

ESTUDO DO METACAULIM PARA OBTENÇÃO E PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

Study of metakaolin for obtaining and producing of self-compacting concrete (SCC)

Estudio de metacaolín para obtener y producir hormigón autocompactante (HAC)

Alan Henrique Vicentini

Mestrando, UNESP, Brasil.
Vicentini.alanh@gmail.com

Camila Cassola Assunção

Graduanda, UNESP, Brasil.
Camila.cassola.assuncao@gmail.com

Jorge Luis Akasaki

Professor Doutor, UNESP, Brasil.
Jorge.akasaki@gmail.com

RESUMO

As pesquisas relacionadas ao concreto autoadensável (CAA) estão se ampliando no Brasil. Dentre as pesquisas relacionadas ao CAA, destacam-se os trabalhos que procuram obter novos métodos de dosagem para concretos autoadensáveis. Este trabalho propõe o estudo do metacaulim como material fino para produção de CAA com materiais disponíveis na região de Ilha Solteira – SP, através do método de dosagem de Gomes, Gettu e Agulló (2009). Foram realizados ensaios de caracterização reológica do concreto no estado fresco, sendo eles: teste do espalhamento de tronco de cone de Abrams, teste da Caixa L e Funil em V. No estado endurecido, foram realizados ensaios de absorção de água por imersão e resistência à compressão axial aos 7, 28 e 56 dias. Os ensaios seguiram as normas vigentes na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Com os dados obtidos, verificou-se qual quantidade de metacaulim utilizada proporcionou melhores resultados e qual o teor mínimo de pasta necessário ao CAA.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto autoadensável. Metacaulim. Adição mineral.

ABSTRACT

Researches related to self-compacting concrete (SCC) are expanding in Brazil. Among researches related to SCC, stand out works which aim to obtain new dosage methods for SCC. This paper proposes metakaolin study as fine material to SCC production with available materials in Ilha Solteira – SP, using the Gomes, Gettu e Agulló (2009) dosage method. Was realized rheological characterization tests in fresh concrete, being them: slump flow test, L-Box test and V-funnel test. In hardened state, was carried out water absorption by immersion and axial compression strength at 7, 28 and 56 days. The tests followed the present standards in Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). With the obtained data, it was found the metakaolin amount that provides better results and minimum paste content necessary to SCC.

KEYWORDS: Self Compacting Concrete. Metakaolin. Mineral admixture.

ABSTRACTO

La investigaciones relacionadas con hormigón autocompactante (HAC) se expandiendo en Brasil. Entre las investigaciones relacionadas con la HAC, destacamos las obras que buscan nuevos métodos de dosificación para hormigones autocompactantes. Este trabajo propone el estudio del mecaolin como material fino para la producción de HAC con materialis disponibles en la región de Ilha Solteira – Sp, a través de método del método de dosificación de Gomes, Gettu y Agulló (2009). Se llevaron a cabo pruebas de caracterización reológica del hormigón en el estado fresco: como sigue: prueba de dispersión troncocónica de Abrams, prueba de case L e prueba de embudo V. En el estado endurecido se llevaron a cabo pruebas de absorción de agua y prueba de resistencia la compresión axial a los 7, 28 y 56 días. Las pruebas siguen las normas vigentes en la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT). Con los datos obtenidos, se encontró la mejor cantidad de metacaolín a emplear y lo que el contenido mínimo requerido de pasta a la HAC.

PALABRAS-CLABE: Hormigón Autocompactante. Metacaolín. Adición mineral.

INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) é considerado um marco no avanço tecnológico das últimas décadas e possui grande potencial de ser cada vez mais utilizado na indústria da construção civil. Este concreto despertou grande interesse dos pesquisadores da área devido às suas propriedades reológicas no estado fresco, relacionadas à composição granulométrica dos componentes, empacotamento dos grãos, adições, aditivos e dosagem diferenciada.

