

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

## INFLUÊNCIA DO ÓXIDO DE NIÓBIO NAS PROPRIEDADES DE VITROCERÂMICAS PRODUZIDAS COM RESÍDUO DE VIDRO

**Pedro Martins da Rocha**<sup>1</sup> – martinsdarocho@outlook.com  
**Hiasmim Rohem Gualberto**<sup>1</sup> – hiasmimrohem@gmail.com  
**Iury Almeida Moraes**<sup>1</sup> – iurymoraes96@gmail.com  
**Mônica Calixto de Andrade**<sup>1</sup> – monicacalixtoandrade@gmail.com

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico – Nova Friburgo, RJ, Brazil

**Resumo.** O aumento da geração de resíduos industriais descartados de forma não adequada no meio ambiente, estimulou a produção de pesquisas que visam beneficiar o resíduo e transformá-lo em um produto dotado de propriedades funcionais, favorecendo sua reentrada no mercado de consumo e contribuindo para um destino final mais adequado. Neste estudo o resíduo industrial de ampola foi beneficiado com a adição do agente nucleante, óxido de nióbio, nas porcentagens de 10 %, 15 % e 20 % com o objetivo de produzir uma vitrocerâmica. Com a análise térmica observou-se que a temperatura de transição vítrea foi em torno de 750 °C e esta temperatura tende a diminuir com o aumento das porcentagens de óxido de nióbio. A Difração de Raios X indicou a presença de picos de cristalização no material vítreo. Com os resultados de densidade de Arquimedes verificou-se uma diminuição da porosidade com o aumento da porcentagem de agente nucleante a partir de 10 %. A resistência a flexão biaxial mostrou um aumento da resistência das amostras a partir de 10 % de adição do agente nucleante e uma melhora significativa nos padrões da estatística de Weibull e confiabilidade dos resultados.

**Palavras-chaves:** Vitrocerâmica, Óxido de Nióbio, Módulo De Weibull, Reciclagem, Resistência à Flexão Biaxial

### 1. INTRODUÇÃO

A evolução dos processos industriais e a necessidade de consumo de produtos que se tornam de primeira necessidade para a população, tornou a atividade industrial essencial na sociedade contemporânea. Apesar de sua importância ser indiscutível, a produção industrial costuma ser responsabilizada pela degradação ambiental, principalmente pelo descarte de resíduos e insumos de forma inadequada, além da ineficiência dos processos de conversão desses resíduos em materiais beneficiados e com valor agregado para ser reutilizado pela população (Casagrande et al., 2014; Freire et al., 2000).

Com a crescente geração de resíduos descartados no ambiente provenientes do meio industrial e os efeitos que possam provocar no ecossistema, nota-se uma maior preocupação da população e dos órgãos governamentais para regulamentar esses descartes. Constantes revisões ligadas a resíduos, tais como a RDC 306/04, resolução da ANVISA (Brasil, 2004) e a Res 388/05 do CONAMA (Brasil, 2005) que padronizam e classificam os tratamentos e forma de manipulação para os descartes dos resíduos, como também a ISO 14000, conjunto de normas que visa o desenvolvimento de atividades sem transgredir as leis ambientais, veem surgindo com maior frequência. Sob esse ponto de vista, produtos deixaram de ser requisitados unicamente pela eficiência técnica e funcional e passaram a ter de desempenhar uma interação mais favorável com o meio ambiente (Della et al., 2005).

A necessidade de estabelecer novas medidas de descarte e pós uso dos resíduos industriais, e a contínua busca por parte do mercado de novos produtos dotados de propriedades funcionais sempre melhores, têm estimulado pesquisas relacionadas ao beneficiamento e reciclagem destes insumos para uma reentrada no mercado de consumo. Dentre esses materiais se destaca o cerâmico. (Nepomuceno et al., 2018; Andreola et al., 2016; Casagrande et al., 2014; Menezes et al., 2001; ISO 14040).

O artigo elaborado por Kim *et al.* (2017) analisou a influência da inserção de resíduos de vidros gerados a partir da indústria de painéis de cristais líquidos na composição e produção de fibras de vidro, os resultados foram avaliados do ponto de vista dos efeitos econômicos, ambientais e de produção. A introdução do resíduo na composição das fibras de vidro reduziu a emissão de materiais poluentes (CO<sub>2</sub>) na etapa de produção, como também reduziu custos de lote e de energia, porém houve uma tendência desfavorável a formação da fibra, o que ocasionou um aumento na faixa de temperatura do processo.

