

## **AVALIAÇÃO DA ALUMINA COLOIDAL COMO AGENTE LIGANTE EM CONCRETOS REFRAATÓRIOS ESPINELIZADOS**

*E. Y. Sako<sup>1</sup>; M. A. L. Braulio<sup>1</sup>; L.R. M. Bittencourt<sup>2</sup>; V. C. Pandolfelli<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais*

*Grupo de Engenharia de Microestrutura de Materiais – GEMM*

*Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de S. Carlos*

*Rod. Washington Luiz, km 235, C.P. 676, S. Carlos, SP, 13565-905*

*<sup>2</sup>Magnesita S.A.- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento - CPqD*

*Praça Louis Ensck, 240, Contagem, MG, Brasil.*

*eric\_eyes@yahoo.com.br ou vicpando@power.ufscar.br*

### **RESUMO**

*A tendência de redução do uso de cimento de aluminato de cálcio em concretos refratários espinelizados vem favorecendo o desenvolvimento de materiais contendo ligantes alternativos com baixos teores de CaO, como é o caso da alumina hidratável. No entanto, a utilização de alumina hidratável resulta em problemas durante a secagem do concreto, devido à baixa permeabilidade ocasionada pelo gel formado durante a cura do concreto, podendo, assim, gerar riscos de explosões. Considerando-se estes aspectos, o objetivo deste trabalho é avaliar a utilização de alumina coloidal como agente ligante para concretos espinelizados. A adição destas nano-partículas de alumina apresenta-se como uma alternativa adequada por poder também atuar diretamente na reação de espinelização, reduzindo sua temperatura de formação e seu nível de expansão residual. Os resultados obtidos demonstraram que, apesar de diminuir a trabalhabilidade, os concretos ligados por alumina coloidal atingiram níveis de resistência mecânica tão elevados quanto os do cimento, mesmo com a adição de pequenas quantidades de suspensão.*

Palavras-chaves: alumina coloidal, espinélio, refratários, ligante.

### **INTRODUÇÃO**

Desde o início de sua produção, o cimento de aluminato de cálcio (CAC) tem se posicionado como o principal ligante para o processamento de concretos refratários, devido, entre outros fatores, à disponibilidade, baixo custo e capacidade de garantir altos valores de resistência mecânica a verde em curtos intervalos de tempo [1-3]. Seu mecanismo de cura consiste basicamente na hidratação das fases de

aluminato de cálcio que o constituem, gerando agulhas que formam fortes conexões entre as partículas vizinhas [3]. Adicionalmente, outra vantagem relacionada à utilização de CAC em concretos aluminosos é a geração em temperaturas maiores que 1400°C da fase  $CA_6$  ( $CaO.6Al_2O_3$ ), resultante da reação entre o CaO proveniente do cimento e a alumina presente de forma abundante nessa classe de material [4]. O  $CA_6$  se caracteriza por ser uma fase refratária e por apresentar uma morfologia acicular, que auxilia no aumento da resistência ao dano por choque térmico [5].

Entretanto, apesar das destacadas vantagens, há uma tendência recente de fabricação de concretos isentos de CaO, principalmente concretos espinelizados, que apresentam microsilica entre seus constituintes [6]. A adição de microsilica nestes materiais melhora o comportamento reológico, graças a sua morfologia esférica, e auxilia na acomodação da expansão residual resultante da formação de espinélio *in situ* [6,7]. A presença simultânea dos óxidos de cálcio e silício em concretos espinelizados podem levar à formação de fases de baixo ponto de fusão dos sistemas  $Al_2O_3$ -MgO-CaO-SiO<sub>2</sub> e  $Al_2O_3$ -CaO-SiO<sub>2</sub>, que afetam negativamente as propriedades mecânicas a quente destes refratários [8].

Sendo assim, as atenções têm se voltado para a busca de ligantes isentos de CaO, que garantam níveis de resistência mecânica a verde tão satisfatórios quanto o CAC. Uma opção interessante é a utilização da alumina hidratável, que é um ligante hidráulico com baixíssimos teores de CaO. Este ligante é constituído por uma alumina de transição específica, a rho-alumina, que quando em contato com a água resulta na formação de cristais de baierita ( $Al_2O_3.3H_2O$ ) e camadas de boemita em gel ( $Al_2O_3.1\pm 2H_2O$ ) [9]. Os cristais interligados e a fase em gel conferem a resistência mecânica a verde através do preenchimento de poros e defeitos [3,9]. No entanto, este gel impermeável também pode ocasionar sérios problemas nas etapas subsequentes de processamento do concreto, pois impede a liberação do vapor de água durante a secagem. Dessa forma, pressões internas são geradas e podem culminar inclusive na explosão da peça moldada [10].

