbonatação

A figura 4 mostra a espessura de carbonatação em 126 dias de cura, sendo 91 com 5 % de CO_2 . A tabela 7 apresenta a Análise da Variância.

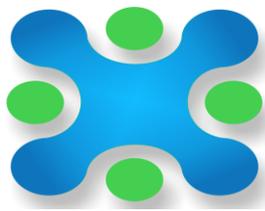


Figura 4 Espessura de carbonatação em função do tipo de cura.

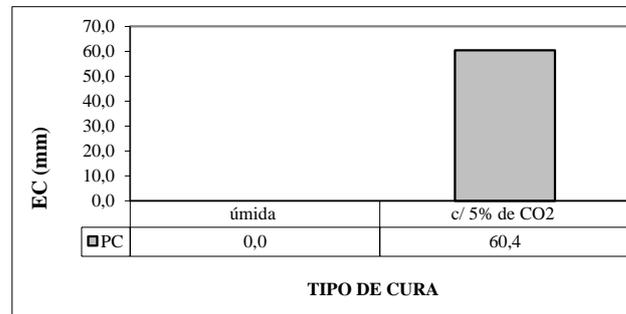


Tabela 7 Análise da Variância do efeito do tipo de cura na EC.

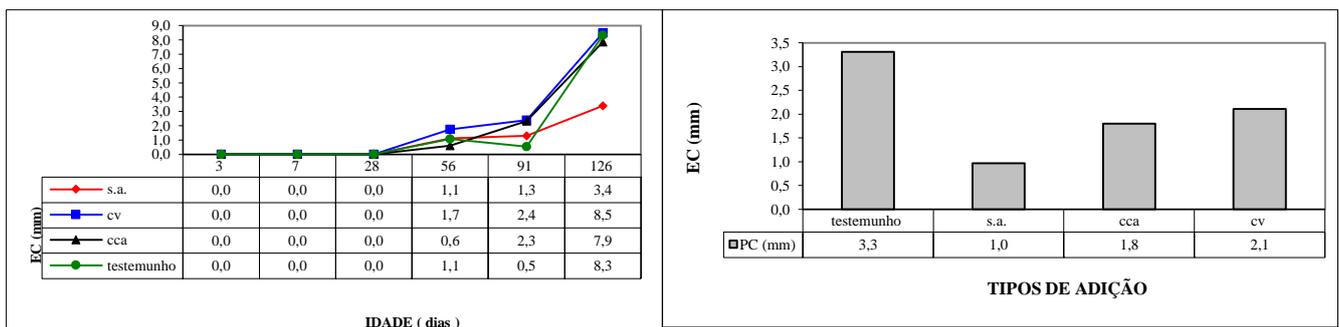
EC	SQ	MQ	F calculado	F crítico	SIGNIFICÂNCIA
CURA (ÚMIDA x 5% CO ₂)	50,72	50,72	12,18	3,98	S

Na figura 4 pode ser observado que somente carbonataram corpos de prova em câmara de carbonatação. Segundo ANOVA, de acordo com a tabela 7, indica que tipos de cura tem efeito estatisticamente significativo na EC.

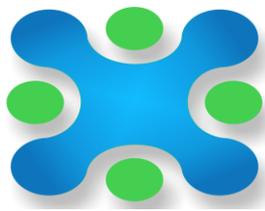
5.1.2 Efeito do tipo de pozolana na espessura de carbonatação

As figuras 5 e 6 apresentam resultados da espessura de EC, em corpos de prova em câmara de carbonatação, comparando tipos de adição. Segundo ANOVA, não houveram influências estatisticamente significativas dos tipos de adição na EC.

Figuras 5 e 6 Valores da espessura de carbonatação de pastas e argamassas em função do tipo de adição, ao longo da idade e EC média por tipo de adição aos 126 dias.



