

Espumas cerâmicas aditivadas com resíduos de vidro plano pelo método da réplica

R.C.B. Albuquerque^{1*}, B.C.M. Figueiredo², R.B. Albuquerque², C. R. S. Morais¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande – PB, 58429-900

²Graduação em Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58429-900.

(recebido em 08-08-2019 ; aceito em 07-10-2019)

regina_engmat@hotmail.com

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

O interesse pela classe das cerâmicas porosa tem envolvido muitos pesquisadores em relação as suas propriedades específicas juntamente com a possibilidade da reutilização de materiais. O vidro está entre os materiais que mais atraem interesse da reciclagem, podendo ser usado no desenvolvimento dessas cerâmicas porosas. Este trabalho busca investigar a possibilidade de obtenção de espumas cerâmicas incorporando resíduo de vidro plano na sua composição. Para realização da pesquisa as matérias-primas passaram por beneficiamento e submetidos a ensaios de caracterização. Diversas formulações foram preparadas e depois conformadas pelo método da réplica. Os corpos cerâmicos passaram por diferentes tratamentos térmicos e também se avaliou as propriedades físico-mecânica. Os resultados obtidos demonstraram que houve melhora nas propriedades físico-mecânica com o aumento do teor de vidro plano na composição. Portanto, a incorporação de resíduos de vidro na massa cerâmica mostrou uma boa alternativa na obtenção das espumas cerâmicas, trazendo benefício tecnológico e ambiental.

Palavras-chave: Cerâmica porosa, Vidro plano, Método da réplica.

Abstract:

The interest in the class of porous ceramics has involved many researchers in relation to their specific properties along with the possibility of reuse of materials. Glass is among the materials that most attract recycling interest and can be used in the development of porous ceramics. This work investigates the possibility of obtaining ceramic foams incorporating flat glass residue in their composition. To carry out the research, the raw materials were processed and subjected to characterization tests. Various formulations were prepared and then conformed by the replication method. The ceramic bodies underwent different thermal treatments and also the physical-mechanical properties were evaluated. The results showed that there was improvement in the physical-mechanical properties with the increase of the flat glass content in the composition. Therefore, the incorporation of glass residues in the ceramic mass showed a good alternative in obtaining the ceramic foams, bringing technological and environmental benefits.

Keywords: Porous ceramic, Flat glass, Replica method.

Introdução

Nos últimos anos, o desenvolvimento e a prática da reciclagem vêm se tornando expressivo em todo mundo, proporcionalmente a isso, cresceu a necessidade de buscar novas alternativas para o aproveitamento de resíduos, sobretudo, o resíduo de vidro [1-3].

O vidro está entre os materiais que atraem grande interesse na reciclagem. É um dos principais resíduos domésticos mais utilizado, com seus vários tipos e suas possibilidades de utilização em diversos produtos, arquitetura, engenharia e decoração, impactando negativamente pela quantidade gerada [4, 5]. O vidro dos recipientes pós-consumo (por exemplo: garrafas e frascos) e rejeitos de vidro plano, triturados, podem ser repetidamente reciclados em produtos

similares, sem perder suas propriedades e qualidade [6]. Esse resíduo poderia, por exemplo, ser usado na fabricação de produtos com valor de mercado, tais como as espumas cerâmicas, que estão comercialmente disponíveis para ampla variedade de aplicações tecnológicas, como filtros, membranas, isolantes térmicos e painéis estruturais leves entre outras [7]. Cerâmicas porosas são materiais porosos com células uniformes, que estão fechadas ou interligadas. As espumas que têm células fechadas são normalmente utilizadas como isolante térmico e as de células abertas são utilizadas em aplicações que envolve a passagem de um fluido, como filtros para metais fundidos, gases quentes e suportes catalíticos.

Geralmente, as cerâmicas porosas podem ser fabricadas por diversos métodos como: queima de partículas orgânicas, gel casting, *direct foaming*, método da réplica, etc. Entre todos esses processos de fabricação, o método da réplica é o mais popular na produção de cerâmica porosa, e hoje amplamente utilizada na indústria cerâmica para fabricação de filtros cerâmicos [8]. Em particular, o método da réplica é um processo simples e de baixo custo. O processo consiste basicamente na impregnação de uma espuma polimérica por uma suspensão de pó cerâmico ou vítreo, seguida de tratamento térmico, que inclui a degradação da parte orgânica e a sinterização do material inorgânico, resultando na réplica da espuma original [3].