A utilização de alumina hidratável, portanto, se torna impraticável, principalmente considerando-se que os concretos espinelizados são aplicados para a fabricação de peças pré-moldadas de grandes dimensões, onde os problemas de pressurização são mais agravantes. Considerando estes aspectos, outra opção de ligante de origem mais recente é a alumina coloidal. Essas partículas de alumina de dimensões nanométricas são comercializadas atualmente em suspensões contendo até 60%-p de sólidos [11], o que possibilita sua incorporação em quantidades relativamente altas na composição do refratário, sem um aumento excessivo no teor de água.

Até o momento, poucos estudos avaliaram a incorporação de alumina coloidal em concretos refratários [11,12]. Nestes casos, a justificativa para sua utilização está relacionada ao aumento de propriedades a quente e ao controle da expansão devido à formação de espinélio, e não como agente ligante. Dessa forma, o mecanismo no qual a alumina coloidal potencialmente confere resistência mecânica ao concreto ainda é desconhecido. Por serem constituídas por aluminas de transição, é possível que as suspensões de alumina coloidal confirmem resistência mecânica por mecanismos similares ao dos ligantes à base de alumina hidratável. Por outro lado, os mecanismos de geleificação e coagulação característicos das suspensões de sílica coloidal [13,14] também podem ocorrer em concretos ligados por alumina coloidal.

Adicionalmente, devido às características mais reativas dessa fonte de alumina, é possível que, quando em contato com o MgO, ocorra a formação de alguns compostos interessantes durante a cura, como a hidrotalcita. A hidrotalcita ( $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16}.4H_2O$ ) apresenta uma complexa estrutura formada por camadas de íons  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  circundadas por átomos de oxigênio, contendo, entre elas, moléculas de água e  $CO_2$ , que podem contribuir positivamente para o ganho de resistência mecânica durante a cura [15].

Assim sendo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a atuação da alumina coloidal como agente ligante em concretos espinelizados *in situ* (alumina-magnésia), utilizando-se de sua aplicação em concretos contendo espinélio pré-formado (alumina-espinélio) como base de comparação. O desempenho, analisado por ensaios mecânicos e de porosidade aparente, também foi comparado aos resultados obtidos pelos ligantes hidráulicos mais tradicionais: o CAC e a alumina hidratável.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação da alumina coloidal como agente ligante em concretos espinelizados, dois concretos (alumina-magnésia (AM) e alumina-espinélio (AE)) foram formulados e preparados segundo o modelo de empacotamento de Alfred com coeficiente de empacotamento  $q = 0,26$  (Tabelas I e II). Em ambos, aluminas tabulares ( $d \leq 6mm$ , Almatís, Alemanha) foram utilizadas como agregados refratários e a microsílca (971 U, Elkem, Noruega) foi adicionada a fim de se obter melhor comportamento reológico durante a mistura. Nos concretos do sistema alumina-magnésia, sinter de MgO (95 wt% MgO,  $CaO/SiO_2 = 0.36$ ,  $d \leq 45 \mu m$ , Magnesita Refratários S.A., Brasil) e alumina reativa (CL 370, Almatís, Alemanha) estão presentes como fontes precursoras da espinelização *in situ*, enquanto espinélio pré-formado sinterizado (AR78, 78%-p de alumina, Almatís, Alemanha) foi adicionado nas composições do sistema alumina-espinélio.

Tabela I – Formulações dos concretos alumina-magnésia (AM) contendo diferentes ligantes.

<b>Matérias-primas (%-p)</b>	<b>AM</b>	<b>AM</b>	<b>AM</b>
	<b>2% CAC</b>	<b>2% AH</b>	<b>2% AC</b>
Alumina Tabular (6mm $\leq$ d $\leq$ 0,2mm )	62	62	62
Alumina Tabular (d $\leq$ 0,2 mm)	18	20	18
Alumina Tabular (d $\leq$ 45 $\mu$ m)	4	-	6
Alumina Reativa	7	9	7
Sínter de MgO (d $\leq$ 45 $\mu$ m)	6	6	6
Microsílica	1	1	1
Cimento de Aluminato de Cálcio	2	-	-
Alumina hidratável	-	2	-
Suspensão Alumina Coloidal (50%-p sólidos)	-	-	4
Teor de água total	4,1	4,5	4,9

Tabela II – Formulações dos concretos alumina-espínélio (AE) contendo diferentes ligantes.

