

## EFEITO DAS PARTÍCULAS CRISTALINAS DE QUARTZO, ALUMINA E ZIRCONITA SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA, TENACIDADE E TAMANHO DO DEFEITO NATURAL EM COMPÓSITO DE MATRIZ VÍTREA

M. Dal Bó<sup>1</sup>; D. Hotza<sup>1</sup>; A.O. Boschi<sup>2</sup>; E. Sanchez<sup>3</sup>; V. Cantavella<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PGMAT), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil

<sup>2</sup>Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil

<sup>3</sup>Instituto de Tecnologia Cerâmica (ITC), Universidad Jaume I (UJI), Castellón de la Plana, Espanha

e-mail: [marcelodalbo@hotmail.com](mailto:marcelodalbo@hotmail.com)

**Resumo:** Este trabalho estuda a influência da adição de partículas cristalinas sobre propriedades mecânicas de materiais cerâmicos. Uma densa matriz vítrea, formada a partir de um feldspato sódico foi desenvolvida. Partículas cristalinas de quartzo, alumina e zirconita foram adicionadas à matriz variando o tamanho de partícula e a fração volumétrica. A resistência mecânica à fratura, tenacidade e o tamanho do defeito natural foram medidas. Os resultados mostraram que a adição de alumina não influenciou a resistência mecânica. Por outro lado, a adição de quartzo e zirconita provocou forte redução da resistência. Não foi encontrado nenhum mecanismo de tenacificação com a adição das partículas cristalinas. Quanto ao defeito natural de Griffith, a matriz pura apresentou o menor valor quando comparado com os outros materiais. Resumidamente, a adição de partículas cristalinas de alumina não influenciou as propriedades mecânicas e a adição de quartzo e zirconita reduziu a resistência mecânica e a tenacidade.

**Palavras-chave:** *Propriedades mecânicas, partículas cristalinas, compósitos de matriz vítrea.*

## 1- INTRODUÇÃO

As propriedades mecânicas dos materiais cerâmicos são muito influenciadas por sua microestrutura. No caso de materiais cerâmicos heterogêneos, constituídos por partículas cristalinas dispersas em uma matriz vítrea, as propriedades mecânicas do produto são resultados de uma complexa interação entre os parâmetros do processo e a composição inicial do material.

A microestrutura de materiais cerâmicos como os porcelanatos, as porcelanas dentárias, os vitrocerâmicos e alguns compósitos é formada por fases cristalinas dispersas em uma matriz vítrea contínua. As partículas cristalinas podem estar presentes na microestrutura de materiais cerâmicos de duas formas: (i) Residuais, na qual os cristais não foram totalmente dissolvidos na matriz vítrea durante a sinterização e; (ii) Incorporadas à matriz vítrea propositalmente, como forma de reforço microestrutural.

Com base em trabalhos anteriores, as partículas cristalinas de alumina, zirconita e quartzo apresentam grande influência sobre o comportamento mecânico de materiais cerâmicos, como a resistência mecânica à flexão<sup>(1-3)</sup>, o módulo de elasticidade<sup>(4,5)</sup> e a tenacidade à fratura<sup>(6,7)</sup>.

Geralmente são aceitas três teorias para explicar o reforço microestrutural proporcionado pelas fases cristalinas em materiais cerâmicos<sup>(8)</sup>:

(i) *Hipótese da mulita:* Postula que a resistência de um material porcelânico é unicamente dependente da interconectividade de finos cristais de mulita. Posteriormente, outras versões dessa hipótese indicaram que a resistência era incrementada com o aumento do percentual de mulita.

(ii) *Hipótese do reforço da matriz:* A diferença entre o coeficiente de expansão térmica entre a matriz (fase vítrea, no caso das porcelanas) e partículas dispersas (como o quartzo e a alumina) ou fases cristalinas formadas durante a sinterização (como a mulita e a cristobalita) pode produzir grande tensão de compressão na fase vítrea. A ideia do reforço da matriz é amplamente referenciada na bibliografia, discutindo principalmente o efeito do quartzo sobre o incremento/defeitos microestruturais.