Baseado nesse contexto, poucas pesquisas têm sido realizadas para obtenção de espumas cerâmicas incorporando resíduos de vidro na massa cerâmica

Apesar da grande variedade de métodos de fabricação, o controle preciso da porosidade e da distribuição de tamanho de poros ainda é bastante limitado em alguns dos processos, especialmente naqueles baseados na produção de espuma a partir de uma suspensão. O desenvolvimento de um método capaz de proporcionar estruturas celulares altamente porosas, mais homogêneas, com densidade reprodutível e com reduzido tamanho de poros pode resultar em cerâmicas celulares com propriedades termomecânicas superiores, ampliando suas possibilidades de uso [9].

O grande interesse pelas cerâmicas com alta porosidade se deve as suas propriedades com elevada tenacidade, resistência a ataques químicos, resistência a altas temperaturas, alta permeabilidade, baixa densidade após queima e alta área superficial e ao seu vasto campo de aplicação. E devido as suas novas formas de obtenção de cerâmicas porosas incorporando resíduos na sua composição podem apresentar uma melhor qualidade e um maior desempenho, além de evitar a extração de materiais renováveis, como também propor uma destinação ecologicamente correta para os mesmos. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo investigar a possibilidade de obtenção de espumas cerâmicas incorporando resíduos de vidro plano em pó na sua composição visando fabricar uma espuma com propriedades similares às industriais na perspectiva de serem aplicados como filtros de metais líquidos.

Materiais e Métodos

Foram utilizadas como matéria-prima na pesquisa realizada, a argila *ball clay*, a alumina eletrofundida, doadas pela empresa COTEBRAS (Companhia Tecnocerâmica do Brasil), e os resíduos de vidro plano doados pela Vidraçaria do Nélio, do município de Campina Grande/PB. O silicato de sódio (Na_2SiO_3), utilizado nas barbotinas como defloculante, foi fornecido pela Indústria LUZARTE/PE, com densidade de $1,2 \text{ mg.l}^{-1}$. Para a preparação dos corpos de prova porosos foram utilizadas espumas de poliuretano, apresentada na Figura 1, doadas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina/RS.



Figura 1: Espumas de Poliuretano.

Caracterização dos Materiais

Inicialmente as matérias-primas foram beneficiadas. A argila e a alumina eletrofundida já foram encontradas em forma de pó, sendo só necessário passar por peneira. A argila foi peneirada através de peneira ABNT N° 200 (abertura $74 \mu\text{m}$), e a alumina eletrofundida ABNT N° 100 (abertura $150 \mu\text{m}$). O resíduo de vidro foi fragmentado manualmente, moído em moinho periquito, e beneficiado em peneira ABNT N° 200 (abertura $74 \mu\text{m}$). A espuma de poliuretano foi cortada em seções retangulares nas dimensões (7cm x 2 cm x 4 cm).

Para análise da composição química e mineralógica das matérias-primas, em forma de pó, foram realizados os ensaios de Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios X (EDX) e Difração de Raios X (DRX). As técnicas de análise térmica diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG) foram utilizadas a fim de determinar o comportamento térmico das amostras.

Suspensão

Em seguida foi feita a preparação da suspensão cerâmica, tendo proporções diferentes de argila, alumina e resíduo de vidro plano. Todas as formulações foram com 36% de água destilada e silicato de sódio, apresentada na Tabela 1. O tamanho dos grãos utilizados nas formulações foi de malha 200 (0,074 mm) e malha 100 (0,150 mm).