O primeiro estudo relacionado ao concreto autoadensável foi desenvolvido em 1988 por Hajime Okamura, no Japão, com a intenção de produzir um concreto que fosse capaz de escoar e preencher os vazios em seu interior sem necessidade de vibração ou compressão, uma vez que na época, a mão de obra especializada estava gradualmente se reduzindo, segundo Kannan e Ganesan (2014). Segundo o criador, Okamura (1997), este concreto possuía como características no estado fresco a capacidade de eliminar vazios e atravessar barras de aço e obstáculos com ação de seu peso próprio, podendo ser usado para estruturas altamente reforçadas com aço, onde era muito difícil a utilização de aparelho vibrador.

O CAA pode ser diferenciado dos demais concretos pelas seguintes propriedades: fluidez, habilidade passante e resistência à segregação. Por conta das vantagens que as propriedades citadas podem trazer às técnicas de aplicação e ao desempenho do concreto, o CAA tem atraído cada vez mais pesquisadores, contribuindo ricamente para esta área que ainda necessita de aprimoramento para ser utilizada em larga escala no Brasil.

Outro fator que torna o crescimento do uso de CAA favorável é a possibilidade de substituição parcial de cimento por adições minerais, reduzindo assim, o consumo de matérias-primas provenientes da produção de cimento. Além disto, estima-se que 1 tonelada de cimento produzido libera 1 tonelada de dióxido de carbono, principal gás responsável pela chuva ácida e poluição atmosférica.

Desta forma, realizando a substituição parcial de cimento por adições minerais na produção de CAA, haverá uma importante redução de impactos ambientais provenientes da extração das jazidas de calcário e da poluição atmosférica, relacionadas à produção de cimento Portland, que é responsável por aproximadamente 5% da emissão mundial de CO₂, segundo Bittencourt (2011).

O metacaulim é uma adição mineral que tem sua composição à base de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) e seu processo de produção tem menor potencial de poluição que o cimento. Comparando as temperaturas de queima na produção de metacaulim (de 600 °C a 900 °C) e cimento (1300 °C), nota-se que a diferença entre os valores proporciona ao metacaulim uma menor liberação de CO₂, por necessitar menor temperatura de queima.

Tendo como vantagens a melhoria nas propriedades do concreto e o ganho ambiental por emitir menor quantidade de CO₂, o metacaulim mostra-se uma boa opção na substituição parcial de cimento Portland na produção de CAA.

OBJETIVOS

Este estudo visa obter concreto autoadensável utilizando metacaulim como material fino e analisar as propriedades reológicas e mecânicas do concreto à medida que o teor de pasta varia na mistura.

METODOLOGIA

MATERIAIS

Para a produção de concreto autoadensável foram utilizados: cimento Portland CP II-Z-32 como aglomerante, areia média natural como agregado miúdo, brita basáltica como agregado graúdo, metacaulim como adição mineral, utilizado na substituição de parte de cimento Portland e aditivo superplastificante a base de policarboxilato. Os materiais utilizados foram caracterizados conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

DOSAGEM E PRODUÇÃO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS

Para produzir os traços de concreto autoadensável, foi utilizado o método de dosagem proposto por Gomes, Gettu e Agulló (2009). A primeira etapa da dosagem é avaliar as propriedades reológicas da mistura, como viscosidade e fluidez, chamada de otimização da pasta do CAA. A segunda etapa é a otimização do esqueleto granular, que consiste em determinar a proporção ideal de agregados miúdo e graúdo, a fim de promover um melhor empacotamento das partículas. Na terceira etapa, avalia-se qual é o menor teor de pasta que garantirá à mistura as características de um CAA no estado fresco, de forma que o concreto atenda aos requisitos e seja o mais econômico possível.