<b>Matérias-primas (%-p)</b>	<b>AE</b>	<b>AE</b>	<b>AE</b>
	<b>2% CAC</b>	<b>2% AH</b>	<b>2% AC</b>
Alumina Tabular (6mm $\leq$ d $\leq$ 0,2mm )	62	62	62
Alumina Tabular (d $\leq$ 0,2 mm)	10	10	10
Alumina Tabular (d $\leq$ 45 $\mu$ m)	4	-	6
Espínélio sinterizado (d $\leq$ 0,5 mm)	21	21	21
Microsílica	1	1	1
Cimento de Aluminato de Cálcio	2	-	-
Alumina hidratável	-	2	-
Suspensão Alumina Coloidal (50%-p sólidos)	-	-	4
Teor de água total	4,4	4,6	4,9

Para os dois sistemas, a análise comparativa entre alumina coloidal (VP Disp 650 ZXP, Evonik Degussa GmbH, Alemanha), cimento de aluminato de cálcio (Secar 71, Kerneos, EUA) e alumina hidratável (Alphabond 300, Almatiss, Alemanha) foi realizada através da utilização de 2%-p de ligante. Em concretos desse tipo, a quantidade de ligante utilizada tradicionalmente é de 6%-p. No entanto, a incompatibilidade entre as cargas superficiais positivas das partículas de MgO e as cargas negativas da superfície das nano-partículas de alumina em suspensão somente permite até o momento a utilização desta quantidade limitada de alumina

coloidal em concretos alumina-magnésia. Assim, para fins de comparação, o mesmo teor de CAC e alumina hidratável foram utilizados.

Os teores de água utilizados durante o processamento dos corpos de prova destas composições foram definidos através de ensaios de fluidez onde o teor de água ideal foi aquele que resultou em uma fluidez vibrada de 80% logo após mistura, garantindo assim uma moldagem adequada.

A eficiência dos ligantes foi avaliada através de ensaios mecânicos por compressão diametral conduzidos após 1, 3, 5 e 7 dias de cura segundo a norma ASTM C496-90. Os concretos contendo cimento foram curados a 50°C em ambiente saturado de umidade, que são as condições mais propícias para o desenvolvimento de resistência mecânica para esse ligante. Para os ligantes a base de alumina hidratável e coloidal, a cura ocorreu também a 50°C, porém em atmosfera insaturada.

A evolução das possíveis fases formadas durante a cura e seus efeitos nas propriedades dos concretos também foram analisados através de medidas de resistência mecânica e porosidade aparente após queima em temperaturas intermediárias (110, 350, 600, 800 e 1000°C). Os ensaios mecânicos foram novamente por compressão diametral segundo a norma ASTM C496-90 e os resultados de porosidade aparente foram obtidos pelo método de Arquimedes com imersão em querosene segundo a norma C830 da ASTM.

Análises termogravimétricas também foram conduzidas em amostras curadas por um dia a 50°C, visando à avaliação do perfil de decomposição durante a secagem dos concretos ligados por alumina coloidal. O ensaio procedeu sob uma taxa de 10°C/min até a temperatura de 800°C.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A Figura 1 apresenta os resultados de resistência mecânica em função do tempo de cura dos concretos alumina-magnésia (AM) e alumina-espínélio (AE) ligados por CAC, alumina hidratável e alumina coloidal. Nota-se que para os concretos AM, a alumina coloidal se mostrou o ligante mais eficiente, com valores de resistência mecânica superiores aos demais desde o primeiro dia de cura. Já no concreto contendo espínélio pré-formado, a alumina coloidal apresentou um comportamento mecânico muito similar ao CAC e alumina hidratável, porém com valores muito abaixo daqueles encontrados no sistema contendo MgO.

