

Caracterização de cimento líquido a base de cimento de aluminato de cálcio (Characterization of liquid cement based on calcium aluminate cement)

V.M.C. Leite¹, I.S. Gonçalves¹, L.P.S. Ferreira¹, V.C. Pandolfelli², I.R. de Oliveira¹

¹Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – Universidade do Vale do Paraíba

São José dos Campos - SP

²Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Carlos

São Carlos – SP

vleite223@gmail.com

Resumo

Os cimentos de aluminato de cálcio (CAC) são os ligantes que mais se destacam no setor de refratários. Normalmente, é usado em pó e quando misturado com água ocorre o processo de pega hidráulica por meio de reação de dissolução seguida de precipitação na forma de hidratos. A preparação desta pasta deve ser feita no momento da aplicação. Entretanto, o CAC vem sendo desenvolvido na forma líquida com a reatividade preservada e ativada no momento da aplicação. Essa suspensão é adequada para todos os tipos de revestimentos à base de água. Dessa forma, neste trabalho foram preparadas amostras sólidas a partir da ativação do CAC líquido as quais foram caracterizadas quanto às fases cristalinas, densidade, dilatação térmica, resistência mecânica à flexão, módulo elástico, dureza, porosidade aparente, rugosidade e capacidade bactericida. As análises de DRX mostraram que o CAC líquido apresenta silicato de cálcio em sua composição. Quanto às propriedades mecânicas apresentou menores valores quando comparado às amostras preparadas com CAC em pó, assim como, maior rugosidade e capacidade bactericida o que deve favorecer a sua aplicação em ambientes limpos.

Palavras-chave: CAC, cimento líquido, propriedades, capacidade bactericida.

Abstract

Calcium aluminate cements (CAC) are the most outstanding binders in the refractory industry. Usually it is used in powder and when mixed with water the hydraulic handle process occurs by means of dissolution reaction followed by precipitation in the form of hydrates. The preparation of this paste must be made at the time of application. However, CAC has been developed in the liquid form with the reactivity preserved and activated at the time of application. This suspension is suitable for all types of water-based coatings. Thus, in this work, solid samples were prepared from the activation of the liquid CAC which were characterized for crystalline phases, density, thermal expansion, mechanical resistance to flexure, elastic modulus, hardness, apparent porosity, roughness and bactericidal capacity. The XRD analyzes showed that the liquid CAC presents calcium silicate in its composition. As for the mechanical properties presented lower values when compared to the samples prepared with CAC powder, as well as, greater roughness and bactericidal capacity which should favor its application in clean environments.

Keywords: CAC, liquid cement, properties, bactericidal capacity.

INTRODUÇÃO

Os agentes ligantes são, em sua maioria, óxidos capazes de se rehidratar promovendo a coesão das partículas de materiais como os materiais refratários. Além do desenvolvimento de resistência mecânica, determinante do tempo de desmoldagem, os ligantes também influenciam as propriedades reológicas desses materiais, controlando sua trabalhabilidade. Nesta categoria, destacam-se os cimentos de alta alumina, também conhecidos como cimentos de aluminato de cálcio (CAC).

Os cimentos de aluminato de cálcio (CAC) são os ligantes que mais se destacam no setor de refratários por conferir propriedades especiais a esses materiais tais como rápido desenvolvimento de resistência mecânica a verde e alta resistência a agentes corrosivos [1, 2]. São formados por fases anidras cristalinas do sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ (CA) como CA (40 a 70 %), CA_2 (> 25%) e C_{12}A_7 (1 a 10%) [3, 4].

Normalmente, o CAC é usado em pó e quando misturado com água ocorre o processo de pega hidráulica por meio de reação de dissolução das fases anidras seguida de precipitação na forma de hidratos, garantindo resistência mecânica do material antes da sinterização. Quanto maior o teor da fase C_{12}A_7 presente no cimento, mais rápido ocorrerá a saturação e a precipitação de hidratos. O processo de hidratação das diferentes fases anidras está relacionada com a quantidade relativa entre as concentrações de Ca^{2+} e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ que cada uma delas pode gerar em solução. Quanto maior o teor de Ca^{2+} liberado em solução mais favorecida será a precipitação de hidratos mais ricos em Ca^{2+} , que são por natureza menos solúveis e, portanto, precipitam mais rapidamente, quando comparado aos menos ricos em cálcio [5-7].