O comportamento da cinza volante e da cinza de casca de arroz foram muito semelhantes e que mais carbonataram. O corpo de prova testemunho teve um acréscimo na carbonatação a partir de 91 dias. A sílica ativa, devido sua elevada finura, age também pelo efeito filer, ocorrendo um maior fechamento dos poros, dificultando a carbonatação. Em todos os tipos de adição a carbonatação ocorreu

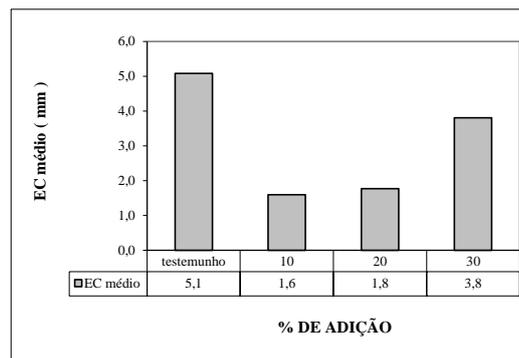


de forma mais intensa a partir de 91 dias. De acordo com a figura 6, o corpo de prova testemunho mais carbonatou e entre as adições, os maiores valores ocorreram com a cinza volante, seguida pela cinza de casca de arroz e sílica ativa.

5.1.3 Efeito da quantidade de pozolana na espessura de carbonatação

Na figura 7 estão apresentados os resultados da espessura de carbonatação em relação à quantidade de pozolana. A Análise da Variância não se mostrou significativa. A menor espessura de carbonatação ocorreu quando se utilizou 10% de adição mineral. VAGHETTI (1999), comparando corpos de prova testemunho, com 10 e 20 por cento de sílica ativa, para relação a/agl. 0,56, obteve resultados semelhantes.

Figura 7 Espessura de carbonatação em função do percentual de adição.

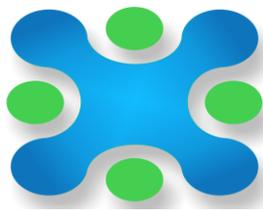


5.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

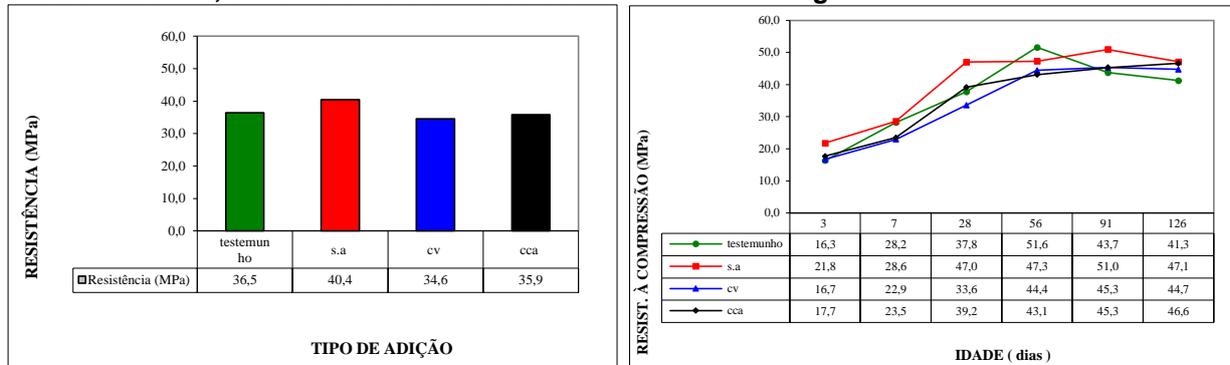
É consagrado no meio científico internacional, que o aumento da resistência à compressão ocorre com a idade e a redução da relação a/aglom. No anexo B encontram-se os resultados obtidos da resistência à compressão.

5.2.1 Resistência à compressão em função do tipo de pozolana

As figuras 8 e 9 apresentam valores de resistência à compressão em função do tipo de pozolana.