Xu *et al.* (2017) estudou a viabilidade do uso de cerâmicas recicladas como material de encapsulamento na aplicação de alta temperatura térmica latente como sistema de armazenamento de energia, a investigação se baseou na compatibilidade das cerâmicas com três ligas alumínio silício a alta temperatura. O trabalho conclui que a escória de aço é a mais compatível e qualificada das ligas utilizadas para material de encapsulamento.

O estudo de Andreola *et al.* (2016) descreve a viabilidade de se obter uma formulação de corpo cerâmico contendo uma alta porcentagem de resíduos industriais de vidro (> 60 wt%) com uma granulometria específica, completando a composição com outros componentes inorgânicos plastificantes e um fichário orgânico para produção de “tijolos verdes”. Após a caracterização dos corpos de prova já formulados, conclui-se que a utilização de resíduos industriais de vidro em alternativa da matéria-prima natural possui inúmeras vantagens na fabricação do tijolo, a presença do vidro atua como agente redutor de plasticidade nas temperaturas de queima além de reduzir o consumo energético no processamento da peça.

Neste contexto, este estudo busca reutilizar um resíduo industrial descartado de ampola e analisar a compatibilidade da adição de porcentagens de um agente nucleante com a finalidade de produzir uma vitrocerâmica, que é obtida por uma cristalização controlada de um material amorfo (vidro), em temperaturas que variam de 500 °C a 800 °C, consideradas temperaturas menores que utilizadas em materiais cerâmicos (Migliore & Zanotto, 1992). Tal material é considerado um sólido cristalino, com pequeno coeficiente de expansão térmica, que possibilita a confecção de peças com geometria complexa e possui resistência mecânica superior ao do vidro (Callister, 2013).

## 2. METODOLOGIA

Para a produção das vitrocerâmicas foi utilizado pó de vidro de ampolas defeituosas. A composição desse pó é apresentada na Tabela 1, conforme dados fornecidos pelo fabricante.

Como era de se esperar a maior parte do vidro é composta por SiO<sub>2</sub> (sílica), cerca de 80 % do material. Óxido de nióbio foi adicionado ao pó de vidro para atuar como agente nucleante e facilitar o processo de cristalização das vitrocerâmicas. Além disso, foi adicionado 10 % em peso de água para auxiliar a conformação das peças promovendo melhor a compactação.

A produção das peças foi realizada por metalurgia do pó, com prensagem uniaxial em matriz metálica. Foi usado 3 g da mistura pó de vidro + óxido de nióbio + 10 % de água, aplicando carga de 25,77 MPa por 1 minutos, com auxílio de uma prensa hidráulica (P10 ST 10 ton, Bovenau, Brazil). O formato da matriz adotada foi circular com 24,03 mm de diâmetro. As porcentagens de nióbio adotadas foram de 10 %, 15 % e 20 %, que foram distinguidos em 3 grupos, sendo chamados de lote 1, lote 2, lote 3, respectivamente. Além disso, foi feito um quarto grupo (lote 4) de peças, porém esse não foi adicionado agente nucleante.

Tabela 1: Composição do vidro.

Composição	Quantidade
SiO <sub>2</sub>	80,53 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,64 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08 %
Na <sub>2</sub> O	7,96 %
K <sub>2</sub> O	0,05 %
BaO	1,37 %
MgO	0,05 %
CaO	0,49 %
TiO <sub>2</sub>	0,09 %
PbO	0,02 %
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,38 %

Após o processo de conformação, as peças foram submetidas ao um processo de secagem em estufa (400/3ND, Nova Ética, Brazil) na temperatura de 110 °C por uma hora para eliminação da água adicionada para aglutinar as partículas e facilitar a conformação. Em seguida foram submetidas a um tratamento térmico, em que as peças foram sinterizadas na temperatura de 850 °C em forno mufla (N1100, Fornitec, Brasil). Esse processo foi realizado partindo da temperatura ambiente com taxa de aquecimento de 5 °C/min até atingir a temperatura de 850 °C, a qual se manteve por 3 h. As peças foram resfriadas naturalmente dentro do forno.