OTIMIZAÇÃO DA PASTA

Nesta etapa, determinou-se o teor de saturação do aditivo superplastificante, de acordo com as relações água/cimento e metacaulim/cimento adotadas. Foram realizadas substituições de cimento por metacaulim nos teores de 10%, 20% e 30% em massa e a relação água/cimento variou de acordo com a necessidade de fluidez da mistura. Variou-se também a relação superplastificante/cimento (sp/c). Foi realizado ensaio de funil de Marsh aos 5, 15, 25, 35 e 45 minutos, para avaliação da fluidez da pasta. Os traços produzidos estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Pastas produzidas para a o ensaio de funil de Marsh

Material	Cimento	Metacaulim	Água	Aditivo	Relação sp/c
	0,9	0,1	0,45	0,0009	0,001
Traços com	0,9	0,1	0,45	0,0018	0,002
10% de	0,9	0,1	0,45	0,0027	0,003
metacaulim	0,9	0,1	0,45	0,0036	0,004
	0,9	0,1	0,45	0,0045	0,005
	0,8	0,2	0,52	0,0008	0,001
Traços com	0,8	0,2	0,52	0,0016	0,002
20% de	0,8	0,2	0,52	0,0024	0,003
metacaulim	0,8	0,2	0,52	0,0032	0,004
	0,8	0,2	0,52	0,0040	0,005
	0,7	0,3	0,60	0,0007	0,001
Traços com	0,7	0,3	0,60	0,0014	0,002
30% de	0,7	0,3	0,60	0,0021	0,003
metacaulim	0,7	0,3	0,60	0,0028	0,004
	0,7	0,3	0,60	0,0035	0,005

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

No ensaio de funil de Marsh, foi cronometrado o tempo que a mistura leva para escoar 1000 mL no equipamento. Por meio da curva do logaritmo do tempo de escoamento em função da relação sp/c, identificou-se o ponto de saturação do aditivo.

OTIMIZAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR

Nesta etapa determinou-se a melhor relação areia/brita, de forma que a mistura possua o menor índice de vazios possível. Foram confeccionadas 7 misturas, variando de 35% a 65% de areia em massa. As misturas descritas estão na Tabela 2.

Tabela 2: Misturas de agregados

Mistura	1	2	3	4	5	6	7
Teor de areia (%)	35	40	45	50	55	60	65
Teor de brita (%)	65	60	55	55	45	40	35

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS DE CAA

Por meio de equações que constam de Gomes e Barros (2009), determinou-se o consumo dos materiais nos traços confeccionados. Foram obtidos 9 traços, com 38%, 40% e 42% de volume de pasta na mistura e substituição de cimento por metacaulim nos teores de 10%, 20% e 30% em massa.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DO CAA

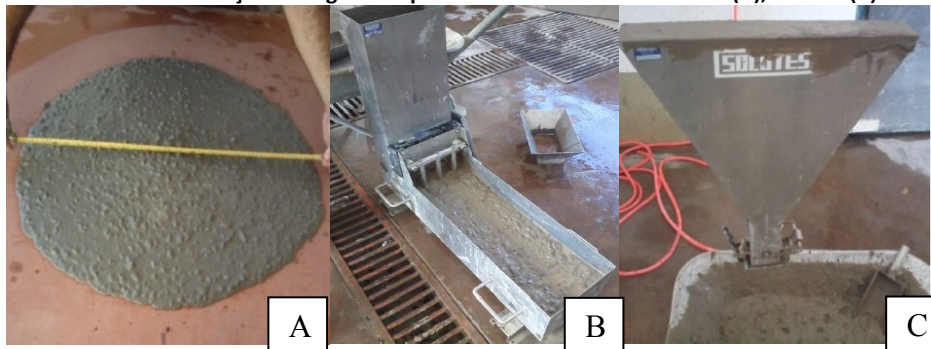
Os ensaios de caracterização dos concretos no estado fresco que foram realizados estão dispostos na Tabela 3, e a Figura 1 exemplifica a operação dos ensaios.