Figuras 8 e 9 - Resistência média à compressão do corpo de prova testemunho e com adição de sílica ativa, cinza volante e cinza de casca de arroz ao longo de 126 dias de cura.

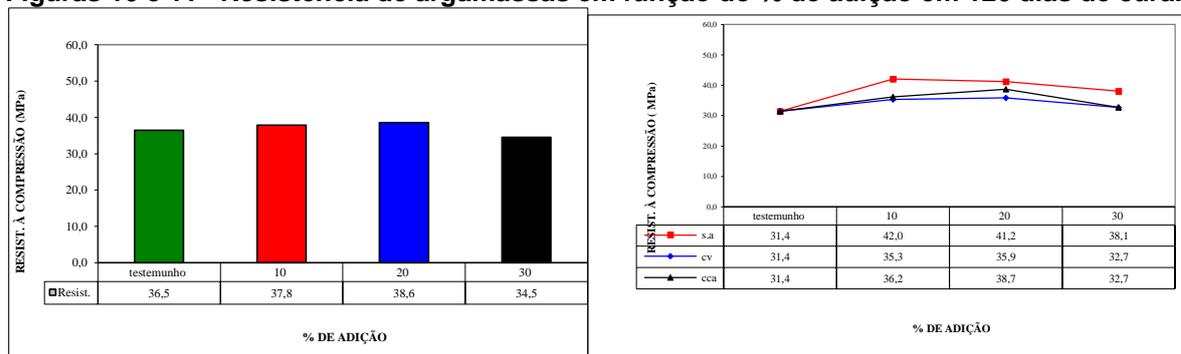


Segundo ANOVA, não ocorreu efeito estatisticamente significativo entre o corpo de prova testemunho e os tipos de adição na resistência à compressão. Corpos de prova com sílica ativa alcançaram as maiores resistências, seguido pelos corpos de prova testemunho, cinza de casca de arroz e cinza volante. Na figura 9 pode ser observado que somente os corpos de prova com adição de cinza de casca de arroz tiveram um crescimento contínuo ao longo de todas as idades.

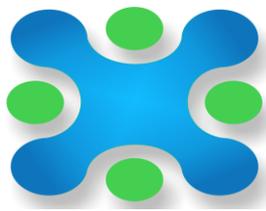
5.2.2 Resistência à compressão em função da quantidade de pozolana

As figuras 10 e 11 apresentam resultados da resistência à compressão em função da quantidade de pozolana. A Análise da Variância não se mostrou significativa quanto a quantidade de pozolana na resistência à compressão.

Figuras 10 e 11 Resistência de argamassas em função do % de adição em 126 dias de cura.



Na figura 10 pode-se observar que os melhores resultados de resistência à compressão foram alcançados para adições entre 10 e 20 %. A figura 11 apresenta o comportamento dos percentuais por tipo de adição, onde corpos de prova com



10% de sílica ativa alcançaram os melhores desempenhos, seguidos pela cinza de casca de arroz e cinza volante, ambos com 20 %. MALHOTRA e MEHTA (1996), estudando sílica ativa concluíram que, para construções gerais uma dosagem ótima está entre 7 e 10 %.

5.2.3 Relação entre resistência à compressão e espessura de carbonatação

A figura 12 apresenta uma nuvem de pontos identificados por tipo de adição, relacionando resistência à compressão e espessura de carbonatação (EC) e na tabela 8 pode ser observado valores de resistência e EC por faixa de resistência.

Figura 12 Relação entre resistência à compressão e EC para os diferentes tipos de adição.