Foi realizada a análise térmica de um pedaço da peça a verde, ou seja, antes de sinterizar. Tal análise foi realizada em atmosfera de ar, adotando taxa de aquecimento de 5 °C/min partindo de 30 °C até 900 °C, no equipamento Simultaneous Thermal Analyser STA 6000, (PerkinElmer, Estados Unidos). No total foram realizadas 4 análises, um para cada uma das três composições com óxido de nióbio e uma sem.

Afim de avaliar o grau de retração das peças causado pelo processo de sinterização, foi feito o cálculo da retração linear do diâmetro da peça. Visto que a peça antes da sinterização era muito frágil, não foi possível obter sua espessura antes do processo. Assim, a retração linear, (R), foi avaliada conforme a Eq. 1. Em que  $C_i$  é o diâmetro inicial da peça, que neste caso era o mesmo da matriz usada para conformação, e  $C_f$  é o diâmetro da peça após a sinterização. Esta última medida foi feita três vezes em diferentes posições do CP, das quais se obteve a média.

$$R = \frac{C_i - C_f}{C_i} 100\% \quad (1)$$

Difração de Raios X foi feita nas peças sinterizadas utilizando o método do pó, radiação CuK $\alpha$  (40 kV/40 mA), velocidade do goniômetro de 0,02° 2 $\theta$  por passo e com 0,5 segundos por passo para o tempo de contagem, sendo coletados de 4 a 80° 2 $\theta$ , com detector sensível à posição (Bruker-D8 Endeavor, Estados Unidos).

O método de Arquimedes foi adotado para a determinação da densidade do material, conforme expresso na norma a ABNT NBR 16661 (2017). Segundo esta norma, foram encontradas a densidade de massa aparente ( $d_{ma}$ ), a porosidade aparente ( $p_a$ ) e a absorção de água ( $a$ ), Eq. 2, Eq. 3 e Eq. 4 respectivamente.

$$d_{ma} = \frac{m_s}{v_a} \quad (2)$$

$$p_a = \left( \frac{m_u - m_s}{m_{e \text{ liquido}} \cdot v_a} \right) 100\% \quad (3)$$

$$a = \left( \frac{m_u - m_s}{m_s} \right) 100\% \quad (4)$$

em que  $m_s$  é massa seca,  $m_u$  a massa úmida,  $m_i$  a massa imersa e  $m_{e \text{ liquido}}$  é a massa específica do líquido em que  $m_i$  foi determinada. O líquido usado nas medições foi a água, que possui massa específica de 1,00 g/cm<sup>3</sup>. Já  $v_a$  é o volume aparente, que pode ser determinado conhecendo a massa úmida, massa imersa e a massa específica da água, conforme Eq. 5.

$$v_a = \frac{m_u - m_i}{m_{e \text{ liquido}}} \quad (5)$$

Para determinação dessas variáveis foram usados 10 Cps (Corpo de Prova) de cada lote. Para pesar  $m_s$  as peças foram aquecidas a 150 °C durante 8 horas. Já para as massas úmida e imersa, os corpos de prova foram deixados em água fervente por duas horas. As peças ainda ficaram por mais vinte e quatro horas submersas na água após a remoção da fonte de calor. É importante ressaltar que a massa imersa é encontrada descontando do seu peso o valor do empuxo exercido sobre a peça, quando esta está imersa em água.

Por fim, visando analisar a influência da adição do óxido de nióbio na resistência do material, foi feita a resistência biaxial à flexão, conforme a norma ASTM1499-05 (2005), (AGX-Plus, Shimadzu, Japão). Deste teste foi obtida a força de ruptura ( $F$ ), com a qual obteve-se a resistência à flexão biaxial ( $\sigma_f$ ), segundo a Eq. 6.

$$\sigma_f = \frac{3F}{2\pi h^2} \left[ (1 - \nu) \cdot \frac{D_s^2 - D_l^2}{D^2} + (1 + \nu) \ln \left( \frac{D_s}{D_l} \right) \right] \quad (6)$$

onde  $h$  é a média entre quatro medidas da espessura do CP,  $\nu$  é o coeficiente de Poisson,  $D_s$  , é a média entre os diâmetros interno e externo do anel de apoio do corpo de prova,  $D_l$  é o diâmetro médio do anel de aplicação da carga e  $D$  é a média de três medidas do diâmetro do copo de prova.