Tabela 3: Ensaios de caracterização reológica dos CAAs

Ensaio	Norma vigente	Avalia	Valores aceitos
Espalhamento de cone de Abrams (Slump Flow Test)	NBR 15823-2	Fluidez e resistência à segregação	Entre 600 e 750 mm
Ensaio da caixa-L (L-Box Test)	NBR 15823-4	Habilidade passante	Entre 0,8 e 0,9
Ensaio de funil V (V-Funnel Test)	NBR 15823-5	Viscosidade e fluidez	Entre 5 e 10 segundos

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

Figura 1: Ensaios de caracterização reológica – Espalhamento de cone de Abrams (A), Caixa-L (B) e Funil V (C)



Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios realizados no estado endurecido estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Ensaios de caracterização reológica dos CAAs

Ensaio	Norma respectiva	Idades
Resistência à compressão axial	NBR 5739	7, 28 e 56 dias
Absorção de água por imersão	NBR 9778	7, 28 e 56 dias

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As caracterizações do cimento e do metacaulim são apresentadas na tabela 5.

Tabela 5: Caracterização química do cimento e do metacaulim

Cimento Portland CP II-Z-32	Especificações			Limites – NBR 15.894-1
	NBR 5736/NBR 11578 máx.	Metacaulim		
SiO ₂	20,10	-	58,39	44,0%-65,0%
Fe ₂ O ₃	3,07	-	2,71	-
Al ₂ O ₃	5,18	-	35,47	32,0%-46,0%
CaO	56,88	-	0,01	
MgO	5,81	6,5	0,30	CaO+MgO<1,5%
SO ₃	3,16	4,0	-	<1,5%
Na ₂ O	0,13	-	-	<0,5%
K ₂ O	0,76	-	1,44	<2,3%
Equivalente Alcalino	0,62	-	-	-
Cal livre em CaO	2,31	-	-	-

Fonte: COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP

OTIMIZAÇÃO DA PASTA

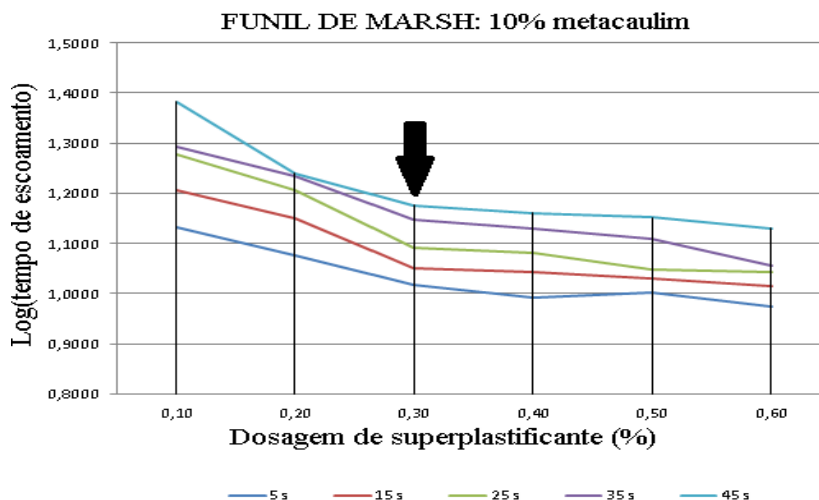
A tabela 6 e a Figura 2 mostram os resultados do ensaio de funil de Marsh para as pastas com 10% de metacaulim, as quais estão expostas de acordo com a relação superplastificante/cimento.

Tabela 6: Tempo de escoamento (em segundos) das pastas com 10% de metacaulim

Relação sp/c	5 minutos	15 minutos	25 minutos	35 minutos	45 minutos
0,001	13,60	16,11	18,95	19,66	24,16
0,002	11,93	14,10	16,10	17,15	17,4
0,003	10,41	12,06	13,05	14,02	15,01
0,004	9,83	11,05	12,07	13,09	13,95
0,005	9,00	10,70	11,16	11,77	12,53
0,006	8,95	9,15	9,40	9,79	9,80

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

Figura 2: Determinação do ponto de saturação do superplastificante



Pelo gráfico da Figura 2, verifica-se que o ponto de saturação ocorre para sp/c igual a 0,3.