A adição da água ao CAC deve ser feita no momento da aplicação podendo ser adicionados aditivos para controle da sua fluidez e tempo de endurecimento. Certos aditivos atuam como aceleradores da pega do CAC como os sais de lítio, ou seja, na presença desses aditivos seu mecanismo de hidratação é favorecido. O interesse nesse composto como aditivo acelerador deve-se a sua grande eficiência, já que com teores da ordem de 0,01 % obtém-se grande efeito no processo de endurecimento do cimento [8-11].

O mecanismo de hidratação e, principalmente a etapa de precipitação, pode ser acelerada devido à liberação de cátions no meio líquido por parte dos aditivos. O aumento da concentração de cátions no meio promove a formação de compostos com os íons $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ provenientes da dissolução das partículas de cimento. Com isso, ocorre um aumento da concentração de íons Ca^{2+} no meio favorecendo a formação de hidratos mais ricos em cálcio.

A precipitação de compostos insolúveis de lítio é mais rápida do que a precipitação dos hidratos de aluminato de cálcio e apresentam estrutura cristalina necessária para servir de germes para a nucleação do hidrato, independente da temperatura [11].

Entretanto, o CAC vem sendo desenvolvido e vendido no mercado já na forma líquida, como uma suspensão dispersa e estabilizada eletrostericamente, com a reatividade preservada e ativada apenas no momento da aplicação por meio da adição de uma base e um sal de lítio como acelerador do tempo de pega. Essa suspensão é adequada para uso em todos os tipos de revestimentos à base de água: tintas, membranas impermeabilizantes, revestimentos arquitetônicos adesivos, gessos, betumes e massas.

Dentro deste contexto o objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização de amostras preparadas com o cimento líquido quanto às fases cristalinas, densidade real, dilatação térmica, resistência mecânica à flexão, módulo elástico, dureza, porosidade aparente, rugosidade e capacidade bactericida, comparado com amostras preparadas a partir de CAC em pó.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente ao cimento de aluminato de cálcio (CAC) líquido (60%-p de sólidos) foram adicionados 2%-p de solução básica sendo misturado durante 2 minutos e em seguida, um sal de lítio (0,8%-p) também seguido por mistura durante 2 minutos. Para comparação também foi obtida uma pasta (80%-p de sólidos) a partir da mistura de água ao CAC em pó (Secar 71, Kerneos Aluminates – France) contendo dispersante poliglicol (Bayer, 0,6%-p) e plastificante $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Labsynth, 2,8%-p) previamente homogeneizado em moinho de bolas durante 1 hora.

As pastas obtidas foram vertidas em moldes para a preparação de amostras quadradas (20 mm comprimento x 20 mm largura x 4 mm de espessura), em barras (75 mm comprimento x 12,5 mm altura x 12,5 mm de largura), cilíndricas (6 mm diâmetro x 2 mm de altura) e cilíndricas (16 mm diâmetro x 18 mm altura). As amostras após a moldagem foram mantidas a 37 °C em uma estufa em ambiente saturado durante 24 horas (cura). Após a cura, as amostras foram desmoldadas, secas a 110 °C por 24 horas e usadas para os diferentes ensaios.

A caracterização quanto às fases cristalinas foi realizada em amostras quadradas por meio da técnica de Difração de Raios X utilizando um difratômetro de raios X, modelo XRD-6000 da Shimadzu empregando-se radiação Cu-K α ($\lambda = 1,54439 \text{ \AA}$).

A caracterização quanto à densidade real foi realizada em amostras quadradas usando um picnômetro de hélio (Ultracyc 1200e, V5.04, Quantachrome). Foram realizadas 10 leituras para cada amostra.

A caracterização quanto ao coeficiente linear de expansão térmica foi realizada em amostras em barras. Após a cura, as amostras foram desmoldadas e mantidas a 37°C durante 7 dias. Após este período foi realizada a medição do comprimento das amostras em triplicada com o auxílio de um paquímetro digital. Após as medições, as amostras foram mantidas a 67°C durante 7 dias. Após este período as medições foram repetidas.

