

## Concretos Adicionados com Metacaulim como agente de mitigação da RAA

*Physical and Chemical Properties of poured concrete with pozzolan metakaolin and prevention against alkali aggregate reaction (AAR)*

J. M. de F. Mota (1); K. C. Dourado (2); F. R. Barbosa (3); A. J. da Costa e Silva (4); E. J. da Silva (5); J. R. de Carvalho (6)

<sup>1</sup>Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Civil da FAVIP e Doutorando do Departamento de Engenharia Civil, UFPE-email: [joao@vieiramota.com.br](mailto:joao@vieiramota.com.br)

<sup>2</sup>Professora do Departamento de Engenharia Civil da FAVIP e doutoranda da UFPE-email: [kcadourado@gmail.com](mailto:kcadourado@gmail.com)

<sup>3</sup>Professor do Departamento de Engenharia Civil da FAVIP-email: [fredbarbosa@compesa.com.br](mailto:fredbarbosa@compesa.com.br)

<sup>4</sup>Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil, UNICAP-email: [angelo@tecomat.com.br](mailto:angelo@tecomat.com.br)

<sup>5</sup>Graduando da Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP- email: [emerson\\_jsk18@hotmail.com](mailto:emerson_jsk18@hotmail.com)

<sup>6</sup>Graduando da Escola Politécnica de Pernambuco – UPE/POLI- email: [eng.jribeiro@gmail.com](mailto:eng.jribeiro@gmail.com)

### Resumo

As manifestações patológicas como a reação alcali-agregado vem em crescente identificação nas diversas edificações do estado de Pernambuco. Concreto com resistência elevada, contribui para aumento da durabilidade devido a redução do índice de vazios. Portanto, diversas pesquisas mostraram que a adição de pozolanas em materiais cuja matriz é cimentícia, provoca um maior empacotamento da mistura, deixando-a mais densa, gerando uma redução natural da porosidade, seja pelo efeito *filler* - fenômeno físico; como pela geração de C-S-H (silicato de cálcio hidratado) – fenômeno químico. Este trabalho objetiva avaliar o incremento de algumas propriedades de concretos com substituição parcial do cimento pela pozolana Metacaulim. Foram moldados corpos de prova, para investigação das propriedades mecânicas (compressão axial e tração por compressão diametral), elástica (módulo de elasticidade) e as relacionadas com a durabilidade (absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade) – todos ensaios nas idades de 28 e 90 dias. A proporcionalidade da mistura (traço) de referência utilizada foi 1:2:3 (cimento, areia e brita). Nas demais proporcionalidade houve a substituição da massa de cimento em 5%, 8% e 10% por Metacaulim. Os resultados indicam que as propriedades são melhoradas nas amostras cujo concreto tem adição, quando comparados aos concretos convencionais

*Palavra-Chave: concreto com adição, pozolana, metacaulim*

### Abstract

The pathological manifestations such as alkali-aggregate reaction has been growing in identifying the various buildings of the state of Pernambuco. Concrete with high resistance, contributes to increased durability due to the reduction of voids. Therefore, various studies have shown that the addition of pozzolan materials in which the matrix is cement, resulting in a greater packing of the mixture, leaving it more dense, creating a natural reduction of porosity, whether through *filler* - physical phenomenon, as the generation of CSH (calcium silicate hydrate) - chemical phenomenon. This study evaluates the growth of some properties of concrete with partial replacement of cement by pozzolan metakaolin. Bodies were cast-of-evidence for investigation of mechanical properties (tensile and compressive axial diametral compression), elastic (modulus) and those related to durability (water absorption by immersion and water absorption by capillarity) - all tests at the ages of 28 and 90 days. The proportionality of the mixture (dash) reference used was 1:2:3 (cement, sand and gravel). In other proporcionalidade was replaced in the mass of cement 5%, 8% and 10% for metakaolin. The results indicate that the properties are improved in samples where the concrete has addition, when compared to conventional concrete

*Keywords: adding concrete, pozzolan, metakaolin*

## 1. INTRODUÇÃO

Registra-se que a reação álcali-agregado foi identificada inicialmente na Califórnia, na década de 30, causando preocupação ao meio técnico, pois nessa época foram observadas fissuras e expansões em estruturas de concreto. Os primeiros estudos foram publicados por Stanton (1940). Nessa pesquisa concluiu-se que a causa das fissuras e expansões do concreto foram causadas por uma reação originada pelos hidróxidos alcalinos liberados pelo cimento com a sílica proveniente de certos agregados (SANCHEZ, 2008).

