

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

RECICLAGEM DE VIDRO DE PÁRA-BRISAS PARA PRODUÇÃO DE VITROCERÂMICA COM 15% DE ÓXIDO DE NIÓBIO

Hiasmim Rohem Gualberto¹ – hiasmimrohem@gmail.com

Iury Almeida Moraes¹ – iurymoraes96@gmail.com

Mônica Calixto de Andrade¹ – monicalixtoandrade@gmail.com

Edgard Poiate Junior¹ – poiate@yahoo.com.br

Fernanda Arruda² – fer.anogueira@gmail.com

Isis Andrea Venturini Pola Poiate³ – isis.poiate@gmail.com

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brasil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

³ Universidade Federal Fluminense, Instituto de Saúde de Nova Friburgo – Nova Friburgo, RJ, Brasil

Resumo. Vitrocerâmicas foram produzidas a partir de pó de vidro reciclado de para-brisas, visando reduzir a retirada de recursos naturais, o gasto de energia para a produção do material amorfo, e agregar valor ao material descartado. O pó de vidro foi conformado com prensagem uniaxial e sinterizado nas temperaturas de 800, 850 e 900 °C. Foi utilizado óxido de nióbio como agente nucleante a fim de facilitar o processo de cristalização, sendo adotada a concentração de 15% de óxido de nióbio na mistura com o pó de vidro. Pela difração de raios X evidenciou-se a presença de cristais em todas as temperaturas adotadas na sinterização. Percebeu-se queda na densidade e na resistência à flexão biaxial (21,38 MPa em 800 °C) com o aumento da temperatura de sinterização. Quanto a microdureza Knoop, foi de 353,78 a 382,04 HK_n, apesar da redução da densidade tornar o material mais poroso.

Palavras-chaves: Vitrocerâmica, Óxido de Nióbio, Reciclagem, Resistência à Flexão Biaxial, microdureza Knoop

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos quatro maiores produtores de veículos no mundo, possuindo uma frota de 43,3 milhões de veículos em 2017, segundo informações da Sindpeças (Exame, 2018; O Globo, 2018). Neste cenário, um ponto importante é que o tempo de vida de um veículo gira entorno de 8 a 15 anos (Mayyas, 2016). Essa tendência de consumo, gera um grande número de resíduos com o fim da vida do veículo, destacando se como um problema ambiental. Mundialmente, os veículos em fim de vida, ELV (End-of-Life Vehicle), correspondem a

aproximadamente 40 milhões de unidades por ano. A previsão é que esse número aumente em no futuro próximo, pois a taxa anual de venda de veículos novos é crescente (Mayyas, 2016).

Previendo problemas eminentes, alguns países, adotaram regulamentos e diretrizes relativas aos ELV. Essas diretrizes sugerem o aumento de material de ELV reciclado, incentivam novos projetos que permitam aumentar a reciclagem do veículo (Castro, 2012). No Brasil a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), adota a responsabilidade compartilhada dos resíduos com todos os envolvidos no processo de produção, venda e consumo. Ela se preocupa em desenvolver uma logística reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo. Prevê a adoção de um sistema de reciclagem não só para o setor automobilístico, como também para toda indústria de bens e consumo (LEI Nº 12.305, 2010).

Sabendo que carro pesa em média 1000 Kg, e que 3 % do seu peso é vidro (Castro, 2012), tem-se entorno de 30 Kg de vidro por carro. Analisando o tamanho da frota mundial, o tempo de vida do veículo e considerando ainda que para-brisas e janelas são trocados ao longo do uso do automóvel, percebe-se que há uma quantidade expressiva de vidro que pode ser reaproveitada.

A reciclagem do para-brisa é uma forma de agregar valores em um produto descartado. Os silicatos, que são a base dos vidros, podem ser adequados para a produção de outros tipos de vidros, de matéria-prima para as cerâmicas de revestimento, como ajulezos, ladrinhos, loucas e vitrocerâmicas (Lu, 2016; Collini & Carfagni, 2014).