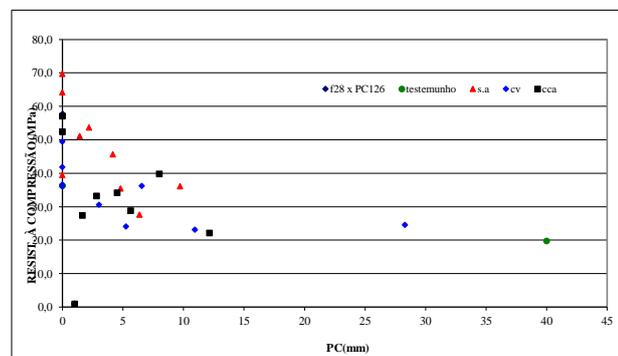




Tabela 8 Valores de resistência à compressão e espessura de carbonatação por faixa de resistência aos 126 dias.

FAIXA DE RESIST.	DISCRIMINAÇÃO	RESIST.	RESIST. MÉDIA POR ADIÇÃO	EC ₁₂₆	EC média 126 / ADIÇÃO	EC média 126 / FAIXA
10 à 20 MPa	0,70 testemunho	19,78 MPa	Testemunho	19,78 MPa	40 mm	40 mm
20 à 30 MPa	0,70sa20%	27,58 MPa	s.a	27,58 MPa	6,37 mm	6,37 mm
	0,55cv30%	24,09 MPa			5,25 mm	
	0,70cv10%	23,10 MPa	Cv	23,92 MPa	10,96 mm	14,84 mm
	0,70cv30%	24,57 MPa			28,31 mm	9,23 mm
	0,55cca10%	27,38 MPa			1,65 mm	
	0,70cca10%	28,78 MPa	Cca	26,10 MPa	5,64 mm	6,48 mm
	0,70cca30%	22,14 MPa			12,15 mm	
30 à 40 MPa	0,55 testemunho	36,24 MPa	Testemunho	36,24 MPa	0 mm	0 mm
	0,40sa30%	39,37 MPa			0 mm	
	0,70sa10%	35,99 MPa	s.a	37,14 MPa	4,82 mm	4,85 mm
	0,70sa30%	36,06 MPa			9,72 mm	
	0,40cv20%	36,52 MPa			0 mm	
	0,55cv10%	36,07 MPa	Cv	34,83 MPa	0 mm	2,39 mm
	0,55cv20%	30,56 MPa			3,02 mm	
	0,70cv20%	36,17 MPa			6,55 mm	
	0,55cca20%	33,19 MPa			2,82 mm	
	0,55cca30%	34,12 MPa	Cca	35,71 MPa	4,52 mm	5,10 mm
40 à 50 MPa	0,55sa30%	45,63 MPa	As	45,63 MPa	4,16 mm	4,16 mm
	0,40cv10%	49,39 MPa			0	0
	0,40cv30%	41,79 MPa	Cv	45,59 MPa	0	0
50 à 60 MPa	Testemunho 0,40	57,35 MPa	Testemunho	57,35 MPa	0	0
	0,55sa10%	51,07 MPa			1,42 mm	
	0,55sa20%	53,61 MPa	s.a	52,34 MPa	2,19 mm	1,80 mm
	0,40cca10%	52,37 MPa			0	
	0,40cca20%	57,75 MPa	Cca	55,72 MPa	0	0
	0,40cca30%	57,04 MPa			0	