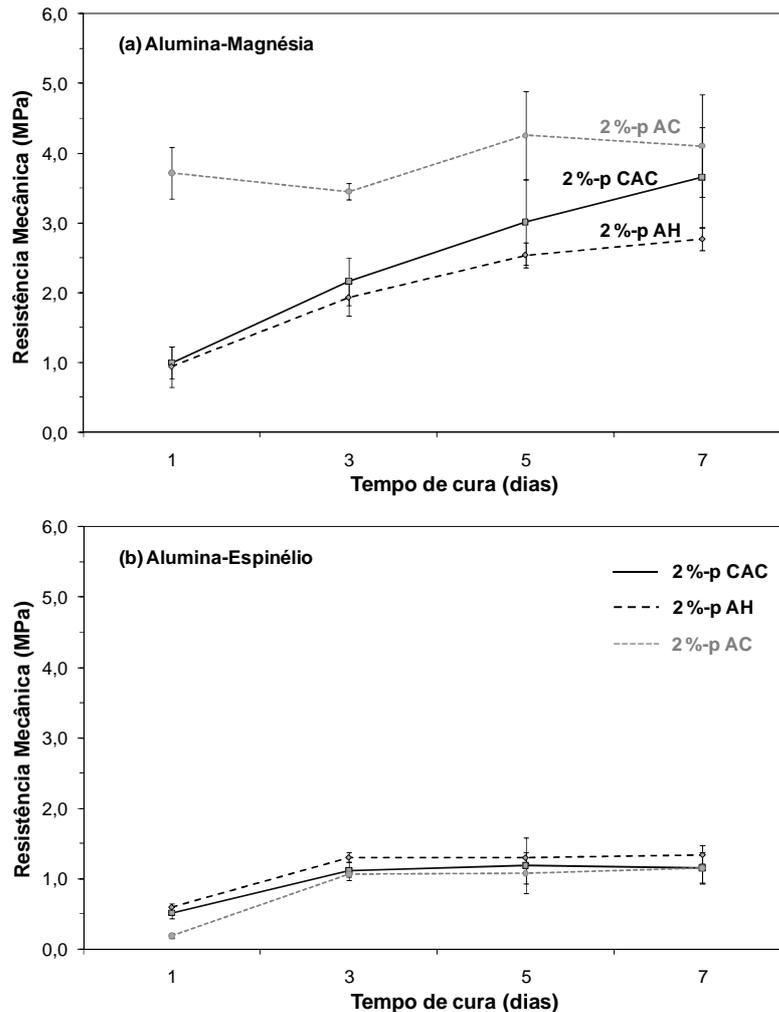


Figura 1 – Resistência mecânica por compressão diametral dos concretos (a) alumina-magnésia (AM) e (b) alumina-espinélio (AE) contendo diferentes ligantes em função do tempo de cura.

Estes resultados demonstram que, embora ocasione problemas de incompatibilidade quando em contato com a suspensão de alumina coloidal, a magnésia desempenha um papel importante na etapa de cura de concretos refratários espinelizados. Em relação à alumina coloidal, três possíveis explicações envolvendo a participação do MgO no desenvolvimento de resistência mecânica durante a cura podem estar associadas a esses resultados:

1) O papel da alumina coloidal como ligante é pequeno perto da hidratação do MgO (formação de  $Mg(OH)_2$ ), que age de forma a contribuir mais significativamente para ganho de RM durante a cura;

2) A consolidação da alumina coloidal ocorre de forma distinta nos dois concretos: no concreto contendo magnésia, o MgO atua como agente geleificante (ou coagulante) tal como ocorre com a sílica coloidal, introduzindo íons na suspensão que fazem com que haja uma conexão mais forte entre as partículas de nano-alumina;

para o concreto AS, não há a presença de nenhum agente desta natureza, o que faz com que a consolidação da alumina coloidal ocorra somente através da aproximação das partículas, decorrente da perda da água presente na suspensão;

3) Reações químicas entre a alumina coloidal e a magnésia durante a cura, gerando a formação de compostos mais complexos, como a hidrotalcita ( $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16}.4H_2O$ ).

Considerando a primeira hipótese, é certo que há formação de brucita durante a etapa de cura e que ela contribui positivamente para o desenvolvimento de resistência mecânica em concretos do sistema alumina-magnésia, uma vez que, para uma mesma quantidade de ligante, os resultados apresentados pelo concreto isento de MgO livre foram inferiores. Entretanto, se este mecanismo de ganho de resistência fosse o predominante, então não haveria diferenças significativas entre o comportamento dos três ligantes avaliados, o que, de fato, não foi observado. Assim sendo, o bom desempenho do concreto alumina-magnésia ligado por alumina coloidal está associado diretamente às interações entre este componente e o MgO.