(iii) *Hipótese da dispersão-fortalecimento*: A hipótese da dispersão-fortalecimento propõe que as partículas cristalinas dispersas limitam o tamanho do defeito de Griffith, levando a um incremento da resistência <sup>(9)</sup>. Nesse caso, a resistência mecânica é dependente da fração volumétrica e do tamanho das partículas cristalinas dispersas na matriz.

Trabalhos anteriores sobre propriedades mecânicas de materiais cerâmicos <sup>(1,10-12)</sup> indicam que o quartzo desempenha um papel importante com respeito à mudança das propriedades mecânicas desses produtos. O quartzo, na forma cristalina, apresenta um duplo efeito sobre a microestrutura do material cerâmico:

(i) *Reforço microestrutural*, provocado pela diferença do coeficiente de expansão térmica entre o quartzo e a matriz, submetendo a matriz vítrea a um estado de tensão residual microscópica de compressão (hipótese do reforço da matriz);

(ii) *Defeitos microestruturais*, provocado por estas tensões microscópicas devido à geração de microfissuras (trincas) na matriz e/ou nas partículas de quartzo <sup>(8,1,13)</sup>.

Recentemente, com o aprimoramento de algumas técnicas analíticas, onde se destacam a microscopia eletrônica de varredura (MEV) com a análise química por microsonda (EDS) e a análise quantitativa de fases por raios-X, os estudos sobre o efeito das partículas cristalinas sobre a resistência mecânica de materiais cerâmicos heterogêneos sofreram um avanço.

Bragança et al. realizaram uma revisão com os trabalhos mais importantes da bibliografia sobre a resistência mecânica de porcelanas <sup>(9)</sup>. Nesse trabalho, ficaram evidentes algumas discordâncias de resultados do efeito das partículas cristalinas sobre a resistência mecânica desses materiais.

Se a hipótese do reforço da matriz fosse totalmente verdadeira, as porcelanas com quartzo ( $\alpha_{25-700} \sim 22,13 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) apresentariam sempre maior resistência mecânica do que porcelanas com cristais de alumina ( $\alpha_{25-700} \sim 8,07 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), devido as partículas de quartzo deixarem a matriz vítrea em um estado de compressão maior do que as partículas de alumina, o que não ocorre na realidade. Por exemplo, no trabalho de Warshaw et al. os resultados mostraram que porcelanas triaxiais contendo alumina são de 25 a 100% mais resistentes que porcelanas com sílica <sup>(3)</sup>. Da mesma forma, Austin et al. constataram que a adição de 20% de alumina em

uma cerâmica triaxial melhorou as propriedades mecânicas sem grandes alterações na retração e na temperatura de máxima densificação <sup>(14)</sup>.

A substituição do quartzo pela alumina reduz a diferença do coeficiente de expansão térmica entre a fase vítrea e a fase cristalina. Em consequência, as tensões internas na matriz e nas partículas cristalinas são reduzidas, diminuindo a possibilidade da geração de trincas (defeito de Griffith) durante o resfriamento desses materiais.

Apesar da ampla bibliografia do efeito das partículas cristalinas de quartzo e alumina sobre as propriedades mecânicas de materiais cerâmicos, o efeito do cristal de zirconita é um tema que ainda necessita ser aprofundado.

Com o objetivo de estudar o efeito das partículas cristalinas de quartzo, alumina e zirconita sobre as propriedades mecânicas de materiais cerâmicos, esse trabalho visa dar um passo adiante no intuito de melhorar a compreensão da relação composição-microestrutura-propriedades mecânicas de materiais cerâmicos.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1- Materiais

Feldspato sódico (Mario Pilato - Espanha) foi utilizado para o desenvolvimento de uma matriz vítrea, de vidro de albita, com baixa porosidade e pouca fase cristalina residual após sua sinterização.