Para o ensaio de flexão, os parâmetros adotados foram:  $D_s$  de 12mm e  $D_l$  de 5mm, conforme as dimensões dos CPs, coeficiente de Poisson da de 0,2 e taxa de deslocamento de 0,5 mm/min, para que a peça falhasse entre 10 e 15 segundos a partir do início da aplicação da carga.

É necessário fazer uso da estatística para assegurar a confiabilidade dos resultados do ensaio de flexão. Um método amplamente utilizado é a estatística de Weibull. Este relaciona a probabilidade da fratura ( $P$ ) ocorrer, a tensão máxima ( $\sigma_f$ ) que o material suporta antes de fraturar, um fator de escala ( $\sigma_0$ ), conhecido com tensão característica, e  $m$ , o módulo de Weibull (Askeland; Phulé, 2008), conforme Eq. 7:

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1-P} \right) \right] = m \ln \sigma_f - m \ln \sigma_0 \quad (7)$$

Essa função  $P$ , Eq. 8, pode ser encontrada conduzindo  $N$  testes, organizando-os em ordem crescente observando a tensão de ruptura como parâmetro de referência. Nessa equação,  $i$  é o número da amostra e  $N$  é o número de peças utilizadas para essa análise.

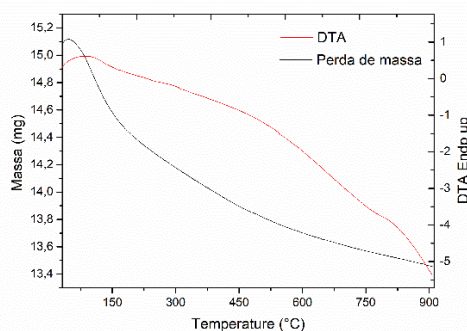
$$P = \frac{i}{N+1} \quad (8)$$

Sendo a equação da probabilidade linearizada e sabendo que  $m$  e  $\sigma_0$  são constantes, infere-se que  $m$  é a inclinação da reta. Assim, tendo determinado o número de peças e a tensão de ruptura é possível determinar essas constantes.

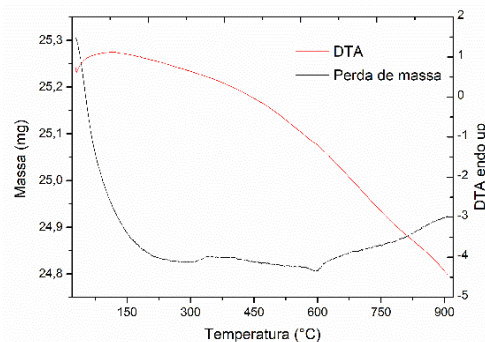
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pela avaliação das análises térmicas, apresentadas na Fig. 1, identificou-se que a temperatura de transição vítrea ( $t_g$ ) do pó de vidro ocorre em temperaturas próximas a 750 °C. Mesmo a adição de óxido de nióbio aumentando a  $t_g$ , como pode ser visto nas figuras b, c, d, a temperatura adotada para sinterização dos Cps foi superior a  $t_g$  de todas as concentrações.

Conforme pode ser observado no difratograma da Fig. 2, todas as peças produzidas apresentaram picos de estrutura cristalina, mostrando que cristalizaram. Esse resultado comprova a produção de uma vitrocerâmicas, ou seja, trata-se de um material com cristais dispersos em uma matriz vítrea. Nota-se a presença de estrutura cristalina de Quartzo (Q), Isulueshite (I) e stilbita (S), sendo o Quartzo a de maior intensidade. Além disso, observa-se que o aumento da porcentagem de óxido de nióbio aumenta a intensidade dos picos da estrutura cristalina Isulueshite, em detrimento da estrutura do Quartzo. Tal aumento possibilita aplicação elétrica do material, uma vez que a Isoleushite é um niobato de sódio, que possui estrutura piezométrica.