Segundo Figueirôa e Andrade (2007) atualmente ainda não se conhece um meio de interromper a reação depois que esta se inicia, tendo se buscado meios eficientes de prevenção contra a RAA. O uso de material cimentícios, isto é, materiais compostos de cimento e materiais pozolânicos ou com características pozolânicas, tornou-se uma excelente opção, tendo em vista que além de mitigar a RAA, melhora as propriedades do concreto.

Kormann *et al.* (2004) explica que materiais pozolânicos diminui a permeabilidade do concreto e eleva a resistência às expansões causadas pela reação devido a redução da concentração de álcalis.

Portanto, diversas pesquisas mostraram que a adição de pozolanas em materiais cuja matriz é cimentícia, provoca um maior empacotamento da mistura deixando-a mais densa, gerando uma redução natural da porosidade (MOTA, 2006).

Concretos convencionais tendem a romper na zona de transição - agregado gráúdo/pasta cimentícia, uma vez que a elevada relação água/cimento dessa Região devido ao efeito parede faz surgir extensas áreas com porosidade (CAQUOT, 1936).

Nessa Região, os hidróxidos de cálcio gerados na hidratação do cimento se posicionam preferencialmente de forma perpendicular a superfície do agregado gráúdo, onde, por conseguinte, são combinados com a sílica da pozolana (concretos com adição) resultando em C-S-H (silicato de cálcio hidratado), composto responsável pela resistência da matriz cimentícia (fenômeno químico), concomitantemente, com o próprio efeito filler - ocupação dos vazios, os poros (fenômeno físico) (CARNEIRO, 2005; MOTA *et al.*, 2010). A Figura 01 apresenta condições com e sem a pozolana sílica da Região substrato/pasta. Pode-se entender situação análoga entre o agregado gráúdo/pasta.

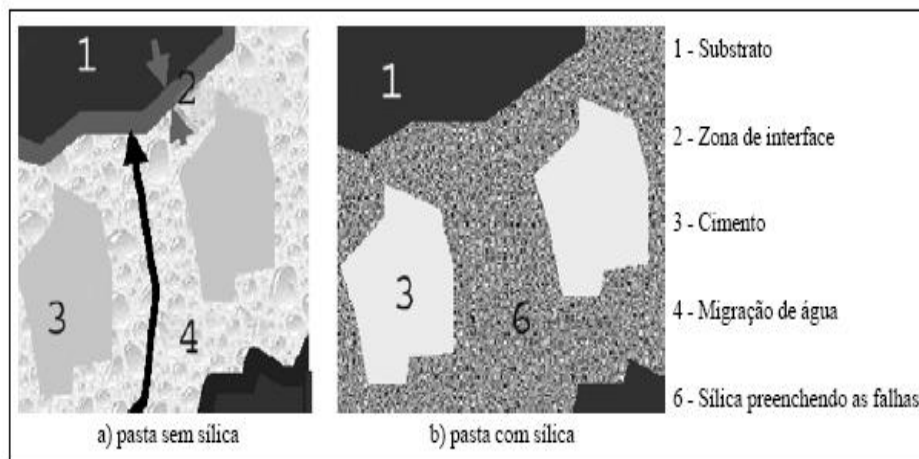


Figura 01 - Zona de interface pasta/substrato do agregado graúdo (SILVA; LIBÓRIO 2003)

Utilizou-se empiricamente adições originadas dos vulcões em edificações desde o período de 1500 a.C. na Grécia, sendo rapidamente disseminada no império romano devido sua contribuição ao desempenho (MALHORA; MEHTA, 1996). Vale destacar que, atualmente verifica-se peças hidráulicas edificadas naquela época em serviço com perfeito estado de conservação.