Tabela 1 – Formulações padrões utilizadas na pesquisa.

| Matérias-Primas | Formulações | | | | | |
|------------------------|-------------|------|-------|-----|------|-------|
| | F1 | F1V5 | F1V10 | F2 | F2V5 | F2V10 |
| Argila | 60% | 55% | 50% | 50% | 45% | 40% |
| Alumina | 40% | 40% | 40% | 50% | 50% | 50% |
| Resíduo de vidro plano | 0% | 5% | 10% | 0% | 5% | 10% |

As suspensões cerâmicas foram homogeneizadas em um misturador mecânico Fisotom - modelo 713D - série 988868, com velocidade de aproximadamente 800 rpm, por cerca de 30 minutos. Em seguida, foram impregnadas em esponjas poliméricas de poliuretano. Retirando o excesso de suspensão através de rolos de calandra, a fim de desobstruir os poros. Após retirar o excesso da suspensão, as espumas cerâmicas secaram primeiramente à temperatura ambiente, por aproximadamente 24 horas, de acordo com informações obtidas em trabalho realizado preliminarmente para depois serem secadas por 24 horas em estufa, Modelo

315 SE-FANEM, a 110°C. Após a secagem, os corpos de provas cerâmicos foram tratados termicamente nas temperaturas de 1150°C e 1250°C, com uma taxa de aquecimento de 1°C.min⁻¹ inicial para que a volatilização do polímero ocorresse de forma vagarosa para evitar defeitos e formação de trincas nas peças, passando para uma taxa de 5°C.min⁻¹ para uma apropriada consolidação do corpo ou esqueleto cerâmico. Para isto, utilizou-se o Forno Linn - Modelo Eletro-Term.

Propriedades Físico-Mecânica das Espumas Cerâmicas

Para a análise das propriedades físico-mecânicas foi realizada uma análise visual das tonalidades dos corpos de prova após a queima. A porosidade Aparente, Massa Específica Aparente e Absorção de Água, são realizadas após a queima, onde os corpos de prova foram pesados (peso seco, úmido e imerso) para obtenção desses valores. Perda ao Fogo, no ensaio de perda ao fogo as espumas foram pesadas, antes e após a queima, e então calculados os valores de perda ao fogo. Retração Linear, o ensaio de retração linear foi realizado com a finalidade de avaliar a redução de volume do corpo de prova após a queima. Para a realização do ensaio de compressão foi utilizado o equipamento de Marca Shimadzu, modelo AG-X, com uma distância entre os pontos de apoio de 50 mm e velocidade de ensaio de 5 mm.min⁻¹.

Resultados e Discussão

Características das Matérias-Primas

A composição química das matérias-primas utilizadas, apresentada na Tabela 2, é obtida por EDX, expressa em óxidos.

Tabela 2 – Formulações químicas das matérias primas

| Matérias Primas | CONCENTRAÇÃO EM PESO (%) | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------|-----|--------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | Na ₂ O | MgO | Outros |
| Argila | 57,4 | 37,3 | 0,8 | 0,2 | 1,4 | 1,2 | - | - | 1,6 |
| Alumina | 0,5 | 99,3 | - | 0,06 | 0,03 | - | - | - | 0,1 |
| Resíduo de Vidro Plano | 70,7 | 3,2 | 0,2 | 11,8 | 0,3 | 0,1 | 11,7 | 1,7 | 0,3 |

Na composição químicas das matérias-primas, a argila apresentou composição rica em sílica (57,4%) e alumina (37,3%), com teores muito inferiores de óxidos de titânio, cálcio e potássio, típico da argila *ball clay*. A alumina eletrofundida apresentou predominância de óxido de alumínio em sua composição (99,3%), tendo apenas traços dos outros óxidos que estão associados às impurezas. A análise química reforça que as amostras de vidro plano são tipicamente cálcio-sódicas, ou seja, composta por sílica (70,7%), sódio (11,6%) e cálcio (11,8%). Os difratogramas de raio-X da argila, alumina e vidro plano foram identificadas as fases cristalinas presentes em cada, apresentada na Figura 2. Observou que na argila tem picos característicos de caulinita e quartzo, logo identificamos esta como do tipo *ball clay* [10]. Na alumina, se evidencia a alumina calcinada do tipo α, com predominância da fase cristalina Al₂O₃, de acordo com Barbosa et al [11]. Esse resultado já era esperado, uma vez que este material possui pureza de aproximadamente 99,33%, observado na análise de

EDX, revelando que a Al₂O₃ se caracterizou como a forma mais estável deste óxido. E do resíduo de vidro plano, foi possível observar que não apresenta fases cristalinas, tendo em vista tratar-se de um material amorfo.