(a)



(b)

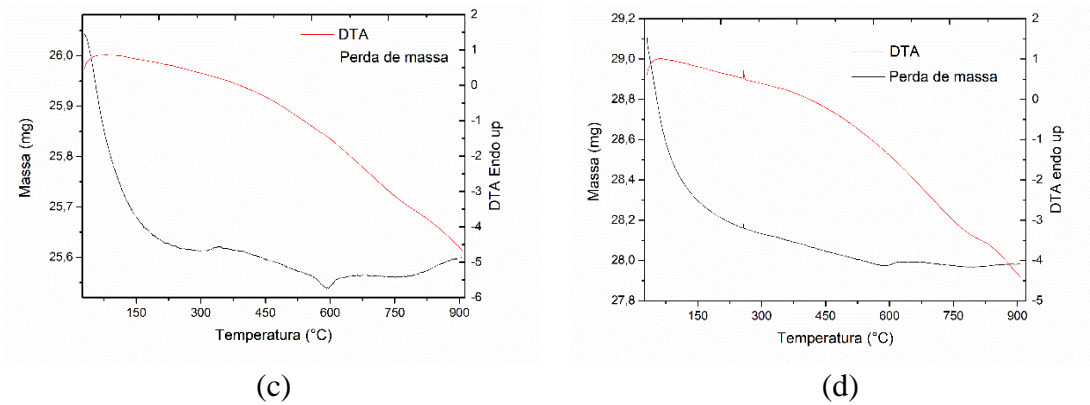


Figura 1: Análise térmica: (a) pó de vidro puro, (b) pó de vidro + 10 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (c) pó de vidro + 15 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (d) pó de vidro + 20 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

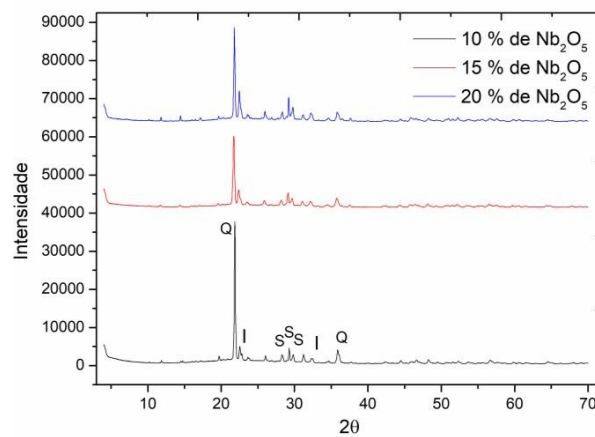


Figura 2: Difração de Raios X das peças produzidas com diferentes concentrações de óxido de nióbio.

A Fig. 3 apresenta as dimensões médias dos corpos de prova e a retração linear. Percebe-se que há um aumento de espessura e diminuição no diâmetro com o aumento de óxido de nióbio. No entanto, sem a presença do agente nucleante a espessura se torna ainda maior e seu diâmetro se torna menor, logo, sua retração linear cresce, cerca de 0,17.

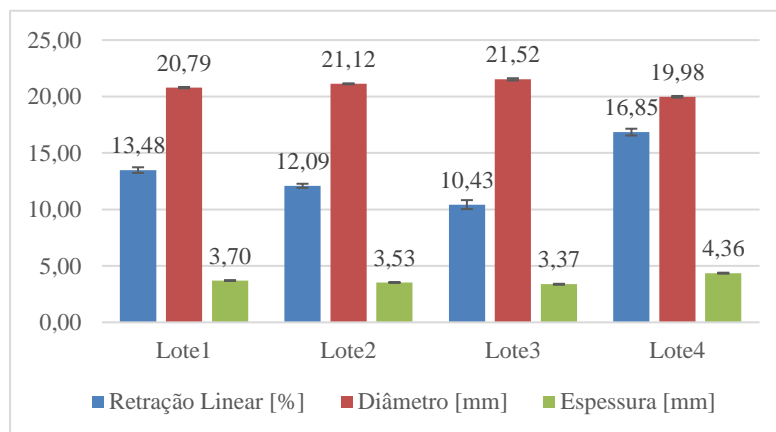


Figura 3: Dimensões e Retração linear do diâmetro.

É importante mencionar que neste último houve grande deformação do Cp durante a etapa de sinterização, mostrando que tal temperatura foi elevada para a composição sem óxido de nióbio. A retração linear acompanhou decréscimo no diâmetro, ou seja, a retração cresceu.