Assim, esse trabalho busca produzir vitrocerâmicas a partir de vidro de para-brisa. Tal material é um sólido cristalino, com baixo coeficiente de expansão térmica, que pode gerar peças com geometria complexa e ainda ter resistência mecânica superior a do vidro de origem (Wang, 2017). A sua gama de aplicações, inclui a fabricação de ossos e dentes artificiais, pisos de luxo, painéis transparentes resistentes ao choque térmico e cooktops (Zanotto, 2010). Com isso, a partir de um pó de vidro economiza-se na produção de vitrocerâmicas, obtém-se um material com ampla aplicação, com menos gastos de recursos minerais e de energia para a fundição dos minerais para a obtenção do vidro.

2. METODOLOGIA

2.1 Produção das vitrocerâmicas

O pó de vidro usado para produzir as vitrocerâmicas foi obtido a partir de um para-brisa obsoleto, que foi moído em um moinho de bolas de alumina e teve suas partes separadas. Antes de ser colocado no moinho de bolas para ser moído, o para-brisa foi dividido em pedaços menores. Uma determinada quantidade de pedaços de para-brisa (próximo a 1500 g) foi pesada e depositada dentro do recipiente do moinho de bolas, em uma quantidade tal, que ocupasse um terço do volume total disponível no cilindro. Por último foram adicionados os corpos moedores esféricos, de alumina, com três diâmetros diferentes. A moagem foi realizada a seco durante um período de 24 h.

Ao final desse período, o material foi peneirado para remoção do vidro não moído e do PVB (polivinilbutiral). O pó obtido passou em uma peneira granulométrica de 65 Mesh (Bertel, Brasil), para ajustar o tamanho das partículas.

Para este estudo foi adicionado 15 % de óxido de nióbio ao pó de vidro. Os corpos-de-prova (CP) foram conformados com 10 % p/p de água. Para produzir um CP foi compactado 3 g de pó, em uma matriz metálica circular, com diâmetro de 24,03 mm. Foi aplicado 25,77 MPa na matriz metálica, em uma prensa uniaxial, durante um minuto (P10 ST 10 ton, Bovenau, Brazil). Foi usado desmoldante de silicone para facilitar a retirada dos CPs

(Carbografite, Brasil). As peças conformadas foram secas em estufa (400/3ND, Nova Ética, Brazil) na temperatura de 110 °C durante uma hora. Após esse processo elas foram sinterizadas em forno de mufla (N1100, Fornitec, Brasil), durante três horas na temperatura de sinterização, com taxa de aquecimento de 5 °C/min. As temperaturas de sinterização adotadas foram 800, 850 e 900 °C.

2.2 Caracterização

A fluorescência de raios-X foi realizada no pó de vidro obtido do para-brisa moído e peneirado. Esta análise foi realizada utilizando o Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, S8 Tiger Spectrometer, Bruker X-ray, United States. As análises termogravimétricas foram em ar, com taxa de aquecimento de 5 °C/min, entre 30 a 900 °C e com pedaço de peça conformada, sobre pó de alumina (Simultaneous Thermal Analyser STA 6000, PerkinElmer, Estados Unidos)

A difração de raios X foi realizada em uma peça sinterizada, quebrada e moída de cada grupo (Bruker-D8 Endeavor, Estados Unidos). Foi adotado o método do pó, radiação $\text{CuK}\alpha$ (40 kV/40 mA), velocidade do goniômetro de 0,02° 2 θ por passo, com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo, sendo coletados de 4 a 80° 2 θ , com detector sensível à posição (LynxEye, Inglaterra). As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker Diffrac Plus (Estados Unidos).

Os ensaios de micro dureza Knoop foram realizados de acordo com a norma técnica ASTM C1326 (2013) (Wilson Tukon 1102, Buehler, Estados Unidos). Para visualizar a indentação do microduremetro, os CPs foram lixados e polidos por meio de uma lixadeira e politriz (Panambra, Brasil). Foram usadas lixas d'água das seguintes granulometrias: 220, 320, 500, 600 e 1200, nesta ordem. Após lixados os corpos de prova foram polidos com pasta de diamante de 1 μm e o lubrificante (Arotec, Brasil). Esse processo foi dividido em seis etapas, em que cada etapa o corpo de prova era polido em uma direção por 2 minutos e ao termino desse tempo a peça era rotacionada em 90°.