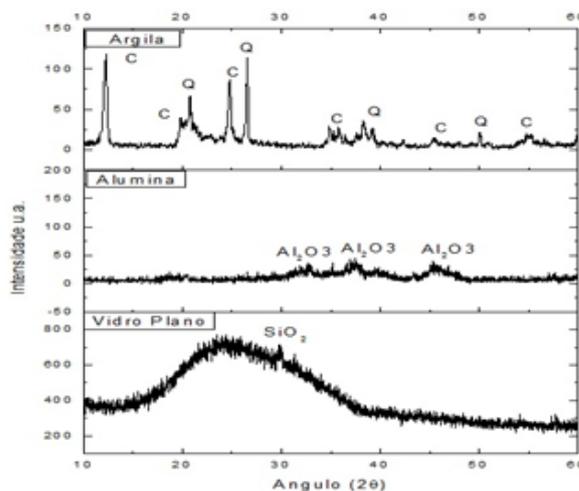


Figura 2. Padrões de raios-X da argila, da alumina e do Vidro Plano.

Com as curvas termogravimétricas das matérias-primas utilizadas apresentadas na Figura 3, podem-se observar na figura 2(a) duas etapas de perda de massa. A primeira etapa ocorreu entre a temperatura de 80°C a 180°C, que é explicado pela perda de massa da amostra decorrente da eliminação de água livre que ocorre a temperaturas inferiores a 200°C. Na segunda etapa, entre as temperaturas de 200°C e 1000°C, ocorreu outra perda de massa, possivelmente devido a hidroxilas da estrutura dos argilominerais e matéria orgânica. Esses valores estão de acordo com os obtidos por Dutra e Pontes [12].

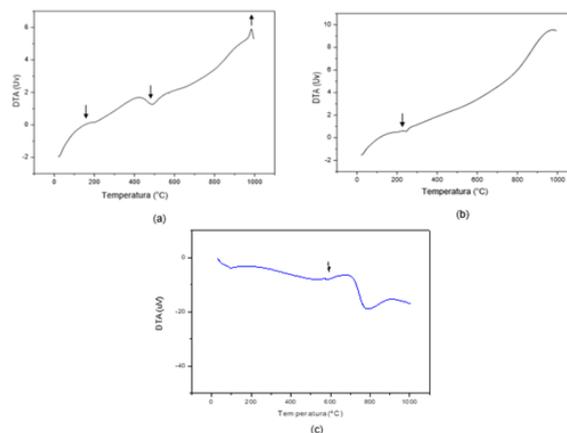


Figura 3. Curvas TG/DTG (a) da argila, (b) da alumina e (c) resíduo de vidro plano, obtidas com razão de aquecimento de 10°C/min, em N₂.

Na Figura 3(b) é possível verificar que entre 140°C a 190°C, aproximadamente, houve uma perda de massa ocasionada pela perda OH. Entre 200°C e 250°C houve perda de massa devido à desidroxilação do hidróxido de alumínio (Al(OH)₃), formando óxido de

alumínio (Al₂O₃)[6]. E observando resultados do resíduo de vidro plano na Fig. 3(c), foi possível identificar que não há perda de massa significativa no intervalo de temperatura estudado.

A partir das curvas de análise térmica diferencial (DTA) da argila, alumina e resíduo de vidro apresentada na Figura 4.

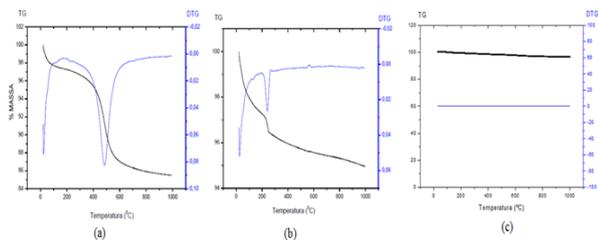


Figura 4. Curvas DTA da (a) argila, (b) alumina e (c) resíduo de vidro plano, obtidas à razão de aquecimento de 10°C.min-1, em N₂.