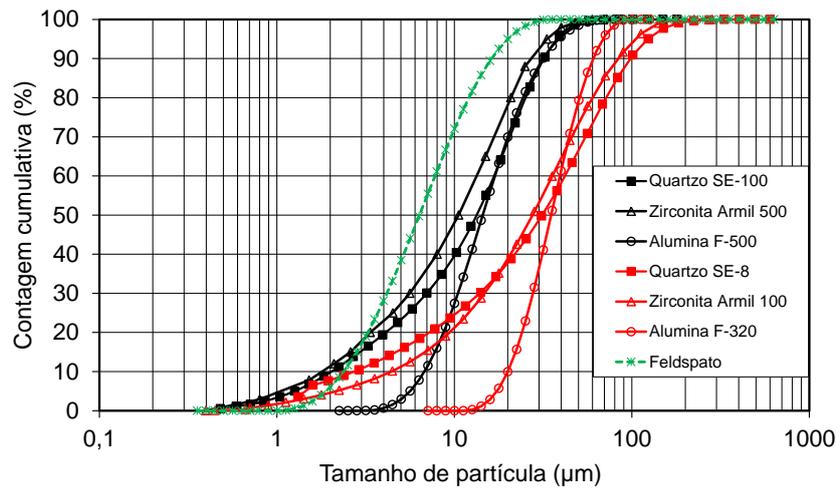
Partículas cristalinas de quartzo (Sibelco - Espanha), alumina (Fepa Abrasives - Alemanha) e zirconita (Guzman Global - Espanha) foram selecionadas para o estudo da influência das suas propriedades sobre as propriedades mecânicas. As análises químicas das fases cristalinas são mostradas na Tabela 1, a partir de dados dos fornecedores.

**Tabela 1:** Análise química das matérias-primas utilizadas.

<b>Óxidos</b>	<b>Feldspato (% em massa)</b>	<b>Quartzo (% em massa)</b>	<b>Alumina (% em massa)</b>	<b>Zirconita (% em massa)</b>
SiO <sub>2</sub>	69,90	98,9	<0,1	32,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,70	0,51	99,2	0,25
ZrO <sub>2</sub>	---	---	---	66,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,05	0,04	0,06
TiO <sub>2</sub>	0,12	---	<0,01	0,11
CaO	0,50	0,03	0,02	0,04
MgO	0,10	---	<0,01	---
Na <sub>2</sub> O	10,00	0,01	0,48	---
K <sub>2</sub> O	0,30	0,06	<0,01	---
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	---	---	<0,01	0,11
Outros	0,02	0,17	0,01	0,20
Perda ao fogo	0,30	0,27	0,11	0,23

Utilizaram-se dois tipos de quartzos: SE-100 e SE-8 (de mesma composição química), tornando-se esses os tamanhos de partículas padrões. A partir da definição do tamanho de partícula do quartzo foram selecionadas as aluminas e as zirconitas com tamanho de partícula semelhante. A alumina F500 e a alumina F320, de mesma composição química, foram selecionadas para o trabalho. O silicato de

zircônio Armil 500 e o silicato de zircônio Armil 100, também de mesma composição química, foram selecionados. O silicato de zircônio Armil 100, cujo diâmetro médio de partículas é próximo a 100  $\mu\text{m}$  foi moído até que sua granulometria se aproximasse do quartzo SE-8. A Figura 1 mostra as distribuições granulométricas de todas as fases cristalinas utilizadas no trabalho.



**Figura 1:** Comparativo entre a distribuição de tamanho das partículas cristalinas utilizadas juntamente com o feldspato após sua moagem.

Frações volumétricas de 18,5 e 37,6% foram usadas para o estudo da sua influência sobre as propriedades mecânicas. A

Tabela 2 mostra as frações volumétricas de cada fase cristalina, o tamanho das partículas utilizadas juntamente com a respectiva nomenclatura de cada corpo de prova. Partículas com um diâmetro médio de aproximadamente 12  $\mu\text{m}$  recebem a nomenclatura *f* (finas) e partículas com um diâmetro médio de aproximadamente 40  $\mu\text{m}$  recebem a nomenclatura *g* (grossas).