O coeficiente linear de expansão térmica representa a capacidade do material de dilatar-se com o aumento da temperatura. A análise unidimensional para pequenas variações de temperatura submetidas às composições estudadas foi analisada seguindo a equação abaixo:

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} = \alpha_l (T_f - T_0) \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha_l \Delta T$$

onde, l_0 e l_f são o comprimento inicial e final, respectivamente; T_0 e T_f são a temperatura inicial e final, respectivamente e α_l é o coeficiente linear de expansão térmica ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A caracterização quanto à resistência mecânica à flexão e módulo elástico foi realizada em amostras em barras. A resistência à flexão foi medida a uma velocidade de 0,5 mm/min (ASTM C674) para pelo menos cinco amostras de cada composição, usando uma máquina de ensaios mecânicos (DL 10000, EMIC). Foi utilizada a configuração em três pontos sendo a distância entre os pontos de apoio fixada em 30 mm. O módulo de ruptura (σ_R) foi calculado usando a seguinte equação:

$$\sigma_R = \left[\frac{3Fl}{2bd^2} \right]$$

onde, F (N) é força máxima na fratura, l (mm) distância entre os apoios, b (mm) largura do corpo de prova, d (mm) espessura do corpo de prova.

O módulo elástico foi obtido pelo método de excitação por impulso usando um equipamento Sonelastic. Nesta técnica, os módulos elásticos são calculados a partir do som emitido pelo corpo de prova ao sofrer uma pequena pancada mecânica. Este som, ou resposta acústica, é composto pelas frequências naturais de vibração do corpo que são proporcionais aos módulos elásticos e sua amplitude decai de acordo com o amortecimento do material. Para geometrias simples (barra, cilindro, disco, anel e placa) existe uma relação unívoca entre as frequências naturais de vibração com as dimensões, a massa e os módulos de elasticidade do corpo de prova.

A caracterização quanto à dureza foi realizada em amostras cilíndricas (6 mm diâmetro x 2 mm de altura). O equipamento utilizado foi o Durômetro Vickers FV-100e. Neste método, é usada uma pirâmide de diamante com ângulo de diedro de 136° que é comprimida, com uma carga arbitrária “F”, contra a superfície do material.

Após a remoção da carga, foi medido o valor das diagonais da impressão produzida no material através de um microscópio conectado a um micrometro. Assim, foi calculada a área da superfície impressa pela medição das diagonais. O Número Vickers (HV) foi então determinado pela razão entre a carga (F, kgf) e a área superficial da impressão (A, mm²):

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \approx 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

no qual

$$d = \frac{d_h + d_v}{2}$$

onde: F = é a carga aplicada sobre a amostra (kgf); d = é a soma das diagonais dividido por dois, e HV = dureza Vickers (kgf/mm²)

A caracterização quanto à porosidade aparente foi realizada em amostras cilíndricas (16 mm de diâmetro x 18 mm de altura). As amostras foram mantidas a 37 °C em uma estufa em ambiente saturado durante 24 horas, em seguida foram desmoldadas, secas a 110°C durante 2 dias e submetidas aos ensaios.

A porosidade aparente foi avaliada de acordo com o método de imersão (princípio de Arquimedes) usando querosene como líquido de imersão (ABNT NBR 6220). As amostras em triplicata foram inicialmente pesadas a seco (M_s) e após 1 hora de imersão em querosene (ρ=0.80g/cm³) sob vácuo, as amostras foram novamente pesadas quando imersas no líquido

(M_i) e úmidas (M_u). Assim, a porosidade aparente foi calculada pela massa de líquido retida em seus poros abertos como apresentado pela equação:

$$PA = \left[\frac{(M_u - M_s)}{(M_u - M_i)} \right] \times 100$$

As medidas de rugosidade foram realizadas em amostras quadradas. As leituras de rugosidade foram realizadas utilizando um rugosímetro (Taylor Robson PGI 1000 do laboratório de medição de superfícies ópticas LMSO do IEAv-DCTA). Foram realizadas 4 leituras para cada amostra (em duplicata), com comprimento de medição (I_m) de 4 mm, comprimento de medição unitário I_e (CUT-OFF) de 0,8 mm e distância entre cada medição de 2 mm. O parâmetro medido foi:

- Rugosidade média (R_a): é o valor médio aritmético de todos os desvios do perfil de rugosidade da linha média dentro do comprimento de medição I_m . É calculada, de acordo com a equação:

$$Ra = \frac{1}{l_m} \int_0^l |y(x)| dx$$

A caracterização quanto à capacidade bactericida e adesão bacteriana foi realizada em amostras cilíndricas (6 mm diâmetro x 2 mm de altura). As amostras após a moldagem foram mantidas a 37 °C em uma estufa em ambiente saturado durante 24 horas (cura). Após a cura, as amostras foram esterilizadas a seco em estufa a 110 °C por 24 horas, seguido de tratamento em fluxo (UV) durante 20 minutos. Os microrganismos utilizados foram: *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) e *Escherichia coli* (ATCC 25922).

O preparo das soluções bacterianas (*S.aureus* e *E.coli*) ocorreu por meio da adição de 7 µL de uma cultura estoque em 6 mL de caldo Luria Bertani (LB, Sigma) estéril e armazenados em tubos de vidro 18x18 mm (Pyrex®). As soluções bacterianas foram incubadas em estufa (Fanem®) a 37 °C durante 3 horas.

O preparo do caldo LB (100 mL) ocorreu pela adição de 3,7 gramas do meio em 100 mL de água destilada seguido de agitação usando agitador magnético até que formasse uma mistura homogênea. Posteriormente, a solução foi autoclavada (Fanem®) em uma temperatura de 121°C por 15 minutos para esterilização e estocada em um Erlenmeyer a 37°C.

As soluções bacterianas foram diluídas a fim de se obter 10⁶ unidades formadoras de colônia por mL (UFC/mL). Uma alíquota de 5 µl das soluções diluídas foram adicionadas a

200 µL de meio LB em uma placa de 96 poços. Em seguida as amostras foram colocadas nos poços em triplicata, seguido de incubação pelo período de 24 h a 37 °C. Como controles foram utilizados poços contendo meio mais solução bacteriana (positivo) ou apenas meio LB (negativo). Após 24 horas de incubação, uma alíquota de 150 µL do sobrenadante de cada poço foi retirada e levada para leitura de densidade óptica das amostras (DO) utilizando o espectrofotômetro SpectraCount® (Packard) com um filtro de 570 nm.

Em seguida, cada poço foi lavado com solução tampão fosfato de sódio (PBS) 0,1M por duas vezes. A seguir, a solução fixadora composta por glutaraldeído, paraformaldeído e PBS foi colocada nos poços. A solução fixadora foi removida, uma nova lavagem com PBS foi realizada por duas vezes. Para a análise por microscopia eletrônica de varredura, as amostras foram desidratadas em soluções crescentes de etanol (50, 60, 70, 80, 90 e 100%, sendo 100% repetido três vezes), 10 min em cada concentração. O álcool foi removido e a placa foi deixada em repouso para secagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as etapas do processo produtivo do cimento líquido influenciam suas propriedades, principalmente as etapas de moldagem e secagem. Amostras produzidas a partir de CAC em pó foram comparadas com amostras produzidas com CAC líquido, sendo os resultados das caracterizações apresentados no decorrer deste trabalho.

A fim de avaliarmos a formação das fases cristalinas em amostras obtidas a partir de cada tipo de cimento, a Figura 1 apresenta a caracterização por meio de Difração de raios X das amostras após secagem. Apenas fases de aluminatos de cálcio e silicato de cálcio foram identificadas. Em seguida, a Tabela 1 apresenta os resultados das caracterizações quanto à densidade, dilatação térmica, resistência mecânica à flexão, módulo elástico, dureza, porosidade aparente e rugosidade. As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados da capacidade bactericida representada a partir da densidade óptica e da adesão bacteriana verificada por meio de análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), respectivamente.