A pozolana metacaulim é originada das argilas caulínicas e do caulim, sendo moído e calcinado a temperaturas médias entre 6000C e 9000C. Predominante observa-se silicato de alumínio hidratado  $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ , onde a perda dos íons hidroxila de sua estrutura cristalina em altas temperaturas transforma-se em metacaulinita ( $Al_2Si_2O_7$ ), composto amorfo com a forma das partículas lamelares e elevada finura. Sabe-se que a alta superfície específica contribui favoravelmente com os aspectos reológicos, melhorando a trabalhabilidade, haja vista otimização da curva granulométrica da pasta, promovendo maior retenção de água e coesão, reduzindo a exsudação e a segregação.

Ademais, no estado endurecido, o concreto fica com melhor resistência ao ataque por sulfatos e íons cloretos, bem como pelo processo de hidratação ficar mais lento, diminui-se a velocidade de liberação de calor. Por conseguinte, a resistências à compressão e à tração do concreto é elevado e a absorção reduzida (MUNHOZ et al., 2010; NEVILLE, 1997). Essas melhorias implementam aos materiais cuja matriz é cimentícia um incremento na durabilidade e no desempenho mecânico, em relação aos mesmos materiais sem adição (DETWILER et al., 1996; SIDDIQUE; KLAUS, 2009).

Na Figura 02 é apresentado como o Metacaulim se posiciona entre as partículas de cimento, preenchendo os vazios (efeito físico – filler) e reagindo com o hidróxido de cálcio transformando em C-S-H (efeito químico). Esse fenômeno físico explica a diminuição do teor de vazio, pois ocorre enquanto não se iniciam as reações pozolânicas, na qual as finas partículas inertes do metacaulim preenchem os espaços existentes que seriam ocupados pelo ar (LACERDA; HELENE, 2005).



Figura 02 – Metacaulim – Microscopia Eletrônica – ampliado 3000 X (fonte o fabricante)

A Figura 03 mostra partículas da pozolana Metacaulim nos espaços intersticiais do cimento.

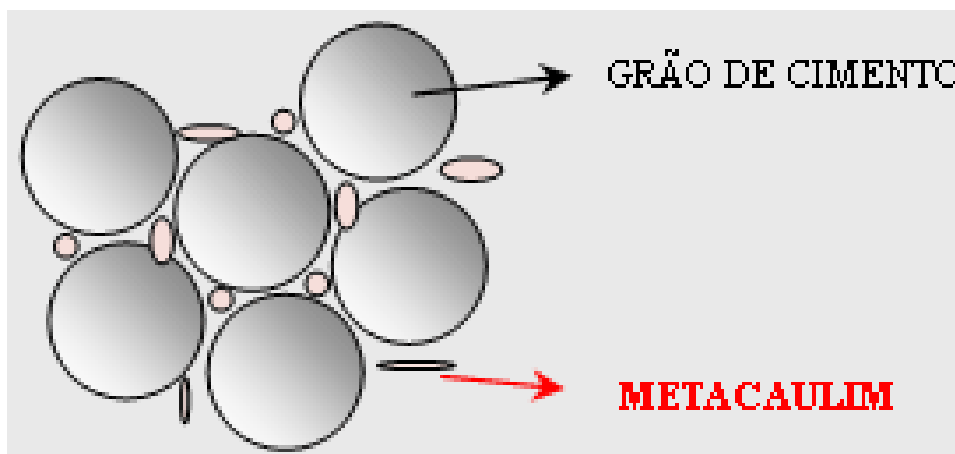
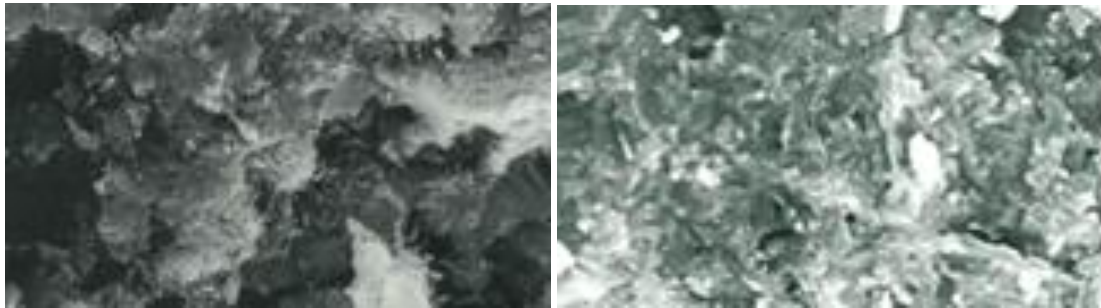