A curva DTA da argila representada na Fig. 4(a), foi possível verificar a presença de três eventos. O primeiro evento apresenta um pico endotérmico, que ocorreu entre as temperaturas de 150°C e 250°C com máximo em 200°C referente provavelmente à saída de água livre, o segundo evento é caracterizado por um pico endotérmico, entre 400°C e 600°C e máximo em 500°C, provavelmente associados à desidroxilação do material analisado e o terceiro evento, com máximo na temperatura de 990°C, que se refere à nucleação de mulita. Esses valores corroboram com os resultados obtidos na TG/DTG (Figura 3(a)) e com os obtidos por Sousa[13] Como pode ser observado na análise térmica diferencial da alumina, houve um evento apresentado por um pico endotérmico, em torno de 280°C, que pode corresponder à decomposição de Al(OH)₃, verificado na TG/DTG da alumina discutido na Figura 3(b). De acordo com Moraes[3], Al(OH)₃ se decompõe no intervalo de temperatura entre 200°C e 250°C. Pela Figura 4(c), que representa a curva do DTA do resíduo de vidro plano foi possível observar picos endotérmicos característicos das transições térmicas do vidro, o primeiro ocorreu na temperatura de aproximadamente 600°C, referente à temperatura de transição vítrea (T_g) e o segundo em torno de 800°C representando a temperatura de fusão (T_m) do vidro.

Propriedades das Espumas Cerâmicas

Depois da queima, onde ocorreu a decomposição da espuma de poliuretano, foi obtida a espuma cerâmica, representada na Figura 5.



Figura 5. Espuma cerâmica após queima.

Os resultados de porosidade aparente para os corpos cerâmicos, representados na Figura 6, observou com o aumento da temperatura de queima dos corpos cerâmicos de composição F1V5 permaneceu praticamente constantes em função da temperatura de queima. As modificações estruturais e perdas ocorreram anteriormente às temperaturas estudadas, ou seja, atingiu a menor porosidade já na temperatura de queima de 1150°C. Verifica-se também que as composições F1V10 e F2V10 apresentou menor porosidade na temperatura de 1250°C, provavelmente por apresentar maior quantidade de resíduo vítreo, ou seja, maior quantidade de óxido fundente, ocasionando a formação de uma fase líquida eficiente que pode agir preenchendo os espaços vazios deixados pela espuma polimérica causando essa redução na porosidade.

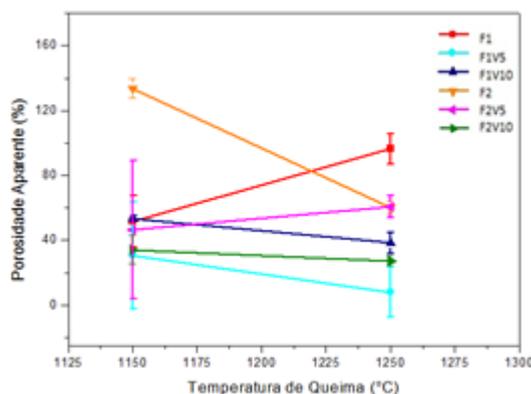


Figura 6. Porosidade aparente em função da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

Já na Figura 7, verificou-se que com o aumento da temperatura de sinterização houve uma maior densificação, ou seja, um aumento na massa específica aparente, isso ocorre possivelmente devido à diminuição da viscosidade fase líquida durante o processo de sinterização, facilitando a penetração nos poros existentes, densificando o material. Os corpos cerâmicos de composição F1V10 e F2V10 apresentaram maiores valores de massa específica aparente devido à presença de maior quantidade de óxidos fundentes em sua composição.