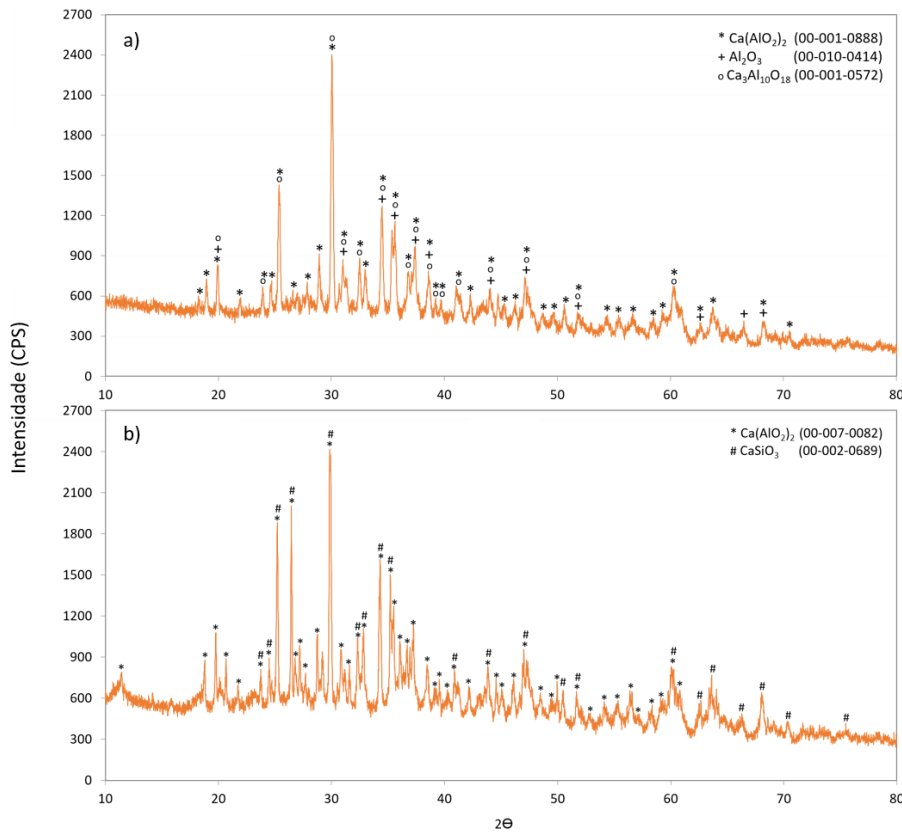


Figura 1: Difratomogramas de raios X de amostras produzidas a partir de cimento de aluminado de cálcio (CAC) em a) pó e b) líquido.

Além da presença da fase de aluminato de cálcio em ambos os cimentos, é possível notar a presença de silicato de cálcio no CAC líquido. De acordo com informações do fabricante, o cimento líquido contém sílica em sua composição. A sílica apresenta especial potencial para utilização em concretos, pois age como ligante na presença de Al e O devido sua rapidez e facilidade de ligação com tais elementos, facilitando a etapa de secagem, diminuindo a porosidade a verde e, sê necessário, melhora as propriedades à quente dos materiais. O sistema de produção do CAC líquido contendo suspensão básica a base de sílica em contato com o sal de lítio possui pega por meio da formação de uma pequena gelificação da solução, onde as partículas de sílica reagem formando ligações primárias fortes que as mantém unidas, gerando um sólido de estrutura microporosa. Esta pequena quantidade de gelificação é decorrente da formação da ligação silanol (Si–O–Si) que em seguida reage aos íons Ca²⁺ e demais componentes [12].

Tabela 1 – Caracterizações das amostras produzidas a partir de cimento de aluminado de cálcio (CAC) em pó ou líquido.

<i>Caracterização</i>	<i>CAC em pó</i>	<i>CAC líquido</i>
<i>Densidade Real</i>	2,45±0.03 g/cm ³	2,37±0.02 g/cm ³
<i>Dilatação Térmica</i>	5,98 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	8,94 10 ⁻⁶ °C ⁻¹
<i>Resistência Mecânica à Flexão</i>	18,17±0.66 MPa	7,51±0.64 MPa
<i>Módulo Elástico</i>	17,04±0.54 GPa	7,17±0.32 GPa
<i>Dureza</i>	52,36±7.09 HV	14,85±3.00 HV
<i>Porosidade Aparente</i>	10,50±0.5 %	45,23±0.8 %
<i>Rugosidade (Ra)</i>	0,52±0.08 µm	0,87±0.09 µm

No geral, as propriedades mecânicas apresentadas pelas amostras preparadas com CAC em pó foram superiores as apresentadas pelas amostras preparadas com CAC líquido. Isso provavelmente ocorre dado ao maior teor de sólidos presentes na amostra CAC sólido (80%-p de sólidos) comparado ao CAC líquido (60%-p de sólidos) resultando em maior porosidade e menor densidade das amostras CAC líquido.