A carga utilizada no microduremetro foi de 500 gf para todos os corpos-de-prova. Com isso, a microdureza Knoop (HK_n) foi determinada segundo a Eq. (1). Em que P é a carga tilizada para as indentações e d é a medida da maior diagonal da marcação.

$$HK_n = 14,299 \cdot \frac{P}{d^2} \quad (1)$$

Foi realizado o ensaio em três corpos-de-prova na mesma temperatura de sinterização. E em cada CP foram feitas, no mínimo seis indentações. Foram geradas médias das seis melhores indentações, das quais foram determinadas as médias finais por temperatura de sinterização.

Os CPs passaram por uma preparação antes da realização dos ensaios necessários para obtenção dos valores da densidade de massa aparente e do volume aparente. Inicialmente os CPs foram colocados em estufa a 150 °C, durante oito horas, com o intuito de remover a água e assim chegar ao valor da massa seca (m_s).

Já para verificar o valor da massa úmida e imersa, os corpos de prova foram submersos em água e após a ebulição, permaneceram por duas horas. As peças ficaram por mais vinte e quatro horas submersas na água após a remoção da fonte de calor. Para medir a massa imersa, a amostra úmida foi colocada após zerar o peso de uma cestinha de alumínio, suspensa em um

suporte e submersa em água destilada. Com isso, o valor da massa imersa (m_i) pôde ser aferido.

Para medir a massa úmida ou saturada (m_u), o excesso de água da superfície da peça foi retirado com papel toalha. Conhecendo os valores de m_u , m_i , e massa específica do líquido (m_e), pela Eq. (2) calcula-se o volume aparente (v_a). Com o volume aparente e a massa seca, foi feito o cálculo da densidade de massa aparente através da Eq. (3). É importante ressaltar que para a realização de todo o processo a norma ABNT NBR 16661 (2017) foi seguida e o valor da massa específica da água (m_e) foi de 1,00 g/cm³.

$$v_a = \frac{m_u - m_i}{m_{e \text{ liquido}}} \quad (2)$$

$$d_{ma} = \frac{m_s}{v_a} \quad (3)$$

Também foram determinadas a porosidade aparente (p_a) e a absorção de água (α), Eq. (4) e Eq. (5), respectivamente, pela mesma norma.

$$p_a = \left(\frac{m_u - m_s}{m_{e \text{ liquido}} \cdot v_a} \right) 100\% \quad (4)$$

$$\alpha = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) 100\% \quad (5)$$

Para análise da retração linear foi avaliada a variação de diâmetro da peça após sinterização. Com o uso da Eq. (6), e os valores do diâmetro inicial (C_i) e diâmetro final (após sinterização) (C_f), foi feito o cálculo da retração linear em função do diâmetro da peça.

$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} 100\% \quad (6)$$

Com o intuito de obter maior precisão foram coletadas três medições com um paquímetro. Desses resultados, foi feita uma média para cada amostra, tanto da espessura quanto do diâmetro. Realizou-se esse procedimento após a sinterização para alcançar o valor do diâmetro final da peça, já para o diâmetro inicial, este foi considerado igual ao diâmetro da matriz.

O ensaio de resistência à flexão biaxial foi realizado seguindo a norma 1499-05 - *Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature* (ASTM, 2005). Nesse ensaio, a carga é aplicada por um anel no centro da peça uniaxialmente. Um pedaço de fita adesiva foi usado para segurar os fragmentos da peça unidos após a fratura. Tal ensaio foi conduzido em uma máquina de ensaios mecânicos universal (AGX-Plus, Shimadzu, Japão).

A tensão biaxial máxima suportada pelo material, σ_f , é obtida pela Eq. 7, em que D_s é a média entre os diâmetros interno e externo do maior anel, de aplicação da carga, D_i é a média entre os diâmetros interno e externo do anel de apoio do corpo de prova (menor anel). Já D é a média de três medidas do diâmetro e h é a média de três medidas da espessura do corpo de prova ensaiado. Todas essas dimensões são em milímetros. F é a força máxima que o material suportou, dada em Newtons e ν é o coeficiente de Poisson de vitrocerâmica de 0,2.

$$\sigma_f = \frac{3F}{2\pi h^2} \left[(1 - \nu) \cdot \frac{D_s^2 - D_i^2}{D^2} + (1 - \nu) \ln \left(\frac{D_s}{D_i} \right) \right] \quad (7)$$