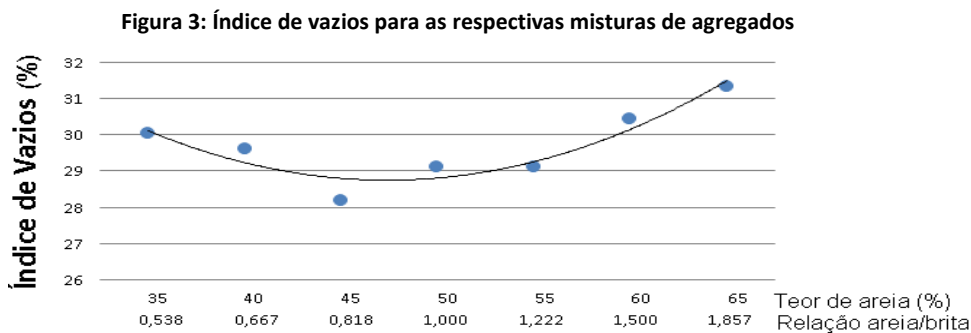
OTIMIZAÇÃO DO ESQUELETO GRANULAR

A Tabela 7 mostra as misturas de agregados confeccionadas com diferentes relações areia/brita e suas respectivas massas unitárias e índices de vazios, calculados de acordo com a NBR NM 45 – 2006. A Figura 3 apresenta os valores de índices de vazios, indicando que a mistura que confere o menor índice de vazios possui 47% de areia e 53% de brita, em massa. Portanto, a relação areia/brita (a/b) é 0,887.

Tabela 7: Determinação do índice de vazios das misturas de areia e brita

Mistura	1	2	3	4	5	6	7
Relação Areia/Brita	0,54	0,67	0,82	1	1,22	1,5	1,86
Amostra 1 (kg)	11	10,88	11,06	10,92	10,87	10,56	10,4
Amostra 2 (kg)	10,93	10,97	11,11	10,83	10,75	10,6	10,36
Amostra 3 (kg)	10,81	10,91	11,08	10,9	10,86	10,54	10,36
Média (kg)	10,91	10,92	11,08	10,88	10,83	10,57	10,37
Massa unitária – pap (kg/m ³)	1965,52	1966,72	1996,14	1960,12	1949,91	1903,09	1868,27
Índice de vazios – Ev (%)	30,04	29,62	28,19	29,11	29,1	30,43	31,33

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR



Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS DE CAA

A Tabela 8 traz o consumo dos materiais para cada traço de CAA produzido e a nomenclatura utilizada. Por exemplo, o traço CAA₃₈₋₁₀ possui 38% de pasta, em volume, e 10% de substituição de cimento por metacaulim, em massa.

Tabela 8: Traços de CAA dosados para confecção

Consumo de materiais em quilograma por metro cúbico de concreto						
Traço	Cimento	Metacaulim	Areia	Brita	Água	Superplastificante
CAA ₃₈₋₁₀	464,86	51,65	806	908,89	201,7	3,49
CAA ₃₈₋₂₀	347,45	86,86	806	908,89	246,78	2,61
CAA ₃₈₋₃₀	273,15	117,06	806	908,89	253,45	2,05
CAA ₄₀₋₁₀	489,33	54,37	780	879,58	210,41	3,67
CAA ₄₀₋₂₀	365,74	91,44	780	879,58	257,86	2,74
CAA ₄₀₋₃₀	287,52	123,22	780	879,58	264,87	2,16
CAA ₄₂₋₁₀	513,79	57,09	754	850,26	219,12	3,85
CAA ₄₂₋₂₀	384,03	96,06	754	850,26	268,94	2,88
CAA ₄₂₋₃₀	301,09	129,38	754	850,26	276,3	2,26

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DO CAA

A Tabela 9 contém os valores obtidos nos ensaios de espalhamento de tronco de cone de Abrams, Caixa L e Funil V, realizados para análise dos traços produzidos.