Figura 03 – Partículas da pozolana Metacaulim nos interstícios do cimento (fonte o fabricante)

Nas Figuras 04a e 04b é mostrada a microscopia eletrônica entre a pasta de referência com cimento puro (esquerda) e a pasta contendo 8% de METACAULIM

(direita) em substituição ao cimento, ambas aos 28 dias. As regiões mais escuras representam porosidades ou interstícios.



a

b

Figuras 04a e 04b – Partículas da pozolana Metacaulim nos interstícios do cimento (fonte o fabricante)

PARANDE et al. (2008) mostraram que a adição de metacaulim promove o refinamento dos poros. Nessa pesquisa concluiu-se que as propriedades do concreto melhoraram com a substituição até 15% de metacaulim, uma vez que em patamares próximo de 20%, ocorre queda da resistência em relação a amostras sem adição.

Neste contexto, a presente pesquisa tecnológica procura contribuir na disseminação dos conhecimentos existentes, avaliando o incremento de algumas propriedades de concretos adicionados com a pozolana Metacaulim - seja concernente ao desempenho mecânico e, ou, a durabilidade.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 MATERIAIS

#### 2.1.1 Cimento Portland

Utilizou-se o cimento CII-F-32. A Tabela 01 apresenta características do cimento (fonte o fabricante).

Tabela 01 – Características do cimento utilizado

Determinação		CPII-F-32	
Caracterização Física	Água para consistência normal (%)	28,8	
	Área específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3780	
	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,10	
	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	*NI	
	Finura	Resíduo na peneira #200 (%)	2,60
		Resíduo na peneira #325 (%)	11,30
	Tempo de Pega	Início (min)	255
		Fim (min)	320
Resistência à Compressão	3 dias (MPa)	26,4	
	7 dias (MPa)	31,9	
	28 dias (MPa)	38,0	
Caracterização Química (%)	Perda ao fogo	4,06	
	Resíduo insolúvel	1,53	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,53	
	SiO <sub>2</sub>	18,52	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,11	
	CaO	60,95	
	MgO	3,26	
	SO <sub>3</sub>	3,34	
	CaO livre	0,89	
	Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O		

### 2.1.2 Adições

A metacaulim utilizada foi produzida industrialmente na Região Metropolitana do Recife. Esse material originado da argila caulínica possui alta reatividade, e, apresenta algumas características fornecido pelo fabricante nas Tabelas 02 e 03.

Tabela 02 – Caracterização química

Propriedades Químicas	Valor	Propriedades Químicas	Valor
Dióxido de silício - SiO <sub>2</sub> (%)	51%	Na <sub>2</sub> O	<0,1%
Óxido de alumínio - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	41%	K <sub>2</sub> O	< 0,5%
Óxido de ferro - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	< 3%	Sulfato - SO <sub>3</sub> (%)	<0,1%
TiO <sub>2</sub>	< 1%	Óxido de cálcio - CaO	<0,5 %
Óxido de Magnésio - MgO (%)			<0,4%

Tabela 03 – Caracterização física

Propriedades	Fino
Massa específica	2,60 kg/dm <sup>3</sup>
Massa unitária	0,55 kg/dm <sup>3</sup>
Área Específica	180000 dm <sup>2</sup> /kg
Resíduo na peneira	< 5%

## 2.1.3 Agregados

### 2.1.3.1 Agregado miúdo

Foi utilizada areia natural de natureza quartzosa amplamente encontrada na Região. Esse material foi caracterizado pela densidade de massa específica e aparente, determinação da curva granulométrica e coeficiente de uniformidade de acordo com o método de Allen-Hazem. Este método relaciona  $C=d_{60}/d_{10}$ , significando a equivalência da percentagem passante de material.

### 2.1.3.2 Agregado Graúdo

A natureza mineralógica do agregado graúdo é granítica. Esse material amplamente encontrado na Região foi utilizado em seu estado seco, sem lavagem. Caracterizou-se quanto à densidade de massa específica, aparente e granulometria.