Os resultados da Densidade de Arquimedes, apresentados na Tabela 2, mostraram que a adição de óxido de nióbio torna a vitrocerâmica mais densa do que a sem esse óxido. Por outro lado, o aumento do teor do Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, provoca o decréscimo da densidade, como também pode ser observado na Fig 4. Tal fato está relacionado com o aumento do fluxo viscoso que dificulta a sinterização. Esse fenômeno foi devido ao aumento da cristalização provocado pelo agente nucleante (Lu et al., 2016). Apesar disso, a porosidade aparente diminui, variando de 8,416 % a 3,440 %, lote 3 e lote 1, respectivamente. De semelhante modo, ocorre para absorção de água. Já no caso das peças sem agente nucleante a porosidade aparente e absorção de água são as mais baixas, devido a sua vitrificação superficial.

Tabela 2: Dados da densidade de Arquimedes.

Lote / Composição		Média	Desvio Padrão
<b>Lote 1</b> <b>Pó de vidro + 20% de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,289	0,011
	Absorção de água (%)	1,504	0,320
	Porosidade aparente (%)	3,440	0,725
<b>Lote 2</b> <b>Pó de vidro + 15% de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,311	0,007
	Absorção de água (%)	2,803	0,214
	Porosidade aparente (%)	6,479	0,503
<b>Lote 3</b> <b>Pó de vidro + 10% de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,309	0,006
	Absorção de água (%)	3,645	0,236
	Porosidade aparente (%)	8,416	0,534
<b>Lote 4</b> <b>Pó de vidro puro</b>	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,213	0,011
	Absorção de água (%)	0,116	0,038
	Porosidade aparente (%)	0,256	0,084

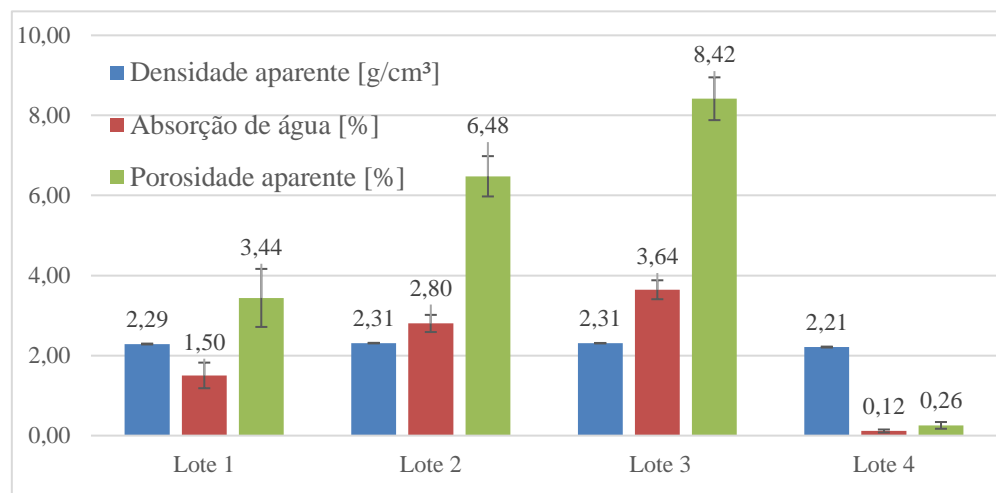


Figura 4: Comparativo da densidade de Arquimedes.

A resistência à flexão biaxial é apresentada na Tabela 3, juntamente com seu desvio padrão, módulo de Weibull, R<sup>2</sup>. Nota-se que a resistência foi maior para os Cps do Lote 4, 74,891 MPa,

porém seu desvio também foi o mais alto. Quando adicionado o óxido de nióbio houve grande queda na resistência, mas houve melhoria significativa no desvio padrão e no Módulo de Weibull. Ainda se percebe que valores maiores do óxido melhoram a resistência, mas diminuem o módulo de Weibull e aumentam o desvio Padrão. Apesar disso, todos os módulos de Weibull estão acima de 3, valor considerado mínimo para confiabilidade dos resultados relacionados a vitrocerâmicas. Segundo Migliore e Zanotto (1992) valores entre 3 e 15 para  $m$  são aceitáveis para materiais frágeis. Quanto maior o valor de  $m$  menor é a dispersão das propriedades mecânicas entre as peças do lote estudado. O valor de  $R^2$  foi de 0,921 a 0,986 valores bem superiores aos encontrado por Defez *et al.* (2013) em seu estudo.