A segunda hipótese relaciona o ganho de resistência do concreto AM ao mecanismo observado para a sílica coloidal, ou seja, através da geleificação da suspensão de alumina coloidal induzida pela presença da magnésia como agente geleificante. Neste mecanismo, não há formação de ligações hidráulicas e o material não perde resistência mecânica durante a queima em virtude da decomposição dos hidratos gerados na cura [14]. No entanto, a Figura 2(a) apresenta o comportamento mecânico em função da temperatura de queima do concreto AM contendo os diferentes ligantes, onde é possível observar que o concreto ligado por AC apresenta uma curva decrescente entre 350 e 800°C, o que provavelmente está associada à decomposição de hidratos formados durante a etapa de cura. Este resultado descarta o fato de que somente a geleificação da suspensão é responsável pelos satisfatórios valores de resistência mecânica do concreto AM ligado por alumina coloidal.

Ainda na Figura 2(a), nota-se mais uma vez o comportamento mecânico superior do concreto contendo 2%-p de alumina coloidal até 800°C, mesmo com a queda de valores citada acima. O elevado nível de resistência mecânica do concreto contendo CAC a 1000°C, que supera a alumina coloidal, está associado à recristalização das fases de aluminato de cálcio que ocorre logo após a decomposição dos hidratos formados na cura [1].

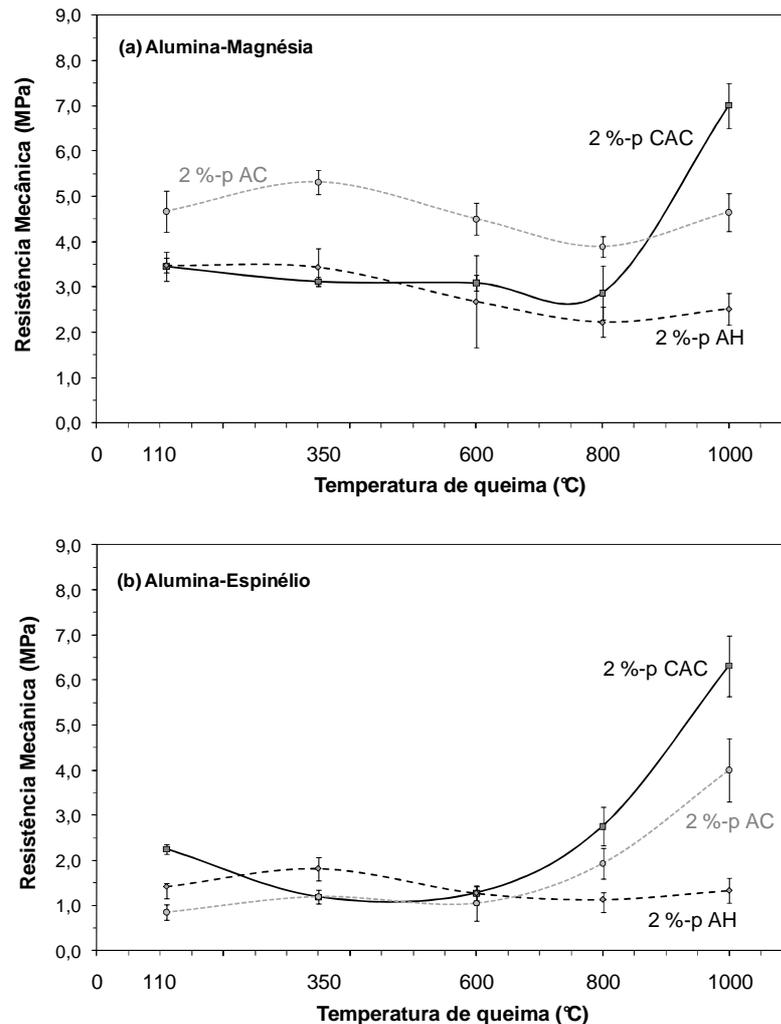


Figura 2 – Resistência mecânica por compressão diametral dos concretos (a) alumina-magnésia (AM) e (b) alumina-espinélio (AE) contendo diferentes ligantes em função da temperatura de queima.

Em relação ao concreto contendo espinélio pré-formado, é possível observar na Figura 2(b) que a alumina coloidal se mostra incapaz de atuar como um ligante eficiente, conferindo baixos valores de resistência mecânica nas primeiras etapas do processamento, que se estendem até aproximadamente 800°C. Assim sendo, na ausência de MgO, a contribuição da alumina coloidal à resistência mecânica do material provavelmente somente ocorre através da aproximação e rearranjo das nanopartículas, decorrente da perda da água presente na suspensão. A partir de 800°C, há um aumento significativo de resistência mecânica para esse concreto em virtude de início de sinterização das nano-partículas de alumina. Apesar de menos perceptível, este mesmo fenômeno também ocorre para o concreto AM.