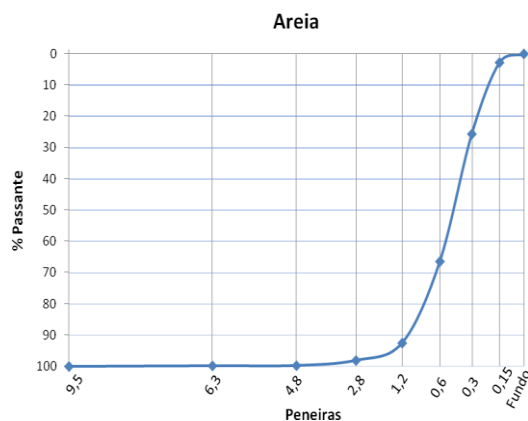
As Tabelas 04 e 05 mostram características da areia natural e da brita, respectivamente. As Figuras 05a e 05b apresentam as curvas de distribuição granulométrica da areia e brita utilizada, respectivamente.

Tabela 04 – Características da areia natural

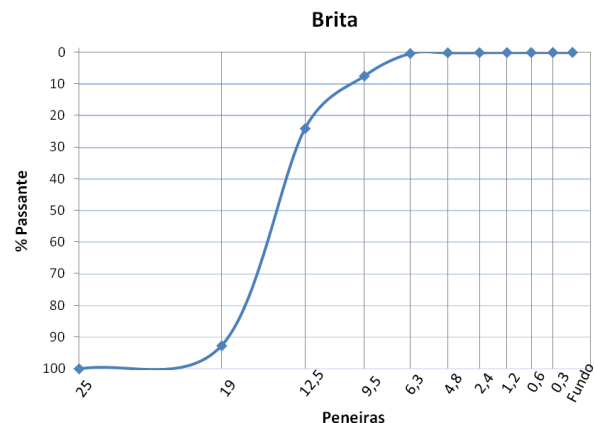
Dimensão Máxima Característica	2,36
Módulo de finura	2,15
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,63
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,56
Coefficiente de uniformidade	1,2

Tabela 05 – Características da brita

Dimensão Máxima Característica	19
Módulo de finura	6,99
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,24
Coefficiente de uniformidade	1,33



a



B

Figura 05 – (a) Gráfico da curva granulométrica da areia; (b) gráfico da curva granulométrica da brita

#### 2.1.4 Aditivo Químico

O aditivo utilizado foi um superplastificante, com base de poliéster carboxilado. O superplastificante é um aditivo redutor de água de alto desempenho. É um líquido de baixa viscosidade pronto para o uso, e atende as especificações de aditivos químicos para concreto ASTM C 494 TIPO F. Seu peso específico é próximo de 1,08 kg/l.

#### 2.1.5 Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). Verificou-se que o pH da água no ato de sua utilização estava próximo de 6,5.

## 2.2 MÉTODO

Toda pesquisa foi executada no Laboratório de Engenharia Civil – LEC, da Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP (Caruaru, Pernambuco, Brasil), haja vista fazer parte das pesquisas científicas desenvolvidas, ato contínuo, na instituição.

O trabalho foi constituído de 4 famílias de concretos, sendo os percentuais de substituição do cimento por Metacaulim 0% (amostra de referência), 5%, 8% e 10%. Foi moldadas 6 réplicas para cada amostra (propriedade e idade) estudada, sendo os corpos de prova cilíndricos de 100x200mm (atendendo a norma ABNT 5738, 2008), onde as réplicas ficaram imersos na água até as idades de ensaios. Os rompimentos dos corpos de prova foram executados de acordo com a norma NBR 5739 da ABNT, 2007. O teor de aditivo tensoativo foi determinado em relação à massa do cimento.

Avaliou-se a resistência à compressão – em 7, 28 e 90 dias; módulo de elasticidade - 28 dias; tração por compressão diametral - 28 e 90 dias e absorção total - 28 dias. O equipamento (prensa) utilizado possui tipo de acionamento servo-controlada, com escala digital e capacidade 2000 kN.

O estabelecimento da fixação da proporcionalidade de referência (traço), da relação água/cimento e do abatimento em 8 +/- 2mm, adveio dos parâmetros preferenciais usados nas edificações da Região de Caruaru – Pernambuco - Brasil.

Assim, características proporcionais dos materiais empregados estão apresentadas na Tabela 06.