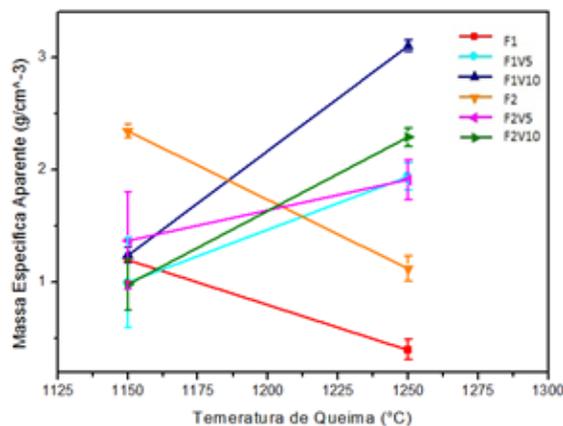


Figura 7. Massa específica aparente em função da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

Para a composição F1V5 a absorção de água da Figura 8 apresentou-se basicamente constante nas duas temperaturas de queima. Esse comportamento pode ser explicado em função da composição do resíduo vítreo (sódico-cal), apresentado na Tabela 1. E que a absorção de água diminuiu com o aumento da temperatura de queima para todas as amostras estudadas no intervalo de 1150°C a 1250°C, podendo-se verificar também que o menor valor atingido foi na presença de um percentual de 0% de vidro (F1) em 1250°C. Ao observar as duas composições estudadas com a adição do resíduo vítreo, as espumas cerâmicas provenientes da composição 1 (F1, F1V5 e F1V10), tiveram absorção de água em torno de 23% a 30% e os derivados da composição 2 (F2, F2V5 e F2V10), apresentaram absorção de 26% a 30%. Os resultados para a composição 1 apresentaram-se mais satisfatórios, ou seja, houve um maior preenchimento dos espaços vazios deixados pela espuma polimérica.

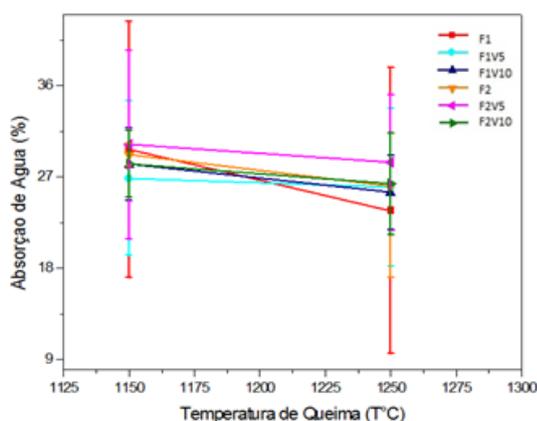


Figura 8. Absorção de água em função da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

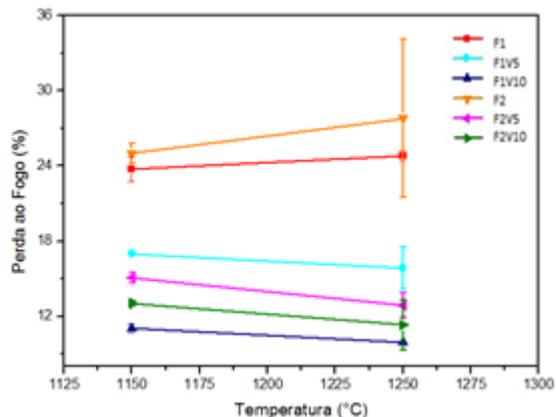


Figura 9. Perda ao fogo em função da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

Com a análise dos resultados de perda ao fogo para composições, apresentadas na Figura 9, verifica-se que a adição do resíduo vítreo e o aumento da temperatura, dentro da faixa estudada, não alterou a proporção de perda ao fogo. Provavelmente porque as transformações químicas e físicas que ocorre no material quando submetidas temperatura já tinham ocorrido em temperaturas inferiores. Quanto à adição do resíduo vítreo, as massas com 10% de resíduo, apresentou uma

menor perda ao fogo, devido a menor quantidade de argila presente na composição. Ainda, verificou que em ambas composições a maior porcentagem de perda ao fogo está relacionada à massa padrão (F1, F2), provavelmente devido à maior quantidade de argila e menor quantidade de fundente na composição, visto isso por Dutra e Pontes [12].