Tabela 9: Ensaios de caracterização reológica dos traços de CAA

Ensaio	Espalhamento de tronco de cone de Abrams			Caixa L			Funil V
	D1 (cm)	D2 (cm)	Média (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H2/H1	Tempo de escoamento (s)
CAA ₃₈₋₁₀	61	62	61,5	9,5	7	0,74	5,23
CAA ₄₀₋₁₀	61	62	61,5	9	7,5	0,83	5,56
CAA ₄₂₋₁₀	61	61	61,0	8,5	7	0,82	5,96
CAA ₃₈₋₂₀	61	60	60,5	10	7	0,7	3,33
CAA ₄₀₋₂₀	60	61	60,5	9	7,3	0,81	2,43
CAA ₄₂₋₂₀	59	62	60,5	8,7	7	0,80	3,5
CAA ₃₈₋₃₀	59	54	56,5	10,5	6	0,57	3
CAA ₄₀₋₃₀	60	61	60,5	9,5	5	0,53	3,58
CAA ₄₂₋₃₀	62	60	61,0	9	8	0,89	3,05

Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

Observou-se que os traços com 10% de metacaulim tiveram espalhamento dentro do ideal, mostrando que, independente do teor de pasta na mistura (38, 40 ou 42%), este teor de metacaulim resulta em um bom espalhamento do CAA, mantendo-o coeso, sem segregação entre a pasta e o agregado. Os traços com 20% de metacaulim também resultaram em bom espalhamento, mantendo boa coesão e resistência à segregação.

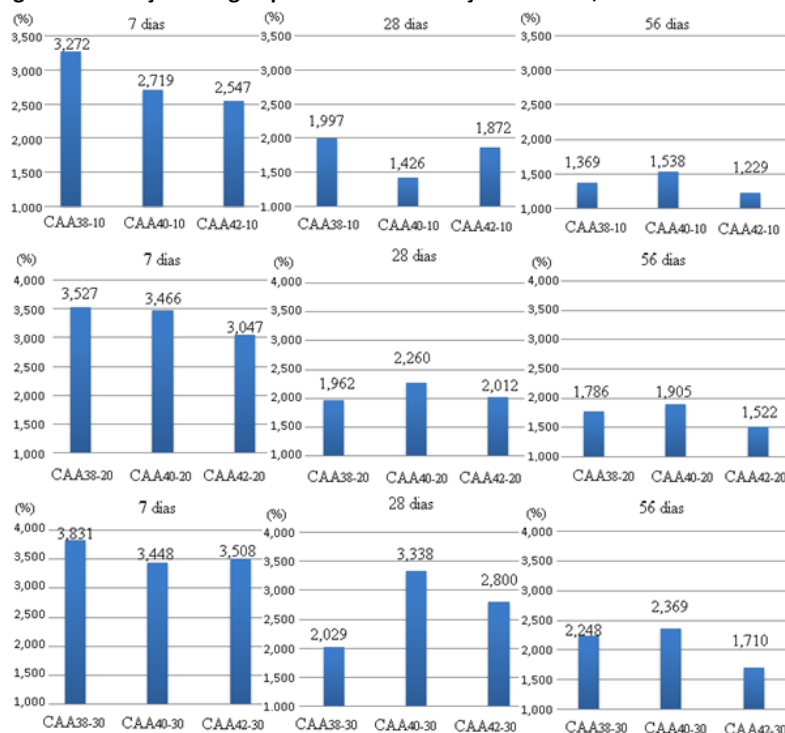
No ensaio de Caixa L, os traços com 42% de pasta mostraram bons resultados, indicando que CAA com esta porcentagem de pasta possui boa habilidade passante e fluidez. Neste caso, a adição de metacaulim mostrou-se eficaz em todas as proporções realizadas. Os traços com 40% de pasta também mostraram resultados dentro do ideal, exceto o traço CAA₄₀₋₃₀, que não atingiu o resultado adequado. Isso pode ser explicado pela substituição de cimento por metacaulim que, embora auxilie a manter a coesão da mistura, possui elevada superfície específica.