D_s e D_i foram de 12 mm e 5 mm, respectivamente, que são as dimensões do aparato compatíveis com as vitrocerâmicas produzidas. Além disso, a taxa de deslocamento adotada foi de 0,5 mm/min, valor que rompesse o corpo de prova entre 10 a 15 segundos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da técnica de fluorescência de raios X, foi identificada a composição e a concentração do pó de vidro do para-brisa, obtido através da moagem. Tal resultado é apresentado na Tabela 1. Percebe-se, que a maior parte do pó de vidro é composta por óxido de silício, correspondendo a mais de 80 % em peso do pó. Também há a presença de Na_2O e CaO que juntos representam mais de 16 % em peso do pó de vidro. Além desses, há uma pequena parcela de MgO e Al_2O_3 . A composição e a concentração desses óxidos influenciam as propriedades dos vitrocerâmicas produzidas (Mukherjee & Das, 2014).

Tabela 1 - Composição e concentração do pó de vidro puro.

Composição	Si_2O	Na_2O	CaO	MgO	Al_2O_3
Concentração (p/p)	80,10 %	8,86 %	7,97 %	2,34 %	0,75 %

A análise termodiferencial, DTA, e análise termogravimétrica, TG, da mistura pó de vidro com 15 % Nb_2O_5 e 10 % de água são apresentadas na Figura 1. Observa-se que ocorreu pouca perda de massa total, 1,90 %. Apesar da curva da TG apresentar algumas inflexões, os fenômenos envolvem muito pouca perda de massa e a maior perda de massa ocorre em até aproximadamente 200 °C, com 1,58 %. Essa perda de massa pode está relacionada com a eliminação de água presente na mistura. Os 0,32 % restante de perda de massa ocorreu entre 400 e 600 °C, podendo ser a liberação de água aprisionada nos poros dos pós (Lu, 2018). Já o ganho de massa em 600 °C pode estar relacionado a reação no estado sólido. A adição do óxido de nióbio como agente nucleante favoreceu a formação de cristais, com reação no estado sólido, formando o niobato de sódio nas três temperaturas de queima das peças produzidas. As temperaturas de queima utilizadas para promover o fluxo viscoso nas peças conformadas são maiores que a temperatura de 500 °C, utilizada por Azevedo (2010) para a síntese de niobato de sódio por reação no estado sólido de dióxido de nióbio e hidróxido de sódio.

Na análise termodiferencial, DTA, observa-se um evento, entre 700 e 800 °C, o que pode indicar a transição vítrea em aproximadamente 750 °C. Assim, as temperaturas de sinterização foram baseadas neste evento, usando 800 °C, 850 °C e 900 °C.

A Figura 2 apresenta o difratograma de raios X das peças obtidas com pó de vidro de para-brisa e 15 % de óxido de nióbio, sinterizadas em 800, 850 e 900 °C. Observa-se a formação de estruturas cristalinas nas três temperaturas de sinterização. Com o aumento da temperatura de sinterização ocorreu a diminuição da intensidade dos picos característicos das estruturas cristalinas zeolita (Z), stilbita (S) e, em menor intensidade, quartzo (Q). Mas aumentou a intensidade da estrutura cristalina isolueshita (I). As estruturas cristalinas, zeolitas e stilbita são aluminos silicados hidratados, sendo que a zeolita apresenta uma grande variedade de cátions em estrutura aberta e a estilbita é composta principalmente dos cátions

cálcio e sódio. O quartzo é uma estrutura cristalina do óxido de silício. A estrutura cristalina, isolueshita, é um niobato de sódio, NaNbO_3 . O niobato de sódio é do grupo perovskita, como o titanato de bário, muito utilizado pelas suas propriedades ferroelétricas.