**Tabela 2:** Frações volumétricas dos constituintes e a respectiva nomenclatura de cada corpo de prova.

Nomenclatura	Feldspato Sódico (% vol.)	Fase cristalina adicionada					
		Quartzo (% vol.)		Alumina (% vol.)		Zirconita (% vol.)	
		SE100	SE8	F500	F320	A500	A100*
Matriz	100,0						
M20Q <sub>f</sub>	81,5	18,5					
M20Q <sub>g</sub>	81,5		18,5				
M20A <sub>f</sub>	81,5			18,5			
M20A <sub>g</sub>	81,5				18,5		
M20Z <sub>f</sub>	81,5					18,5	
M20Z <sub>g</sub>	81,5						18,5
M40Q <sub>f</sub>	62,4	37,6					
M40Q <sub>g</sub>	62,4		37,6				

\*A zirconita A100 foi moída.

## 2.2- Métodos experimentais

O tamanho inicial das partículas de feldspato sódico foi reduzido em moinho planetário de alumina, utilizando água e carga de bolas também de alumina. O tempo de moagem foi de 30 min com uma velocidade de rotação de 260 rpm, resultando em um diâmetro médio de partículas de aproximadamente 6 µm. Então, o feldspato moído foi seco e granulado com 8% em massa de uma solução aquosa com 5% em massa de PVA (álcool polivinílico, Sigma-Aldrich). O material resultante foi conformado por prensagem usando uma prensa uniaxial com pressão de 35 MPa, resultando em corpos de prova com dimensão de 67 x 16,5 x 5,5 mm.

Para a incorporação das partículas cristalinas à matriz, estas foram homogeneizadas com o feldspato previamente moído durante 10 min, utilizando água e três bolas grandes de alumina, implicando em uma carga não energética de bolas. Após a homogeneização o material foi seco, granulado e prensado da mesma forma citada anteriormente.

A sinterização dos materiais foi realizada em forno elétrico (Pirometrol R-series, Espanha), com uma primeira taxa de aquecimento de 210°C/min entre a temperatura ambiente e 500°C, seguido de uma segunda taxa de aquecimento de 25°C/min até 1200°C. A temperatura máxima de sinterização foi ajustada para cada fase cristalina estudada, coincidindo com a máxima densificação do material cerâmico. Essa temperatura máxima foi mantida por 6 min, seguida de um resfriamento lento.

Para o cálculo da resistência mecânica foi utilizado um equipamento de ensaios universais (Instron modelo 6027) no modo de flexão em três pontos com uma velocidade de 1 mm/min.

Para a medição da tenacidade à fratura do material, em modo I ( $K_{IC}$ ), foi utilizada a técnica SENB (*Single Edge Notched Beam*). Os entalhes (tamanho do defeito) nos corpos de prova foram feitos a uma profundidade de 40% da espessura total. O mesmo equipamento de ensaios universais (Instron modelo 6027) no modo de flexão em três pontos com uma velocidade de 1 mm/min foi utilizado para provocar a fratura dos materiais. O tamanho exato do defeito provocado (entalhe) foi posteriormente medido com um microscópio ótico (Nikon SMZ-U).

Para cada ensaio descrito anteriormente, foram utilizados dez corpos de prova, possibilitando o cálculo de uma média e seu respectivo desvio padrão.

A medição do tamanho de partícula do feldspato sódico após a moagem foi feita com um equipamento de difração a laser (Mastersizer 2000, Malvern). Para o estudo das fases cristalinas do material foi utilizado um difratômetro (Bruker Theta-Theta, modelo D8 Advance). Os parâmetros de medida dependeram de cada amostra, a voltagem variou entre 30 e 40 kV, a intensidade entre 40 e 45 mA, a constante de tempo entre 0,5 e 1,2 s, o tamanho do passo variou entre 0,015 e 0,02° e o ângulo desde  $2\theta = 5^\circ$  até  $2\theta = 90^\circ$ . A microestrutura dos corpos de prova foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura (FEI Quanta 200 ESEM FEG), com uma microsonda (EDAX Genesis 7000 SUTW EDX) para a análise química.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1- Resistência mecânica à flexão