No ensaio de Funil V, verificou-se que os CAAs com 10% de metacaulim apresentaram resultados dentro do limite de tempo do ensaio, independente o teor de pasta utilizado. Neste caso, a baixa relação a/agl e o superplastificante auxiliaram para que os CAAs adquirissem a viscosidade ideal. As substituições de 20% e 30% de cimento por metacaulim provocaram aumento no fator a/agl, reduzindo a viscosidade e, por conseguinte, o tempo de escoamento.

ENSAIOS DE ABSORÇÃO POR IMERSÃO E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

As Figuras 4 e 5 apresentam os resultados de absorção de água por imersão e resistência à compressão axial, respectivamente.

Figura 4: Absorção de água por imersão dos traços com 10%, 20% e 30% de metacaulim

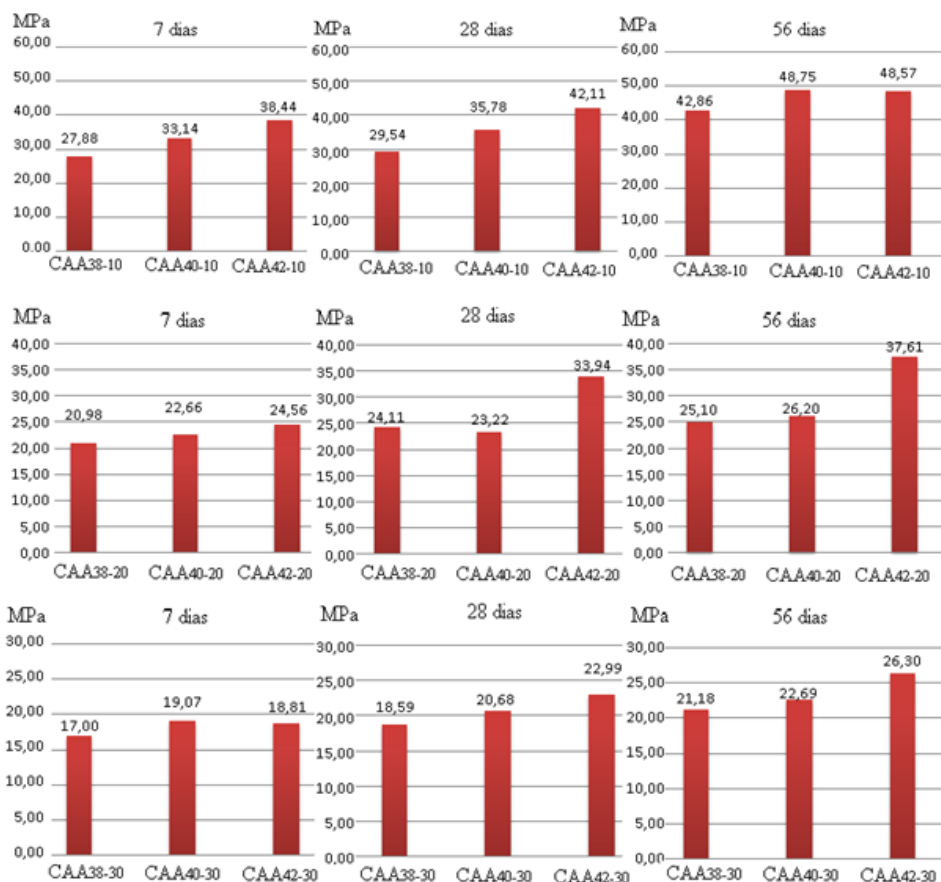


Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

Os resultados mostram que todos os traços, aos 7 dias, adquiriram índices de absorção inferiores a 4% e aos 56 dias abaixo de 2,5%, resultado considerado satisfatório, uma vez que o valor é limitado no máximo até 6% segundo NBR 9778 – 2005. Este resultado indica que o CAA, mesmo não sofrendo vibração externa, é capaz de adquirir boa compactação em todo o interior da amostra.