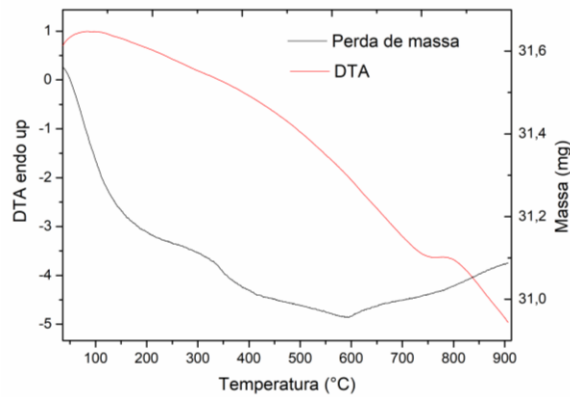


Figura 1: Análise térmica do pó de vidro com 15% de óxido de nióbio.

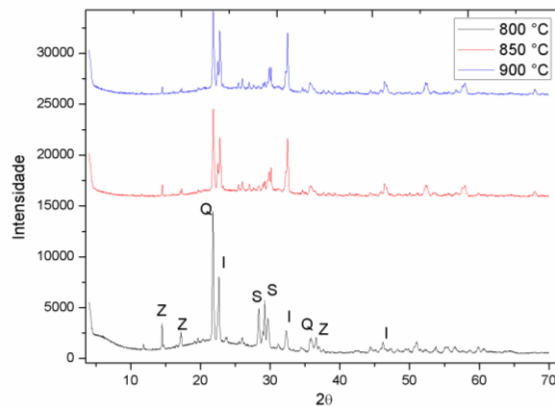


Figura 2: Difração de raios X das peças sinterizadas nas temperaturas de 800, 850 e 900 °C.

As dimensões médias dos corpos de provas de cada temperatura de sinterização, apresentados na Tabela 2, mostraram uma diminuição na espessura e no diâmetro com a diminuição da temperatura de sinterização dos CPs. Consequentemente, houve um aumento da retração linear do diâmetro, com a diminuição da temperatura de sinterização, como também pode ser observado na Fig. 3.

A Fig. 4 apresenta a média dos resultados obtidos para densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente, além dos seus desvios relativos. Percebe-se uma diminuição gradual da densidade aparente com o aumento da temperatura de sinterização. Apesar disso, não ocorre um aumento de absorção de água com o aumento da temperatura de sinterização, sendo notada uma diminuição da absorção. Isso, mesmo contraditório, pode ser explicado devido a vitrificação superficial das peças com o aumento da temperatura, o que dificulta a penetração de água nos poros internos da peça. Também, se observa que a porosidade aparente é maior para as peças sinterizadas nas temperaturas menores, o que justifica a maior absorção de água nas peças mais densas.

Tabela 2 - Resultado da média das dimensões e a retração linear dos corpos de provas de cada temperatura de sinterização.

Temperatura		Média	Desvio Padrão
900 °C	Espessura (mm)	3,824	0,039
	Diâmetro (mm)	22,314	0,083
	Retração linear (%)	7,1	0,300
850 °C	Espessura (mm)	3,597	0,041
	Diâmetro (mm)	21,933	0,045
	Retração linear	8,7	0,002
800 °C	Espessura (mm)	3,478	0,053
	Diâmetro (mm)	21,814	0,057
	Retração linear (%)	9,2	0,200

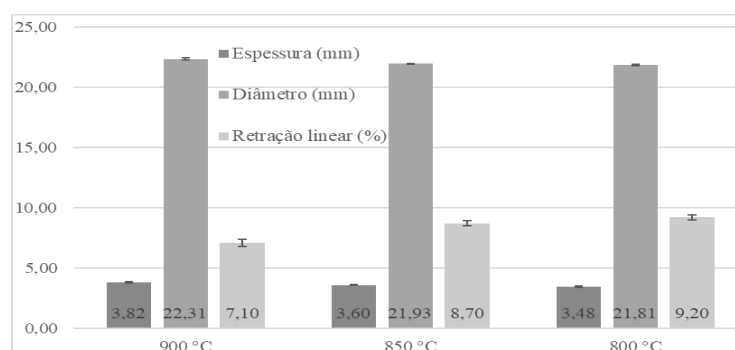


Figura 3 – Dimensões e retração linear.

Como visto na Fig. 3, as maiores dimensões são encontradas nas peças da temperatura de 900 °C, resultado coerente com o obtido para a densidade das mesmas, sendo essas as menos densas, portanto devem ter maior volume.