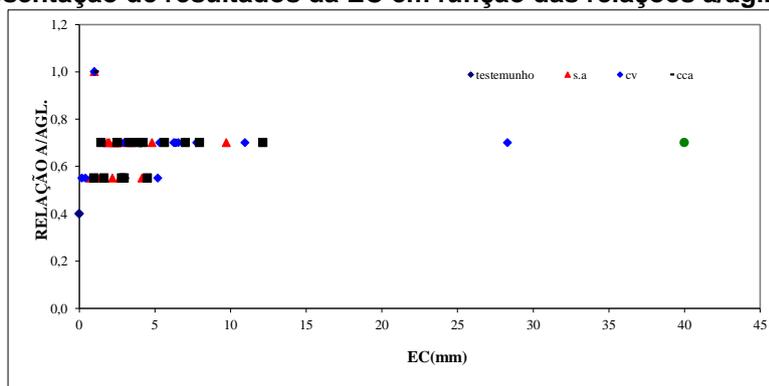


> 60 MPa	0,40sa10%	64,17 MPa			0		
	0,40sa20%	69,62 MPa	s.a	66,90 MPa	0	0	0



Na tabela 8 pode ser observado que para uma mesma faixa de resistência à compressão existe uma grande variabilidade da espessura de carbonatação, que pode ser melhor visualizado na figura 12. Baixas resistências à compressão, proporcionam maiores valores de EC e a espessura de carbonatação é reduzida quando há um aumento da resistência à compressão. Até 30 MPa corpos de prova com cinza volante tiveram as maiores espessuras de carbonatação, porém na faixa entre 40 e 50 MPa a EC foi nula. Corpos de prova com sílica ativa, mesmo com o aumento da resistência, tiveram EC igual a zero acima de 60 MPa. Observa-se também, que a partir de uma resistência de 30MPa, foi possível obter misturas que apresentaram EC nula, e que abaixo de 30 MPa todas as misturas sofreram carbonatação, independentemente de possuírem ou não adições. A figura 13 mostra valores de EC em função das relações a/agl. 0,40, 0,55 e 0,70.

Figura 13 Apresentação de resultados da EC em função das relações a/agl. 0,40, 0,55 e 0,70.



Na figura 13 pode ser observado que não houve carbonatação para a relação a/agl. 0,40 e os maiores valores da espessura de carbonatação ocorreram na relação a/agl. 0,70, independente do tipo de adição e sim da porosidade, pela elevada relação a/agl.. Comparando corpo de prova testemunho e com adição, para a relação a/agl. 0,70, observa-se que a presença de adição reduz significativamente a carbonatação. Por outro lado, para uma mesma faixa de resistência, a presença de adição proporciona um aumento da carbonatação porque o crescimento da resistência para corpos de prova com adição, apesar de estar associado à redução da porosidade, significa uma diminuição da reserva alcalina da pasta hidratada, o que favorece a



carbonatação. Isto pode ser observado analisando as faixas de resistência de 30 a 40 MPa e entre 50 e 60 MPa.

É sabido que a relação a/agl . possui influência direta e altamente significativa na resistência à compressão, que proporciona uma maior ou menor porosidade, dificultando ou não a difusão do CO_2 do meio ambiente no concreto. Pode-se concluir que a espessura de carbonatação é gerida principalmente pela relação a/agl . e não pela resistência à compressão.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Cabe aqui destacar que as conclusões obtidas no presente trabalho, são decorrentes das variáveis estudadas, limitados a uma certa quantidade de dados e interações, servindo como uma contribuição para este importante tema, que ainda necessita ser mais desvendado.

6.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O tipo e percentual de adições minerais não se mostraram estatisticamente significativos no aumento da resistência à compressão.

6.2 ESPESSURA DE CARBONATAÇÃO

Em 126 dias de pesquisa, somente carbonataram corpos de prova curados com 5% de CO_2 . Segundo ANOVA, a idade, a relação a/agl . e o tipo de cura foram estatisticamente significativos no resultado da espessura de carbonatação, podendo-se também concluir que o uso de adições minerais tendem a reduzir a EC.

6.3 EFEITO DA INTERAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E EC

Foi observado que com aumento da resistência houve uma redução da EC, como também, que para uma mesma faixa de resistência foram constatadas variações significativas na EC, podendo-se concluir que não existe uma relação direta de dependência da resistência à compressão na espessura de carbonatação e sim que a carbonatação é gerida principalmente pela relação a/agl ..