Os traços com 10% de metacaulim apresentaram, aos 56 dias, absorção com valores muito próximos, entre 1,54% e 1,23%. Os baixos índices indicam que a substituição de 10% de cimento por metacaulim pode promover boa resistência mecânica e durabilidade ao CAA. Espera-se assim, que estes sejam os traços com maior resistência à compressão.

Figura 5: Resistência à compressão dos traços com 10%, 20% e 30% de metacaulim



Fonte: ELABORAÇÃO DO PRÓPRIO AUTOR

Analisando os resultados do ensaio, pode-se afirmar que na medida em que se acrescenta pasta à mistura, a resistência à compressão aumenta. Este fator é decorrente do aumento de compostos resistentes na estrutura do concreto, pois os altos teores de pasta de cimento e metacaulim induzem a uma quantidade maior de reações de hidratação que originam compostos como silicatos hidratados, responsáveis pelas boas propriedades mecânicas do concreto.

Quando o volume de pasta é baixo e o teor de metacaulim é maior, a resistência tende a se reduzir, podendo ser citado o traço CAA38-30, onde se tem um teor de pasta abaixo do ideal, uma elevada quantidade de metacaulim e um alto fator água/aglomerante.

Uma vez utilizado cimento CP II – Z – 32, o concreto deve adquirir, aos 28 dias, uma resistência à compressão axial acima de 32 MPa. Os traços CAA38-20, CAA40-20, CAA38-30, CAA40-30 e CAA42-30 não atingiram este requisito, indicando que substituições de cimento por metacaulim nos teores de 20% e 30% resultam em traços menos resistentes, se comparados aos concretos com 10% de substituição em massa.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivos produzir concreto autoadensável utilizando metacaulim e determinar o melhor teor de substituição de cimento pelo material, de forma a se produzir um concreto autoadensável com boas propriedades.

Traços de CAA com mesmo teor de metacaulim obtiveram relações a/agl semelhantes, independente do teor de pasta da mistura. Este fato indica que a relação a/agl depende do teor de substituição de cimento por metacaulim.

Nos ensaios de espalhamento de tronco de cone de Abrams e caixa L, foi observado que os traços CAA₃₈₋₁₀, CAA₃₈₋₂₀ e CAA₃₈₋₃₀ não atingiram resultados ideais, o que leva a afirmar que CAAs com 38% de pasta não possuem propriedades adequadas no estado fresco.

Os traços com melhores resistências à compressão axial foram CAA₄₀₋₁₀ e CAA₄₂₋₁₀, com resistências muito próximas entre si.

Assim, conclui-se que, utilizando o método de dosagem de Gomes, Gettu e Agulló para concretos autoadensáveis, é possível obter CAA com boas propriedades reológicas e mecânicas utilizando metacaulim como material fino.

Finalmente, conclui-se que, para que o CAA possua propriedades reológicas ideais no estado fresco e boas propriedades mecânicas no estado endurecido, deve-se produzir um concreto com teor de pasta mínimo de 40% e substituição de cimento por metacaulim de 10%.

AGRADECIMENTO

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa estudantil concedida ao discente para o desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. das G. **Influência de adições minerais pozolânicas e de finos de pedreira nas propriedades mecânicas e na microestrutura do concreto auto-adensável**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823 – Concreto autoadensável**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15894 – Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 – Agregados – Determinação da Massa Unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53 – Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

BITTENCOURT, F. (Belo Horizonte). **Metacaulim HP Ultra é a solução ideal em obras de grande porte.** 2011. Disponível em: <<http://www.waycarbon.com>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

GOMES, P C C; BARROS, A R. **Métodos de Dosagem de Concreto Autoadensável.** São Paulo: Pini, 2009.

KANNAN, V.; GANESAN, K. Synergic Effect of Pozzolanic Materials on the Structural Properties of Self-Compacting Concrete. **Arabian Journal For Science And Engineering.** [s.l], p. 2601-2609. 29 jan. 2014.

OKAMURA, H. Self-compacting High-performance concrete. In: **Concrete International**, v. 19, n.7 p. 50-52, Julho 1997.