Para todos os corpos de prova analisados, ocorreu acréscimo da retração linear com o aumento da temperatura de queima, como na Figura 10. Esse comportamento é relacionado ao maior grau de sinterização com o aumento da temperatura, provocado por mudanças físicas e redução do volume dos corpos de prova e pela perda de água. Verifica-se que houve uma retração linear de 5% a 7% na temperatura de 1250°C para todas as composições. Mostrando valores de retração dentro do permitido para cerâmica porosa. Os corpos de prova, provenientes da composição 2 (F2, F2V5 e F2V10), apresentaram retração linear em 1250°C, na faixa de 3% a 4,5%. Pode-se averiguar que a retração linear para a composição 1 foi maior que para composição 2, isso pode estar relacionado com a maior quantidade de argila em sua composição, ocasionando maior perda ao fogo devido à presença de matéria orgânica, acarretando numa maior retração linear [14].

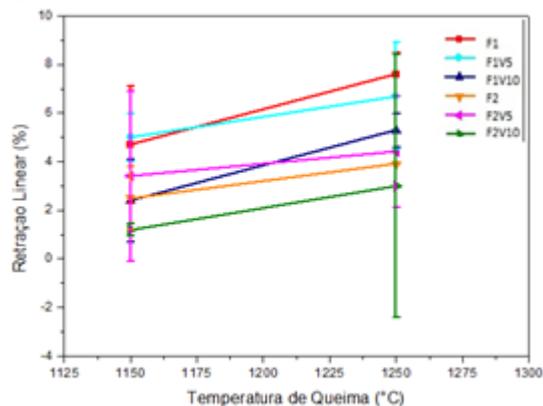


Figura 10. Retração linear em função da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

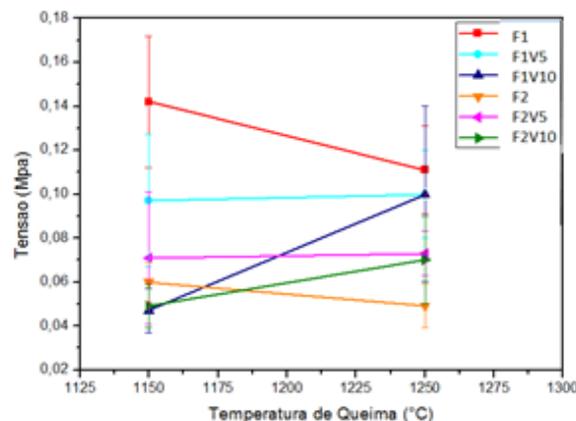


Figura 11. Tensão máxima à compressão em função da temperatura de queima dos corpos cerâmicos.

Observa-se na Figura 11, que para as composições F1V5 e F2V5, não ocorrem mudanças na tensão máxima de compressão com o aumento da

temperatura. Para a F1V10 e F2V10, houve um aumento na resistência com o aumento da temperatura, provavelmente devido ao aumento da quantidade de fase amorfa na composição, para esta composição não seria necessária uma maior temperatura de queima. Os valores de resistência à compressão ficaram em torno de 0,05 a 0,1Mpa, esses valores corroboram com os de Herrera et al [16].

A Composição 2 apresentou valores inferiores aos da Composição 1, isso ocorreu provavelmente porque a Composição 1 tinha maior quantidade de argila, o que trouxe melhor plasticidade e consequentemente melhor impregnação da suspensão no poliuretano.

Conclusão

Tendo em vista o objetivo proposto neste trabalho que foi investigar a possibilidade de substituição parcial da argila por resíduos de vidro plano em massa cerâmica para obtenção de espumas cerâmicas. Foi possível concluir que nas análises dos materiais utilizados, através das caracterizações realizadas neste trabalho, verificou que os materiais tiveram comportamento típico de cada material de acordo com a literatura.

A massa específica aparente teve aumento com o acréscimo da temperatura de queima, nas composições que apresenta uma parcela do resíduo de vidro, devido à maior densificação das paredes da espuma durante a sinterização. Em relação a absorção de água, verifica-se que em ambas composições a maior porcentagem de perda ao fogo está relacionada a massa padrão (F1, F2), provavelmente devido a maior quantidade de argila e menor quantidade de fundente na composição. Nos resultados obtidos pela retração linear, verificou-se que a adição do resíduo vítreo não ocasionou alteração significativa na retração linear e as duas composições encontram-se dentro da faixa permitida para cerâmica porosa celular. No ensaio de compressão as que tiveram maior resistência das formulações F1 e F1V5 nas duas temperaturas de queima. Nas formulações 1 e 2, houve um aumento da resistência com o aumento da temperatura, mostrando satisfatória a adição de resíduos vítreos na formulação.