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DAL MOLIN, D. C. C. – **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de Alta Resistência com e sem adições de microssílica.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 286 p., 1995.
- GJORV, O. E. – **Effect of condensed silica fume on steel corrosion in concrete.** ACI Materials Journal – Technical Paper, October, p. 591-598, 1997.
- ISAIA, G. C. **Efeitos de Misturas Binárias e Ternárias de Pozolanas em Concreto de Elevado Desempenho: Um Estudo da Durabilidade com vistas a Corrosão da Armadura.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1995.
- JOHN, V. M. ; TUDISCO, M. Durabilidade e Carbonatação do Concreto Armado na Revisão da NBR 6118. In : **Seminário de Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto** Porto Alegre, 1993, NORIE / UFRGS, p. 29-38,1993.
- MALHOTRA, V. M.; MEHTA,P. K.; **Pozzolanic and Cementitious Materials.** Gordon and Breach Publishers, Advanced Concrete Technology Program, CANMET, Ottawa, 191 p., 1996.
- ROY, S. K. ; BENG, P. K. ; NORTWOOD, D. O. **The Carbonation of Concrete structures in the Tropical Environment of Singapore and a Comparison with Published Data for Temperature Climates.** Magazine of Concrete Research, 48, No. 177, pp. 293 – 300, 1996.
- TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry.** Thomas Telford Publishing, London, 1997.
- VAGHETTI, M. A. O. - **Efeitos da cinza volante com cinza de casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonatação do concreto de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.



Tabela A - Resultados da espessura de carbonatação para corpos de prova em argamassa, de corpo de prova testemunho e com adições de sílica ativa, cinza volante e cinza de casca de arroz em cura com 5% de CO₂ a partir dos 35 dias de cura.

ESPESSURA DE CARBONATAÇÃO EM ARGAMASSAS (mm)							
TIPOS DE ADIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	IDADE (dias)					
		3	7	28	56	91	126
TESTEMUNHO	0,40				-	-	-
	0,55				-	-	-
	0,70				3,1	2,7	40,0
SÍLICA ATIVA	0,40SA10%				-	-	-
	0,40SA20%				-	-	-
	0,40SA30%				-	-	-
	0,55SA10%				-	-	1,4
	0,55SA20%				-	1,2	2,2
	0,55SA30%				0,7	2,7	4,2
	0,70SA10%				2,0	2,3	4,8
	0,70SA20%				1,8	2,8	6,4
	0,70SA30%				2,4	3,4	9,7
CINZA VOLANTE	0,40CV10%				-	-	-
	0,40CV20%				-	-	-
	0,40CV30%				-	-	-
	0,55CV10%				0,2	-	-
	0,55CV20%				0,00	-	3,0
	0,55CV30%				0,4	-	5,2
	0,70CV10%				5,3	4,1	10,1
	0,70CV20%				3,40	3,0	6,6
	0,70CV30%				6,2	7,8	28,3
	0,40CCA10%				-	-	-
0,40CCA20%				-	-	-	
0,40CCA30%				-	-	-	
0,55CCA10%				-	-	1,6	



CINZA DE CASCA DE ARROZ	0,55CCA20%				-	-	2,8
	0,55CCA30%				1,0	3,0	4,5
	0,70CCA10%				1,4	3,3	5,6
	0,70CCA20%				2,6	4,2	8,0
	0,70CCA30%				3,9	7,0	12,2