Tabela 3: Dados da Resistência à Flexão Biaxial.

Lote / Composição	Média da Resistência à Flexão [MPa]	Desvio Padrão	Módulo de Weibull (m)	$R^2$
Lote 1 Pó de vidro + 20% de Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14,773	4,922	3,221	0,945
Lote 2 Pó de vidro + 15% de Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7,312	1,665	4,914	0,921
Lote 3 Pó de vidro + 10% de Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6,377	1,367	5,1456	0,938
Lote 4 Pó de vidro puro	74,891	21,838	3,647	0,986

A Fig. 5 apresenta a distribuição de Weibull para os 4 lotes de peças, juntamente com a curva de tendência, da qual é obtido  $m$ , Módulo de Weibull, e  $R^2$ . Pela inclinação da curva é possível identificar que o Lote 3 é o maior módulo de Weibull.

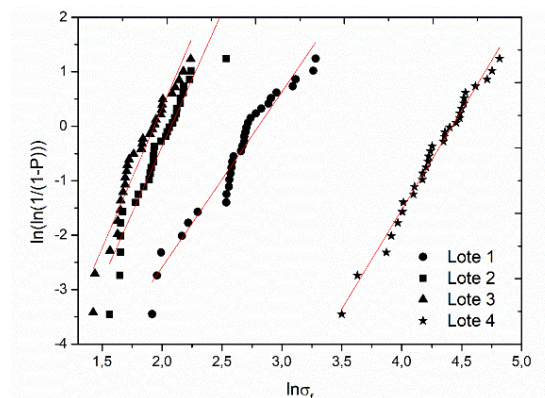


Figura 5: Distribuição de Weibull para resistência à flexão biaxial.

Tendo em vista essa variação de resultados com o aumento do percentual de óxido de nióbio, foi feito um comparativo entre a resistência à flexão e a porosidade aparente, conforme apresentado na Fig. 6. Por essa figura percebe-se que a resistência à flexão diminui com o aumento da porosidade aparente. Uma vez que os poros atuam como concentradores de tensão,



é crucial para produzir vitrocerâmicas com alta resistência o controle da porosidade.

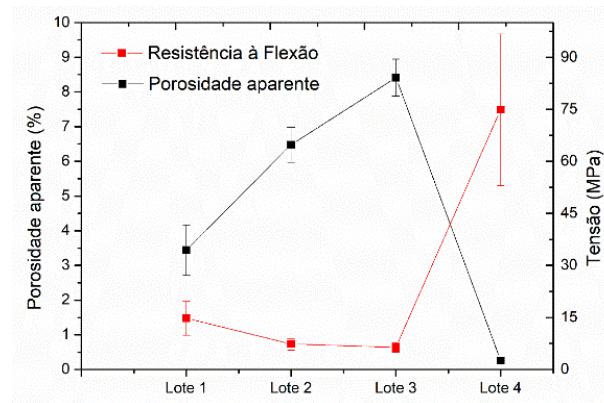


Figura 6: Comparativo entre Resistência à Flexão e Porosidade aparente.

#### 4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do estudo, objetivando o beneficiamento e a reutilização de um resíduo industrial vítreo na forma de ampola, possibilitou a produção de vitrocerâmicas, a partir da adição das porcentagens 10 %, 15 %, 20 % do agente nucleante óxido de nióbio ( $Nb_2O_5$ ) e um tratamento térmico adequado. A adição do óxido de nióbio diminuiu a temperatura de transição vítrea do material e possibilitou uma diminuição na porosidade aparente com o aumento de sua porcentagem, fato que determinou uma melhora significativa para a resistência a flexão biaxial do material a partir de 10% de  $Nb_2O_5$ . De forma semelhante ocorreu com a porosidade aparente, a qual diminuiu com o aumento do teor do agente nucleante, fato que também contribuiu para essa melhora das propriedades. Vale ressaltar que apesar do pó de vidro puro da ampola obter resistência superior as das vitrocerâmicas produzidas óxido de nióbio, o resíduo beneficiado com o óxido auxiliou em uma melhora considerável no desvio padrão dos resultados, o que possibilitou uma confiabilidade dos resultados superior com base nos limites de especificação da estatística de Weibull.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento CAPES e a FAPERJ pelo suporte financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- Andreola, F.; Barbieri, F.; Lancellotti, I.; Leonelli, C.; Manfredini, T. (2016), Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: state of the art and glass case studies. *Ceramics International*, 42, 13333-13338.
- Askeland, D.R., Phulé, P.P. (2008), “*Ciência e engenharia dos materiais*”, Cengage Learning.
- 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.
- Brasil. Resolução RCD nº 306, de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde”. Órgão emissor: ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: [www.anvisa.gov.br](http://www.anvisa.gov.br). Acesso em : 23 de setembro de 2018.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 358, de 29 de Abril de 2005. In: Resoluções, 2005. Disponível em: [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br). Acesso em: 23 de setembro de 2018.