Como complemento a análise realizada em temperaturas intermediárias, a Figura 3 apresenta os resultados de porosidade aparente em função da temperatura de queima dos concretos AM e AE contendo diferentes ligantes. Os resultados

mostram que a adição de alumina coloidal resulta em concretos com maiores valores de porosidade aparente, devido possivelmente ao maior teor de água necessário para sua moldagem e, no caso do concreto AM, na pior trabalhabilidade decorrente das interações químicas entre o MgO e a suspensão durante a mistura. Esses resultados destacam novamente o poder ligante satisfatório atingido quando há presença da magnésia em concretos ligados por alumina coloidal, que supera o maior número de defeitos característicos em concretos ligados por esse componente.

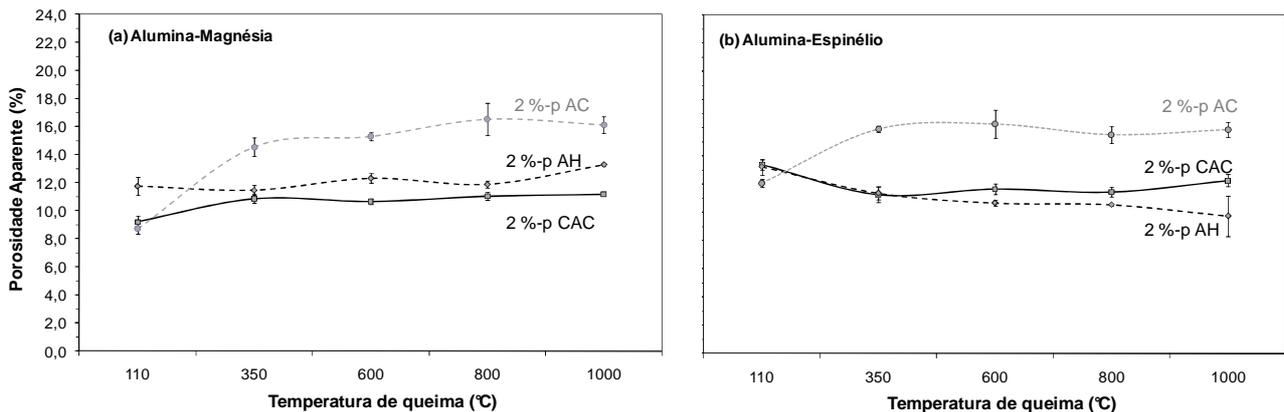


Figura 3 – Porosidade aparente dos concretos (a) alumina-magnésia (AM) e (b) alumina-espinélio (AE) contendo diferentes ligantes em função da temperatura de queima.

A dependência da presença de MgO para garantir boa coesão das partículas durante a cura em concretos ligados por alumina coloidal pode estar associada, assim, à terceira hipótese sugerida, ou seja, reação entre os dois componentes e formação de compostos que auxiliam na coesão mecânica do material tal como a hidrotalcita. Para melhor avaliar esse aspecto, análises termogravimétricas foram conduzidas nos concretos AE e AM contendo 2%-p de alumina coloidal, visando observar o perfil de secagem dessas composições (Figura 4).

Primeiramente, é possível observar que a curva de secagem do concreto contendo espinélio pré-formado se caracteriza basicamente apenas por um pico de ebulição de água livre a 100°C (pico A). Apesar do menor pico a aproximadamente 270°C (B), que pode estar associado à decomposição de pequena quantidade de hidróxido de Al formado, esse resultado confirma a hipótese de que a utilização de alumina coloidal como ligante sem a presença de MgO não leva à formação de nenhum composto. Os baixos valores de resistência mecânica observados anteriormente são, portanto, decorrentes apenas da secagem do material.