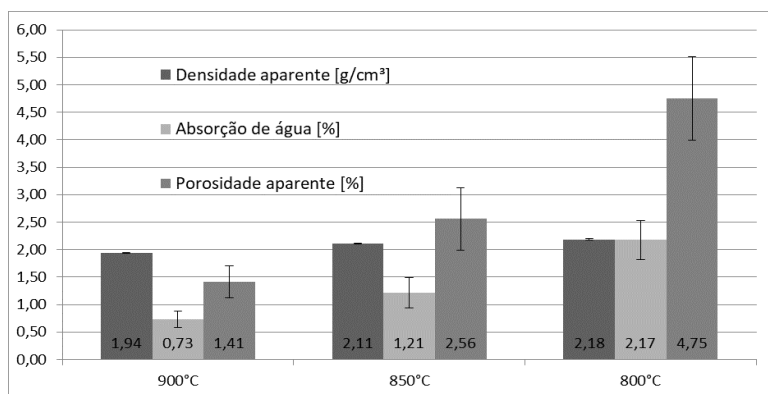


Figura 4 - Densidade aparente, absorção de água e porosidade aparente.

A densificação de vitrocerâmicas é promovida pelo fluxo viscoso da fase líquida. O aumento da temperatura de sinterização diminui a viscosidade do fluxo, o que acarreta a

densificação (Fan & Li, 2013). No entanto, as maiores temperaturas de sinterização adotada para a produção das vitrocerâmicas favorecem a precipitação dos cristais, o que aumenta a viscosidade do fluxo e consequentemente reduz a densidade (Lu, 2016).

A Tabela 3 apresenta a média dos resultados da microdureza Knoop de três corpos de prova (CP) de cada temperatura de sinterização e a média por temperatura. A maior dureza, 382,04 HK_n , ocorreu na maior temperatura de sinterização (900 °C) e menor, 353,78 HK_n , na temperatura de sinterização intermediária (850 °C). Além disso, a variação de dureza entre as diferentes temperaturas de sinterização foi em torno de 30 HK_n , já o desvio padrão cresce consideravelmente com o aumento da temperatura. Os trabalhos de Danassollo *et al.* (2007) e de Soldani (2006) mostram uma faixa de dureza Knoop que varia entre 326 a 441 HK_n , em seus estudos sobre dureza de esmaltes de dentes humanos. Esses resultados são compatíveis com os encontrados para as vitrocerâmicas produzidas com 15 % de óxido de nióbio.

Tabela 3 - Dureza Knoop média e desvio padrão.

Temperatura	CP1	CP2	CP3	Média HK_n	Desvio Padrão
900 °C	394,95	372,10	379,08	382,04	11,71
850 °C	369,61	349,19	342,54	353,78	14,10
800 °C	380,39	370,46	383,73	378,19	6,90

Algumas imagens geradas pelo microscópio do microdurometro dos CPs ensaiados para medir a dureza Knoop são apresentadas na Fig. 5. Em (a) tem-se o CP da temperatura de sinterização de 900 °C, em (b) o CP de 850 °C e (c) o CP de 800 °C. Por essas imagens, identifica-se a presença de poros e nota-se o aumento deles com a elevação da temperatura de sinterização, o que é coerente com a diminuição da densidade.

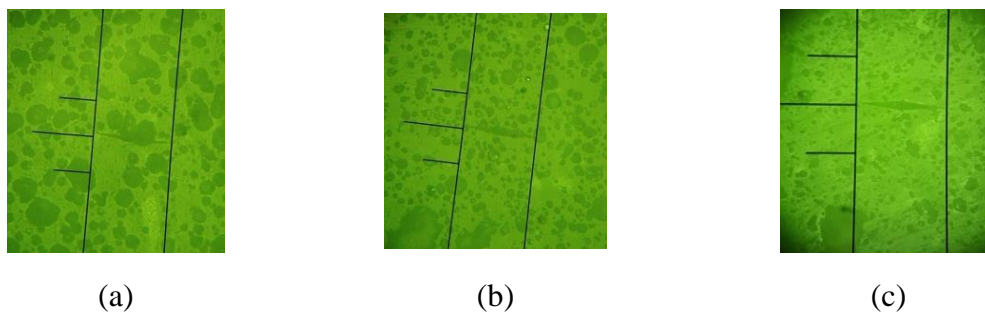


Figura 5: Micrografia ótica obtida após ensaio de dureza Knoop em CP sinterizado. (a) 900 °C, (b) 850 °C, (c) 800 °C.