Tabela 06 – Nomenclatura das famílias de amostras estudadas e proporcionamento médio em massa da mistura

Nomenclatura	TUV (cimento: areia:brita: Ra/c:aditivo)
<b>Família 1</b> (referência – 0% de metacaulim)	1:2:3:0,5:0
<b>Família 2</b> (5% de metacaulim)	1:2:3:0,5:0
<b>Família 3</b> (8% de metacaulim)	1:2:3:0,5:0,65
<b>Família 4</b> (10% de metacaulim)	1:2:3:0,5:0,4

### 3. RESULTADOS

Verificou-se nos concretos a consistência que foi determinada através do abatimento do tronco de cone conforme a NBR 7223. Registro-se a cada 15 minutos, estando a betoneira homogeneizando o material, ato contínuo. A Tabela 07 mostra as densidades e abatimentos.

Tabela 07 – Densidades e abatimentos – (médias)

FAMÍLIAS	DENSIDADES (g/cm <sup>3</sup> ) NO ESTADO FRECO / ENDURECIDO	ABATIMENTO
Família 1 (Referência)	2,32 (fresco) / 2,3 (endurecido)	9mm
Família 2	2,37 / 2,35	10mm
Família 3	2,38 / 2,36	6mm
Família 4	2,41 / 2,38	8mm

As densidades aumentaram na medida em que o teor de adição se elevou. Essa constatação é corroborada pela literatura, tendo em vista a ocorrência do refinamento dos poros pela pozolana e, portanto, maior empacotamento das misturas. O abatimento foi fixado em 8 ± 2mm, donde, as famílias 3 e 4 necessitaram do aditivo superplastificante para atingir o intervalo.

As propriedades mecânicas (resistência à compressão e tração por compressão diametral) e elástica (módulo de elasticidade), estão apresentadas nas Tabelas 08, 09 e 10 respectivamente.

Tabela 08 – Resistência à compressão axial

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)												
PROPORCIONALIDADES (TRAÇOS)												
IDADES (dias)	Família 1			Família 2			Família 3			Família 4		
	M	SD	CV	M	SD	CV	M	SD	CV	M	SD	CV
07	18,06*	1,16	6,43	18,96*	0,86	4,54	30,03*	3,71	12,34	24,14*	3,01	12,49
	18,10	0,74	4,06	19,29	0,54	2,80	30,52	1,62	5,30	25,77	0,27	1,04
28	23,31*	4,00	17,15	22,45*	3,55	15,81	33,57*	2,55	7,59	29,13*	1,90	6,52
	22,23	1,49	6,70	22,42	2,17	9,78	32,82	2,23	6,79	29,71	1,41	4,76
90	28,92*	3,12	10,78	27,92*	3,40	12,18	43,66*	2,24	5,13	33,61*	2,31	6,87
	26,92	3,12	10,78	27,88	0,22	0,84	43,66	2,24	5,13	34,94	0,08	0,24

M – média; SD – desvio padrão (MPa); CV – coeficiente de variação (%); \* considerando todos os valores ensaiados (sem tratamento estatístico).

Pode-se considerar que os resultados tratados estatisticamente (sem asteriscos) indicam crescimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, ou seja, aumento de 7 dias para 28 e 90 dias, bem como se verificou um crescimento linear das famílias 2 e 3 em relação à família 1 de referência. Ocorre que, em que pese a família 4 apresentar aumento em relação a família 1 de referência, diminuiu em relação à família 3, indicando, de acordo com outras pesquisas, que patamares maiores de substituição já não mais incrementa essa propriedade, uma vez que a partir de determinados teores de substituição, o cimento governa frente às reações pozolânicas.

Tabela 09 – Tração por compressão diametral

FAMÍLIAS	TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL (MPa / SD / CV)	
	28 dias	90 dias
	Família 1 (Referência)	3,48 / 0,55 / 15,81
Família 2	3,67 / 0,6 / 16,35	4,13 / 0,74 / 16,67
Família 3	3,83 / 0,64 / 16,71	4,44 / 0,74 / 17,92
Família 4	3,64 / 0,4 / 10,99	3,71 / 0,68 / 21,94

SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação (%).