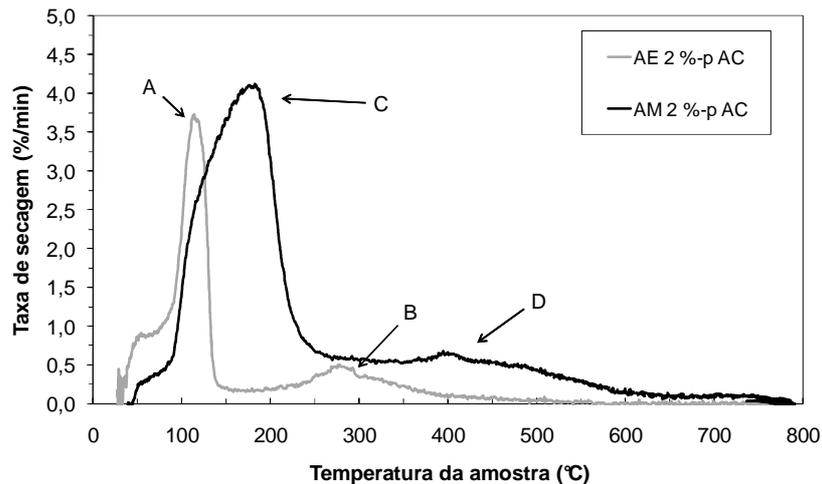


Figura 4 – Perfil de secagem obtido por análise termogravimétrica dos concretos alumina-magnésia (AM) e alumina-espínélio (AE) contendo 2%-p de alumina coloidal como agente ligante.

Para o concreto alumina-magnésia, o gráfico da Figura 4 apresenta um perfil um pouco diferente. Logo após a evaporação da água livre, há ainda uma alta taxa de secagem que provavelmente está associada à decomposição de outro componente em torno de 200°C. Devido à proximidade dos acontecimentos, o pico detectado pelo ensaio é único e largo (pico C), se estendendo de 100 a 250°C. Além disso, também é possível observar, em menor intensidade, outro pico de decomposição, que ocorre a aproximadamente 400°C (pico D).

Estudos na literatura [15] indicam que a estrutura complexa da hidrotalcita se decompõe em uma ampla faixa de temperatura, com dois picos bem característicos. Um deles está situado a 220°C e relaciona-se à perda da água presente entre as camadas, e o outro ocorre em torno de 360°C, devido à perda dos grupos (OH) e (CO<sub>3</sub>). Analisando a Figura 4, observa-se que os picos apresentados pelo concreto alumina-magnésia estão de acordo com os dados da literatura, reforçando que o comportamento mecânico satisfatório observado em concretos contendo MgO e ligados por alumina coloidal resulta da formação de hidrotalcita durante a etapa de cura.

## CONCLUSÕES

A utilização de alumina coloidal como agente ligante em concretos refratários espinelizados se mostrou ser uma prática eficiente somente na presença de MgO. Apesar da menor trabalhabilidade devido à incompatibilidade entre as cargas superficiais dos dois componentes, a alumina coloidal conferiu ao concreto um excelente comportamento mecânico tanto durante a cura, quanto em temperaturas

intermediárias. O perfil de secagem do concreto alumina-magnésia ligado por alumina coloidal indica uma curva de decomposição que se assemelha ao perfil de decomposição da hidrotalcita, indicando que, além da inerente reação de hidratação do MgO, que contribuiu para aumento de resistência mecânica, os resultados obtidos também estão provavelmente associados à formação de hidrotalcita durante a cura.

Na ausência da magnésia, a alumina coloidal não atuou de forma efetiva como ligante, contribuindo para a resistência mecânica apenas através da aproximação de partículas durante a secagem. Seu perfil de secagem indica apenas um pico de perda de massa por evaporação de água livre e nenhum outro significativo relacionado a possíveis compostos formados durante a cura.