Tabela 4 - Resistência à Flexão Biaxial.

Temperatura	Média da Resistência à Flexão [MPa]	Desvio Padrão
900 °C	19,38	2,99
850 °C	19,17	2,65
800 °C	21,38	2,68

A resistência à flexão biaxial encontrada para as três condições é apresentada na Tabela 4. Também é informado o desvio padrão, esse obteve valor baixo nas três condições de

sinterização, o que mostra reprodutibilidade nos resultados da resistência. Já em relação aos resultados das médias da resistência à flexão, percebe-se que o aumento da temperatura de sinterização não contribuiu para o aumento da resistência. Isso pode estar relacionado com o aumento de porosidade proveniente da elevação da temperatura de sinterização.

A fim de analisar o comportamento da dureza e da resistência à flexão em função da densidade da vitrocerâmica, foi plotado um gráfico com as essas três propriedades, mostrado na Fig. 6. Percebe-se que apesar do material se tornar menos denso, ou seja aumentar sua porosidade, isso não contribuiu para a redução da dureza do material. Sendo que sua maior dureza ocorre na menor densidade. Já a resistência à flexão sofre uma queda com a diminuição da densidade, porém a menor resistência ocorre na densidade intermediária.

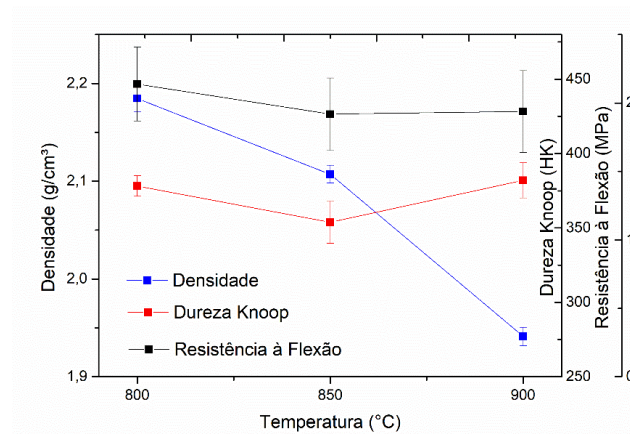


Figura 6: Comparativo dureza, resistência à flexão e densidade.

4. CONCLUSÃO

As vitrocerâmicas deste trabalho foram produzidas com pó de vidro reciclado de para-brisas, agregando valor a um resíduo sólido. Na presença de 15 % de óxido de nióbio e em temperaturas de sinterização acima de 800 °C, o vidro proveniente de para-brisas é capaz de cristalizar, como de formar niobato de sódio, constituinte de materiais com propriedades piezoelétricas. A difração de raios x revelou que com o aumento da temperatura, a fase cristalina de niobato de sódio torna-se mais presente. Por outro lado, o aumento da temperatura de sinterização, diminui a densidade do material produzido, passando de 2,18 g/cm³ para 1,94 g/cm³, além de aumentar a absorção de água. A resistência à flexão também diminuiu, mas a dureza das vitrocerâmicas é melhorada em 900 °C. Assim, o aumento da temperatura de sinterização acarreta aumento de cristalinidade, o que revela possibilidade de aplicação piezoelétrica. Além disso, as perdas de resistência ocorridas não foram significativas e a dureza do material foi melhorada.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento CAPES e a FAPERJ pela concessão das bolsas.

REFERÊNCIAS

ASTM C 1499 (2005), *Standard test method for monotonic equibiaxial flexural strength of advanced ceramics at ambient temperature*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.