- Callister, W. D. (2013), “*Ciência e engenharia de materiais uma introdução*”, 7<sup>o</sup> ed., Ltc, Utah.
- Casagrande, M.C.; Sartor, M.N.; Gomes, V.; Della, V.P.; Hotza, D.; Oliveira, A.P.N. (2008), Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico, *Cerâmica Industrial*, Santa Catarina, 13 (1/2).
- Defez, B.; Peris-Fajarnés, G.; Santiago, V.; Soria, J.M.; Lluna, E. (2013), Influence of the load application rate and the statistical model for brittle failure on the bending strength of extruded ceramic tiles. *Ceramics International*, 39, 3329-3335.
- Della, V.P.; Kühn, I.; Hotza, D. (2005), Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica, *Cerâmica Industrial*, 10 (2).
- Freire, R. S.; Pelegrine, R.; Kubota, L.T., Durán N. (2000), Novas Tendências para o Tratamento de Resíduos Industriais Contendo Espécies Organocloradas, *Química Nova*, 23(4).
- Kim, K.; Kim, K. (2017), Valuable Recycling of Waste Glass generated from the Liquid Crystal Display Panel Industry. *Journal of Cleaner Production*, 174, 191-198.
- 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.
- Menezes, R.R.; Neves, G.A.; Ferreira, H.C. (2002), O Estado da Arte Sobre o uso de Resíduos como Matérias-Primas Cerâmicas Alternativas, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Industrial e Ambiental*, 6, 303-313.
- Migliore Júnior, A.R.; Zanotto, E.D. (1992), Sobre a determinação dos parâmetros de Weibull. *Cerâmica*, 38, 253.
- NBR14000 (2014), *Conjunto de normas constituintes de diretrizes de gestões ambientais em empresas*, ABNT.
- 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.
- Nepouceno, M. C. S.; Isidoro, R. A. S.; Catarino, J.P.G. (2018), Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste, *Construction and Building Materials*, 165, p.284-294.
- Rosa, D.S.; Cristina, G.; Guedes, F. (2003), Desenvolvimento de Processo de Reciclagem de Resíduos Industriais do Poliuretano e Caracterização dos Produtos Obtidos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 13, 64- 71.
- Xu, H.; Sadiki, N.; Magro, F.F.; Py, X.; Mancaux, J.M.; Romagnoli, A. (2017), Compatibility tests between molten aluminium alloys and recycled ceramics from inorganic industrial wastes. *Energy Procedia*, 142, 3689-3696.

## INFLUENCE OF NIOBIUM OXIDE IN THE PROPERTIES OF GLASS-CERAMICS PRODUCED WITH WASTE GLASS

**Abstract.** *The increase in the generation of industrial waste not disposed of in an inadequate way in the environment, stimulated the production of researches that aim to benefit the waste and transform it into a product endowed with functional properties, favoring its reentry in the consumer market and contributing to a destination end. In this study the industrial residue of ampoule was benefited with the addition of the nucleating agent, niobium oxide, in the percentages of 10 %, 15 % and 20% in order to produce a glass ceramic. With the thermal analysis it was observed that the glass transition temperature was around 750 °C and this temperature tends to decrease with increasing niobium oxide percentages. X-ray diffraction indicated the presence of crystallization peaks in the vitreous material. With the Archimedes density results a decrease in porosity was observed with the increase of nucleating agent percentage from 10 %. The biaxial flexural strength showed an increase in the strength of the samples from 10 % addition of the nucleating agent and a significant improvement in the Weibull statistical standards and reliability of the results.*

**Keywords:** *Glass-ceramic, Niobium Oxide, Recycling, Weibull Module, Biaxial Flexural Strength*