Agradecimento

Os autores agradecem o auxílio dos laboratórios de análise da Universidade Federal de Campina Grande.

Referências

[1] Francis, A. A.; Abdel Rahman, M. K.) Experimental design for optimisation of density and water absorption capacity of glass–ceramic foams prepared from silica rich wastes. *Powder Metallurgy*, v. 56(4), p. 295-303, 2013.

[2] Santos, L. M. V. D. Desenvolvimento de luminaria decorativa utilizando vidro reaproveitado pelo processo de vitrofusão. *Revista Especialize On-line IPOG*, 2015.

[3] Moraes, G. G. D.; Neto, J. B. R.; Hotza, D.; Oliveira, A. P. D.; Oliveira, B. G. D.; Oliveira, T. M. N. D. Produção e Caracterização de Espumas Cerâmicas

Obtidas a partir de Lodo de Anodização de Alumínio. *Química Nova*, 35: 143-148 p, 2012.

[4] Gomes, L.B., Tagliari, F.F.; Hatzfeld, J.; Pokorny, A.; Bergman, C. Obtenção e Caracterização de Cerâmicas Celulares Porosas obtidas a partir de Resíduos de Vidros com fase não Sinterizável. in 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Bento Gonçalves/RS. (2014).

[5] Pokorny, A.; Vicenzi, J. & Bergmann, C. P. Influência da Temperatura de Queima na Microestrutura de Epumas Vítreas obtidas a partir de Resíduos de Vidro. In: 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba, PR. (2012).

[6] Silva, V.R.; Sant'anna, S.S.; Yoshida, M.I., Caracterização de um Rejeito da Indústria de Alumínio para Futuras Aplicações. 50 congresso brasileiro de química. Cuiába-MT. 2010.

[7] Carvalho, A. C.; Raupp-Pereira, F.; Rodrigues Neto, J. B.; Novaes de Oliveira, A. P. A new source for production of ceramic filters. *Materials Letters*, v. 145, p. 250-252, 2015.

[8] Huanca, K. Z.; & Nunes, A. B. D. A. Obtenção de espumas cerâmicas a partir de resíduo da terra diatomácea e ignimbrita pelo método de réplica. *Cerâmica*, 62, 110-114 p, 2016.

[9] Sousa, E. de; Dellú Jr. M.; Pandolfelli V. C.; Ortega F. S. Produção de cerâmicas celulares por emulsão seguida de gelificação. *Cerâmica*, vol. 57: 38-44 p, 2011.

[10] Albers, P. F.; Melchades, F. G.; Machado, R.; Baldo, J. B.; Boschi, A. O. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. *Cerâmica* vol.48, 2002.

[11] Barbosa, I. B.; Jesus, I. M.; Matos, S. J.; Macedo Z. S. Produção de espuma cerâmica com baixo impacto ambiental para aplicação em petróleo. *Scientia Plena*, Vol. 6, pag. 12, 2010.

[12] Dutra, R. P. S.; Pontes, L. R. A. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. *Cerâmica*, vol. 48, 308 p. 2002.

[13] SOUSA, E. et al. LZSA glass ceramic foams prepared by replication process. *Advances in Applied Ceramics*, vol. 104(1), p.22-29, 2005.

[14] Porto, V. D. S. Desenvolvimento de cerâmica porosa celular utilizando resíduos de vidro e lâmpada fluorescente em sua composição [Tese de Doutorado]. Campina Grande/PB: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de materiais-PPGCMat- UFCG; 2016.

[15] Herrera, A.M.; Álvarez, O.; Escobar, J.; Moreno, V.; Oliveira Jr. A.A.M.; Hotza, D. Fabricación y caracterización de espumas de alúmina para aplicación en quemadores porosos radiantes. *Revista Matéria*, pág. 973-987, 2012.