- ASTM C1326 (2013), *Standard test method for Knoop indentation hardness of advanced ceramics*. Annual Book of ASTM Standards, v. 15.
- Azevedo L.M.S. (2010), “*Síntese de niobato de sódio a partir de óxido de nióbio e nióbio metálico*”, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Castro, D.E., de Souza, V.L.M., Gonçalves, A. (2012), “*Reciclagem & sustentabilidade na indústria automobilística*”, Bovolenta, Belo Horizonte.
- Collini, L.; Carfagni, G.R. (2014), Flexural strength of glass–ceramic for structural applications. *Journal of the European Ceramic Society*, 34(11), 2675-2685.
- Donassollo, T.A.; Romano, A.R.; Demarco, F.F.; Della-Bona, Á. (2007), Avaliação da microdureza superficial do esmalte e da dentina de dentes bovinos e humanos (permanentes e decíduos). *Revista Odonto Ciência*. 22, 311-316.
- EXAME. *Mercado automotivo: aplicativos, tendências e direção sem motorista*. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/negocios/dino/mercado-automotivo-aplicativos-tendencias-e-direcao-sem-motorista/>. Acessado em 20 de setembro de 2018.
- Fan, C.S.; Li, K.C. (2013), Production of insulating glass ceramics from thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass and calcium fluoride sludge. *Journal of cleaner production*, 57, 335-341.
- L. E. I. Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2000/p_7-2010.
- Lu, J.; Li, Y.; Zou, C.; Liu, Z.; Wang, C. (2018), Effect of sintering additives on the densification, crystallization and flexural strength of sintered glass-ceramics from waste granite powder. *Materials Chemistry and Physics*, 216, 1-7.
- Lu, J; Cong, X.; LU, Z. (2016), Influence of magnesia on sinter-crystallization, phase composition and flexural strength of sintered glass-ceramics from waste materials. *Materials Chemistry and Physics*, 174, 143-149.
- Mayyas, M.; Pahlevani, F.; Handoko, W.; Sahajwalla, V. (2016), Preliminary investigation on the thermal conversion of automotive shredder residue into value-added products: graphitic carbon and nano-ceramics. *Waste Management*, 50,173-183.
- Mukherjee, D.P., Das, S.K., (2014). The influence of TiO₂ content on the properties of glass ceramics: Crystallization, microstructure and hardness. *Ceramics International*, 40(3), 4127-4134.
- NBR16661 (2017), *Materiais refratários densos conformados - Determinação do volume aparente, volume aparente da parte sólida, densidade de massa aparente, densidade aparente da parte sólida, porosidade aparente e absorção*, ABNT.
- O Globo. *Frota brasileira de veículos cresce 1,2% em 2017, diz Sindipeças*. Disponível em: <https://g1.globo.com/carros/noticia/frota-brasileira-de-veiculos-cresce-12-em-2017-diz-sindipeças.ghtml>. Acessado em: 20 de setembro de 2018.
- Soldani, P. (2006), “*Alterações na microdureza do esmalte dental humano tratado "in vitro e in situ" com diferentes sistemas clareadores e espessantes*”, Dissertação de mestrado, UNG, Guarulhos.
- Wang, X.; Wu, L.; Li, H.; Xiao, J.; Cai, X.; Teng, Y., (2017), Preparation and characterization of SO₃-doped barium borosilicate glass-ceramics containing zirconolite and barite phases. *Ceramics International*, 43(1), 534-539.
- Zanotto, E.D., (2010). A bright future for glass-ceramics. *American Ceramic Society Bulletin*. 89(8), 19-27.

RECYCLING OF WINDSCREEN GLASS FOR GLASS-CERAMIC PRODUCTION COM 15% NIOBIUM OXIDE

Abstract. *Glass-ceramics were produced from recycled glass powder of windshields, aiming to reduce the withdrawal of natural resources, energy expenditure for the production of amorphous material, and add value to the discarded material. The glass powder was formed with uniaxial and sintered pressing at temperatures of 800, 850 and 900 ° C. niobium oxide was used as a nucleating agent to facilitate the crystallization process, the concentration being adopted of 15 % of niobium oxide in the mixture with the glass powder. X-ray diffraction revealed the presence of crystals at all sintering temperatures. It was noticed decrease in density and in biaxial flexure strength (21.38 MPa at 800 ° C) with increasing sintering temperature. As for Knoop microhardness, it was from 353.78 to 382.04 HK_n, although the reduction in density made the material more porous.*

Keywords: *Glass-ceramic, Niobium Oxide, Recycling, Biaxial Flexural Strength, Knoop Microhardness*