Os resultados da resistência à tração por compressão diametral mostram a tendência de elevação dos resultados ao longo do tempo (de 28 para 90 dias) devido às reações pozolânicas se processarem ao longo do tempo, bem como elevação dos resultados com o aumento do teor da adição até a família 3. Mais uma vez, verifica-se redução nessa propriedade da família 4 em relação à família 3 nas idades 28 e 90 dias. Isso corrobora que a partir de determinados teores de substituição não se aumenta mais

essa resistência, pois a quantidade de cimento passa a ser determinante e mais relevante do que as reações pozolânicas.

As Figuras 06a e 06b apresentam rupturas características das propriedades mecânicas (compressão axial e tração por compressão diametral, respectivamente).



A



b

Figura 06 – (a) Característica da ruptura de compressão axial (cisalhamento); (b) característica da ruptura de tração por compressão diametral

Tabela 10 – Módulo de elasticidade

Famílias	M (GPa)	SD (GPa)	CV (%)
1	19,12	2,08	10,87
2	23,69	3,42	14,46
3	26,97	5,27	19,56
4	26,44	5,02	18,98

M – média; SD – desvio padrão (GPa); CV – coeficiente de variação (%).

O módulo de elasticidade também mostrou a influência positiva da adição do Metacaulim, uma vez que houve uma evolução dessa propriedade nas famílias 2, 3 e 4 em relação a família de referência. Do mesmo modo que nas propriedades mecânicas, a família 4 decresceu em relação à família 3, denotando que nesse patamar, as reações pozolânicas possivelmente já não mais sobressaem ao teor de cimento. A Tabela 11

apresenta a absorção total investigada com o objetivando analisar tendências acerca da durabilidade.

Tabela 11 – Absorção total (média)

FAMÍLIAS	ABSORÇÃO (%)
Família 1 (Referência)	4,54
Família 2	4,14
Família 3	2,81
Família 4	2,92

Na absorção também se verificou a ação das reações pozolânicas, tendo em vista a redução da absorção das famílias 2, 3 e 4 em relação à família de referência. A mesma tendência foi constatada, redução da eficácia da família 4 em relação à família 3, caracterizando que a substituição de 10% de Metacaulim por cimento, possivelmente não mais releva diante do aglomerante cimento. Portanto, a diminuição dos poros à medida que se adiciona pozolana (fenômeno físico – filler), contribui para a durabilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

As análises dos resultados conduzem as seguintes conclusões:

- ▶ a densidade no estado fresco e endurecido foi diretamente proporcional ao teor da adição. Isto pode ser justificado, tendo em vista que as adições promovem uma maior densificação da mistura, concebendo um maior empacotamento do concreto;
  - ▶ a resistência à compressão axial do concreto evoluiu, em todas as idades, na medida em que se adicionou o Metacaulim até 8% em substituição à massa de cimento. Na proporção de adição em 10%, verificou-se uma diminuição em relação a 8%, todavia, maior que a família de referência. Pode-se dizer que nessa pesquisa, o patamar de 8% apresentou-se com melhor desempenho, haja vista possivelmente que com 10% de substituição as reações pozolânicas não relevam em relação ao teor de cimento. Portanto, é significativo o aumento de mais de 62% aos 90 dias em relação aos 28 dias nessa propriedade quando se substitui 8% (família 3) de Metacaulim em relação ao cimento;
  - ▶ comparando a resistência à tração por compressão diametral das 4 famílias - na mesma linha da compressão axial, constatou-se elevação das famílias 2, 3 e 4 em relação
- ANAIS DO 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2011 – 53CBC

à família 1 de referência. Entretanto, também se verificou redução dessa propriedade quando se substituiu 10% de Metacaulim em comparação à substituição de 8%;

► o módulo de elasticidade estudado também se elevou diretamente proporcional ao teor da adição, chegando ao estágio de mais de 41% quando se comparou a família 3 com a família 1 de referência. Contudo, mais uma vez constatou-se redução da família 4 em relação à família 3. Vale inferir que aos 90 dias, essa diferença poderia ser mais substancial, conforme identificado na compressão axial;

► referente a absorção total, verificou-se que o concreto reduziu a absorção em quase 62% quando se comparou a família 3 (menor absorção) com a de referência. Vale destacar que o refinamento dos poros justifica essa redução. Entretanto, mais uma vez, a família 4 teve menor desempenho em relação à família 3, trazendo à baila a corroboração de que 8% de substituição do Metacaulim é, pelo menos nessa pesquisa, a melhor proporção identificada.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Tecomat – Tecnologia da Construção e Materiais, pela contribuição nessa pesquisa e ao Programa de Pesquisa (Iniciação Científica) e Extensão da Faculdade do Vale do Ipojuca - FAVIP pelo apoio incondicional para realização desse trabalho, característica imperativa dessa Instituição de Ensino Superior.