Tabela B – Resultados de resistência em argamassas e coeficiente de variação (Cv) de corpo de prova testemunho e com adição de sílica ativa, cinza volante e cinza de casca de arroz com 95% de umidade.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)													
TIPOS DE ADIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	3 DIAS		7 DIAS		28 DIAS		56 DIAS		91 DIAS		126 DIAS	
		R _{média}	Cv %										
TESTEMUNHO	0,40	23,1	2,2	40,4	4,8	57,4	7,3	63,0	5,0	60,6	12,5	65,4	1,0
	0,55	14,2	11,7	23,0	6,6	36,2	5,1	49,0	1,8	44,5	2,3	34,8	3,6
	0,70	11,8	9,5	21,2	5,0	19,8	4,1	42,7	5,8	26,1	11,7	23,6	5,9
	0,40SA10%	32,7	6,8	40,2	8,5	64,2	7,4	68,2	6,4	64,0	3,1	60,6	13,1
	0,40SA20%	36,3	4,6	33,8	4,1	69,6	5,6	46,0	22,3	65,2	3,9	53,5	6,1
SÍLICA ATIVA	0,40SA30%	23,2	3,7	35,7	20,3	39,4	15,4	54,0	7,5	51,7	11,8	54,3	4,1
	0,55SA10%	19,4	3,0	23,1	0,9	51,1	1,5	50,5	5,3	54,1	3,0	61,8	2,1
	0,55SA20%	23,5	2,3	25,2	1,2	53,6	6,9	47,0	8,7	54,2	3,4	42,4	7,2
	0,55SA30%	15,2	3,3	32,4	2,1	45,6	6,0	53,4	2,9	45,8	18,9	31,8	10,2
	0,70SA10%	12,0	3,9	20,0	3,8	36,00	6,1	28,5	9,9	40,7	7,8	29,5	4,6
	0,70SA20%	14,0	4,9	20,4	8,3	27,6	4,8	41,9	9,4	41,6	8,4	46,1	2,5
	0,70SA30%	19,7	1,5	26,4	0,1	36,1	0,4	36,1	1,7	41,3	9,1	43,8	20,6
	0,40CV10%	23,4	2,6	36,4	9,4	49,4	4,6	63,2	8,1	62,0	8,6	68,2	1,5
	0,40CV20%	27,1	0,5	33,1	5,0	36,5	3,6	60,9	2,4	67,2	3,5	67,8	8,5
	0,40CV30%	29,4	5,0	35,4	7,6	41,8	6,9	58,9	1,8	62,4	8,8	59,8	13,0
CINZA VOLANTE	0,55CV10%	15,2	1,2	23,4	6,6	36,1	5,2	35,6	2,5	25,5	1,1	32,0	6,2
	0,55CV20%	14,8	2,5	20,1	9,6	30,6	4,8	28,3	8,9	51,3	1,8	49,7	7,2
	0,55CV30%	15,1	4,5	20,0	5,9	24,1	7,9	40,9	7,0	32,0	14,1	31,5	4,0
	0,70CV10%	11,8	0,6	16,3	4,6	23,1	4,6	42,3	4,0	42,1	5,2	29,3	-
	0,70CV20%	5,8	7,1	10,0	2,2	36,2	4,3	42,2	7,5	36,6	6,4	27,8	6,5



	0,70CV30%	8,1	5,1	11,3	7,0	24,6	8,7	27,8	5,6	28,8	6,2	36,5	5,3
	0,40CCA10%	28,1	4,8	36,9	16,6	52,4	3,8	58,9	7,7	54,3	6,6	72,1	6,0
	0,40CCA20%	31,9	3,2	38,1	3,0	57,8	2,0	67,5	7,5	69,4	2,6	57,3	10,1
	0,40CCA30%	24,3	7,0	35,8	12,3	57,0	7,1	63,5	2,4	59,0	5,9	59,8	7,8
	0,55CCA10%	18,4	6,7	15,8	1,2	27,4	3,7	41,7	7,5	40,8	9,7	45,4	2,6
CINZA DE CASCA DE ARROZ	0,55CCA20%	13,9	3,3	22,6	11,0	33,2	1,6	45,5	6,4	45,7	1,2	52,8	5,6
	0,55CCA30%	8,9	6,9	21,7	1,5	34,1	2,0	28,9	4,4	34,0	5,8	35,8	8,8
	0,70CCA10%	19,1	9,2	14,3	6,1	28,8	3,2	23,1	4,2	35,2	1,5	39,1	12,4
	0,70CCA20%	6,4	3,9	13,1	2,2	39,8	1,6	29,7	20,0	39,0	9,2	33,3	4,4
	0,70CCA30%	8,3	6,2	13,0	5,9	22,1	3,9	28,9	14,3	31,2	9,2	23,9	2,9