Por outro lado, amostras obtidas a partir de CAC líquido apresentaram maior rugosidade. Considerando a aplicação do cimento líquido em revestimentos à base de água o aumento da rugosidade pode gerar o acúmulo de bactérias. A colonização microbiana e consequente deposição do biofilme aumenta com o aumento da rugosidade da superfície, isto porque a área de superfície é maior em superfícies rugosas, oferecendo mais locais favoráveis à colonização. Em oposição, as superfícies ultra-lisas não favorecem a adesão bacteriana [13].

Estudos mostram que o cimento líquido é um material promissor para diversas aplicações industriais no ramo metalúrgico, químico (fabricação de tintas, rejuntas, gessos, betumes, etc), civil (membranas impermeáveis, revestimentos adesivos arquitetônicos, etc) entre outros. Assim, para garantir uma vida útil e estabilidade é necessário avaliar o potencial bactericida dos materiais, comparando sua suscetibilidade na proliferação de microrganismos. As Figuras 2 e 3 apresentam a viabilidade dos microrganismos *E. Coli* e *S. Aureus* (densidade óptica) e sua adesão na superfície das amostras (micrografias eletrônicas de varredura) de CAC em pó e CAC líquido.

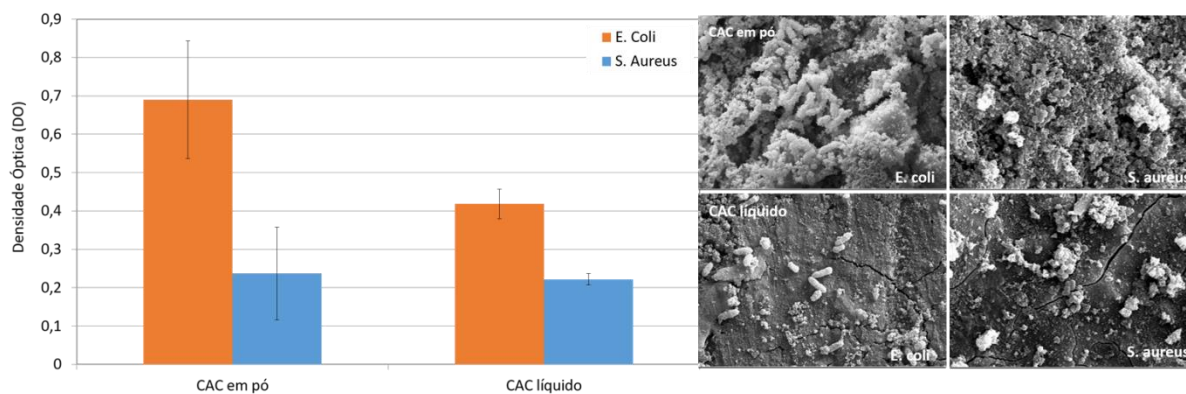


Figura 2: Medidas de densidade óptica de crescimento e micrografias de microrganismos *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* em contato com CAC quando preparado usando CAC em pó ou CAC líquido. Valores apresentados como média \pm desvio padrão.

É possível verificar que o CAC líquido foi efetivo contra a proliferação dos microrganismos testados principalmente *Escherichia coli*. A sílica é formada por partículas flexíveis, ou seja, há inúmeras combinações que possibilitam a formação de pelo menos 17 estruturas cristalinas diferentes. Quando uma dessas reações acontece, há formação de uma ligação forte que só é rompida com interferência energética artificial. O composto silícico somente une-se a redes cristalinas idênticas no sistema, colocando elementos “estranhos” (como agentes antitumorais, marcadores, proteínas, genes, microrganismos e até mesmo DNA) entre as redes formadas, causando envelopamento dos mesmos [13,14]. Tais fatores levam a propor que o CAC líquido é um material promissor, com a vantagem de ser mais inibidor a proliferação destes microrganismos, garantindo assim maior aplicabilidade no mercado industrial.