Assim sendo, em concretos espinelizados *in situ*, a alumina coloidal se confirmou como um ligante alternativo de bom desempenho, mesmo estando presente em pequenas quantidades. O aumento no teor de alumina coloidal adicionado sem ocasionar impactos nas propriedades reológicas é um importante desafio nesse campo de estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a FIRE (Federation for International Refractories Research and Education), ao PPG-CEM (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) e a Magnesita Refratários S.A. pelo suporte na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LEE, W. E.; VIEIRA, W.; ZHANG, S.; GHANBARI, A.; SARPOOLAKY, H.; PARR, C. Castable refractory concretes. *Int. Mater. Rev.*, v. 46, n. 3, p. 145-167, 2001.
- [2] PARKER, K. M.; SHARP, J. H. Refractory calcium aluminate cements. *Transactions of the British Ceramic Society*, v. 82, n. 1, p. 35-42, 1982.
- [3] OLIVEIRA, I. R.; GARCIA, J. R.; PANDOLFELLI, V. C. Cinética de hidratação de ligantes à base de alumina hidratável ou aluminato de cálcio. *Cerâmica*, v. 53, n. 325, p. 20-28, 2007.
- [4] BRAULIO, M. A. L.; MILANEZ, D. H.; SAKO, E. Y. ; BITTENCOURT, L. R. M.; PANDOLFELLI, V. C. Expansion behavior of cement-bonded alumina-magnesia refractory castables. *American Ceramic Society Bulletin*, v. 86 n. 12, p. 9201-9206, 2007.
- [5] FUHRER, M.; HEY, A.; LEE, W. E. Microstructural evolution in self-forming spinel/calcium aluminate castable refractories. *Journal of European Ceramic Society*, v. 18, p. 813-820, 1998.
- [6] BRAULIO, M. A. L.; BITTENCOURT, L. R. M.; POIRIER, J.; PANDOLFELLI, V. C. Microsilica effects on cement bonded alumina-magnesia refractory castables. *Journal of the Technical Association of Refractories*, v. 28, n. 3, 180-184, 2008.
- [7] MYHRE, B. Microsilica in refractory castables - how does microsilica quality influence performance? In: Unified International Conference on Refractories, Orlando, EUA, 2005. *Proceedings...* UNITECR'05 CD-ROM.

- [8] HUNDERE, A. M.; MYHRE, B. Substitution of reactive alumina with microsilica in low cement and ultra-low cement castables, Part II: the effect of temperature on hot properties. In: Unified International Conference on Refractories, New Orleans, EUA, 1997. **Proceedings...** p. 91-100, 1997.
- [9] HONGO, Y.,  $\rho$ -Alumina bonded castable Refractories. **Taikabutsu Overseas**, v. 9, n. 1, p. 35-38, 1988.
- [10] CARDOSO, F.A.; INNOCENTINI, M. D. M.; MIRANDA, M. F. S.; VALENZUELA, F. A. O.; PANDOLFELLI, V. C. Drying behaviour of hydratable alumina-bonded refractory castables. **Journal of European Ceramic Society**, v. 24, n. 4, p. 797-802, 2004.
- [11] LIPINSKI, T. R.; TONTRUP, C. The use of nano-scaled alumina in alumina-based refractory materials. In: Unified International Technical Conference on Refractories, Dresden, Alemanha, 2007. **Proceedings...**p. 391–393, 2007.
- [12] BRAULIO, M. A. L.; PIVA, M. F. L.; SILVA, G. F. L.; PANDOLFELLI, V. C. In situ sinel expansion design by colloidal alumina suspension addition. **Journal of American Ceramic Society**, v. 92, n. 5, p. 559-562, 2009.
- [13] DOS ANJOS, R. D.; ISMAEL, M. R.; OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V. C. Workability and setting parameters evaluation of colloidal silica bonded refractory suspensions. **Ceramics International**, v. 34, n. 1, p. 165-171, 2008.
- [14] ISMAEL, M. R.; SALOMÃO, R.; PANDOLFELLI, V. C. A combined binding system for refractory castables based on colloidal silica and hydratable alumina. **American Ceramic Society Bulletin**, v. 86, p. 58-61, 2007.
- [15] GHANBARI AHARI, K.; SHARP, J. H.; LEE, W. E. Hydration of refractory oxides in castable bond systems—I: alumina, magnesia, and alumina–magnesia mixtures. **Journal of the European Ceramic Society**, v.22, p. 495-503, 2002.

## EVALUATION OF COLLOIDAL ALUMINA AS A BINDER AGENT FOR SPINEL CONTAINING REFRACTORY CASTABLES

*The recent trend of reducing the use of calcium aluminate cement in spinel containing refractory castables has increase the interest in materials containing CaO-free binders, such as the hydratable alumina. However, the hydratable alumina employment shows an important drawback during the castable dewatering step. Due to the low permeability generated by the gel formed during the castable curing, the water release is hindered, increasing the likelihood of explosive spalling. Considering these aspects, the objective of this work is to evaluate the colloidal alumina utilization as a binder agent for spinel containing castables. The addition of such nano-scaled alumina seems to be a feasible alternative, as it may also act directly in the in situ spinel formation, by reducing its generation temperature and residual expansion. The results obtained in the work showed that the nano-alumina suspension presented satisfactory mechanical behavior after the curing step, mainly for the magnesia-containing compositions.*

Key-words: colloidal alumina, binder, refractory, spinel.