## REFERÊNCIAS

- CARNEIRO, A. M. P. **Notas de Aula da Disciplina: Tecnologia das Argamassas – Mestrado de estruturas**, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2005.
- CAQUOT, M. A. **Le role des Matériaux linertes dans Béton**. Memories de la Société des Ingénieurs Civils de France. 90º Année, Fascicule n. 5, septembre-October, 1936. p. 563 - 582.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto. v.1, capítulo 12, p. 345-380, 2005.
- DETWILER, R. J; BHATTY, J. I; BHATTACHARJA, S. **Supplementary cementing materials for use in blended cements**. 1996. 96p. Research and development bulletin RD112T, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, U.S.A.

- ISAIA, Geraldo C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005.
- KORMANN, A. C. M.; DAL MOLIN, D. C. C; PORTELLA, K. F. **Uso de adições minerais em concretos submetidos a ensaios de reação álcali-agregado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004. Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: IBRACON, 2004. 1 CD-ROM.
- LACERDA, C. S.; HELENE, P. R. L. **Estudo da influência da substituição de cimento portland por metacaulim em concretos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious materials**. Advances in Concrete Technology. V. 1, Gordon and Breach Publishers, 1996.
- MOTA, J. M. F. **Influência da Argamassa de Revestimento na Resistência à Compressão Axila em Prisma de Alvenaria Resistente de Blocos Cerâmicos**. Universidade Federal de Pernambuco – Dissertação de Mestrado. Recife, 2006.
- MOTA, J.M.F.; PONTES, R.B.; CANDEIAS NETO, J.A.; OLIVEIRA, M.F.; ALMEIDA, H.T.; CARNEIRO, A.M.P. **Análise das patologias em estruturas de concreto na zona litorânea da cidade do Recife-PE**. X Congresso Latinoamericano de Patología y XII Congreso de Calidad en la Construcción. CONPAT, Valparaíso-Chile, 2009.
- MOTA, J.M.F.; COSTA e SILVA, A.J.; BARBOSA, F.B.; ANDRADE, T.W.C.O. e DOURADO, K.C.A. **Avaliação da contaminação por íons cloreto em amostras de concreto submetidas a condições agressivas**. VI Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Córdoba, Argentina, 2010.
- MUNHOZ, F.A.C.; BATTAGIN, A.F.; BATTAGIN, I.L.S. **Trends in standardization of metakaolin for use in concrete**. 52º IBRACON, 2010.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997. 738 p.
- PARANDE, A. K.; BABU, B. R.; KARTHIK, M.A.; KUMAR, D. **Study on strength and corrosion performance for steel embedded in metakaolin blended concrete/mortar**. *Construction and Building Materials*, v. 22, p. 127-134, 2008.
- SANCHEZ, L. F. M. **Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação das reações álcali-agregado em concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. 2008. 168p.
- STANTON, T. E. **Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate**. In: *Proceedings of American Society of Civil Engineers*. v. 66, n. 10. Dec. 1940, p. 1781-1811.
- SIDDIQUE, R.; KLAUS, J. **Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review**. *Applied Clay Science*, Volume 43, Issues 3-4, March 2009, Pages 392-400.
- SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. **Avaliação do efeito da sílica extraída da casca do arroz na aderência de argamassas e chapiscos**. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas. São Paulo, 2003.



Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2011  
Novembro / 2011



@ 2011 - IBRACON - ISSN 2175-8182

SOUZA, P. S. L. **Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência.** Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 203p. 2003.

Figueirôa, J.P.; Andrade, T.W.C.O. **O Ataque da Reação Álcali-Agregado sobre as estruturas de concreto: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na região Metropolitana do Recife.** Ed. Universitaria da UFPE, 2007. 228p