CONCLUSÕES

Amostras preparadas com CAC líquido apresentaram maior porosidade e menores valores de propriedades mecânicas como resistência à flexão, módulo elástico e dureza. Por outro lado, apresentou maior rugosidade o que não interferiu na sua capacidade bactericida. O cimento líquido mostrou-se efetivo contra os microrganismos *Staphylococcus aureus* e principalmente *Escherichia coli*. Tais propriedades devem favorecer a aplicação do CAC líquido em ambientes limpos, quando adicionado em produtos químicos à base de água, como as tintas, alguns vernizes e membranas líquidas para revestimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fapesp #2016/15032-3 e CNPq #301665/2015-0, bem como a Imerys Aluminates (França) pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] T. A. BIER, N. E. BUNT, C. PARR, “Calcium aluminate bonded castables: their advantages and applications”, In: Latin-american association of refractory manufacturers meeting. Buenos Aires: Alafar, p.75-84, 1996.
- [2] D. SORRENTINO, F. SORRENTINO, M. GEORGE, “Mechanisms of Hydration of Calcium Aluminate Cements”, In: Material Science of Concrete IV, ACS: Westerville, p. 41-90, 1995.
- [3] W.E. LEE, W. VIEIRA, S. ZHANG. K.G. AHARI, H. SARPOOLAKY, C. PARR, “Castable refractory concretes”, In: International Materials Reviews, v. 46, p. 145-167, 2001.
- [4] K.M. PARKER, J.H. SHARP, "Refractory calcium aluminate cements", In: British Ceramic Transitions Journal, v. 81, p. 35-42, 1982.
- [5] LOOF, J. “Calcium-aluminate as biomaterial. Synthesis, design and evaluation.” Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia) 87f – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Uppsala, Upsália, 2008.
- [6] LUZ, A.P.; PANDOLFELLI, V.C., “Physical properties and hydration evolution of dispersant containing calcium aluminate cement compositions for endodontic applications.” In: Revista Cerâmica, v. 60, p. 366-370, 2014.
- [7] LUZ, A.P.; BORBA, N.Z.; PANDOLFELLI, V.C., “Evolução da resistência mecânica e dos produtos de hidratação de um cimento de aluminato de cálcio, visando sua aplicação em endodontia.” Revista Cerâmica, v. 60, p. 192-198, 2014.
- [8] GEORGE, C.M., “Aspects of calcium aluminate cement hydration.” In: Refractories Symposium - The American Ceramic Society, St. Louis, p. 1-21, 1994.
- [9] B. R. CURRELL, R. GRZESKOWLAK, H. G. MIDGLEY, J. R. PARSONAGE, “The acceleration and retardation of set high alumina cement by additives”, In: Cement and Concrete Research, v. 7, p. 420-432, 1987.
- [10] N. BUNT, C. REVAIS, M. VIALLE., “Additives in calcium aluminate cement containing castables”, In: UNITECR 97 (Unified International Technical Conference on Refractories), New Orleans, p. 1347-1354, 1997.
- [11] GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, I.R.; PANDOLFELLI, V.C., “Processo de hidratação e os mecanismos de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio.”, Revista Cerâmica, v. 53, p. 42-56, 2007.
- [12] MAGLIANO, M. V. M.; PANDOLFELLI, V.C., “Características da sílica coloidal e seus efeitos em concretos refratários” Revista Cerâmica, v. 56, p. 141-147, 2010.
- [13] KATSIKOIANNI, M., MISSIRLIS, Y.F., “Concise review of mechanisms of bacterial adhesion to biomaterials and of techniques used in estimating bacteria-material interactions.” In: European Cells and Materials, v. 8, p. 37-57, 2004.
- [14] RIBEIRO, G. B. M. Obtenção de biomateriais porosos utilizando sílica coloidal como aglutinante. 51f. Trabalho de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS 2009.