Os estudos sobre o efeito das partículas cristalinas sobre a resistência mecânica de materiais cerâmicos visa otimizar a formulação e/ou o processamento, buscando assim incrementar essa propriedade mecânica. A influência das partículas

crystalinas sobre a resistência mecânica de materiais cerâmicos é um tema amplamente encontrado na bibliografia. Dentre os importantes trabalhos realizados sobre esse tema podem-se citar Warshaw et al. <sup>(3)</sup>, Stathis et al. <sup>(12)</sup>, De Noni et al. <sup>(15)</sup> e Bragança et al. <sup>(9)</sup>. De acordo com o apresentado, fica evidente a influência das partículas cristalinas sobre a resistência mecânica de materiais cerâmicos.

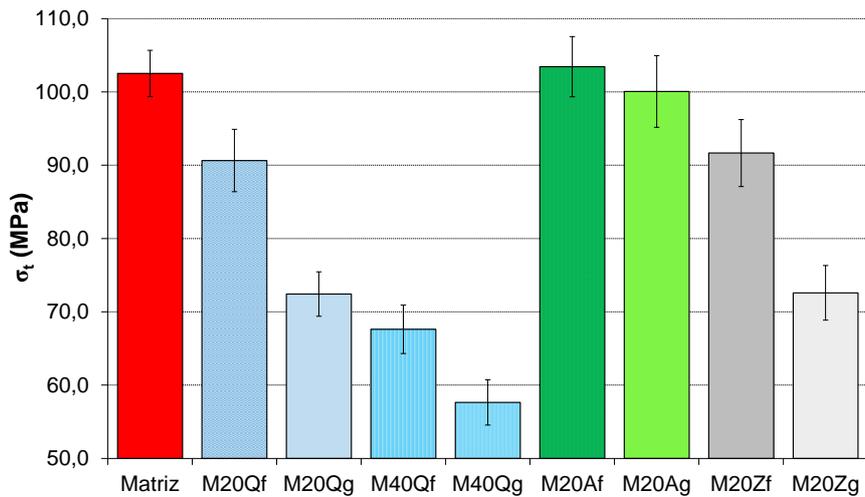
Além do efeito das partículas cristalinas, a resistência mecânica também sofre efeito da porosidade <sup>(16)</sup>. Nesse caso, a resistência mecânica decresce exponencialmente com a fração volumétrica de poros.

Como o comportamento da resistência mecânica é fortemente dependente da porosidade do material, a medição dessa variável é necessária para garantir uma boa interpretação dos resultados. A Tabela 3 mostra a porosidade total da matriz juntamente com os outros materiais estudados.

**Tabela 3:** Densidade aparente e porosidade da matriz e dos outros materiais com quartzo, alumina e zirconita.

Material	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade teórica (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade (%)
Matriz	2.421	2.463	1,7
M20Q <sub>f</sub>	2.415	2.497	3,3
M20Q <sub>g</sub>	2.412	2.497	3,4
M40Q <sub>f</sub>	2.378	2.544	7,3
M40Q <sub>g</sub>	2.358	2.544	8,1
M20A <sub>f</sub>	2.631	2.739	3,9
M20A <sub>g</sub>	2.630	2.739	4,0
M20Z <sub>f</sub>	2.761	2.847	3,0
M20Z <sub>g</sub>	2.759	2.847	3,1

A Figura 2 apresenta os resultados da resistência mecânica à flexão dos materiais com quartzo, alumina e zirconita comparados com a resistência da matriz. Os resultados mostraram que a maior resistência à flexão foi obtida com a matriz pura. A incorporação de partículas cristalinas de quartzo e zirconita reduziu fortemente a resistência mecânica à flexão dos materiais cerâmicos. Por outro lado, a adição de alumina à matriz não influenciou a resistência mecânica, mesmo com o aumento da porosidade do material. Os resultados comprovaram também o efeito do tamanho das partículas sobre a resistência mecânica, partículas grandes de quartzo e zirconita reduziram fortemente a resistência mecânica dos materiais. Já o incremento do diâmetro médio das partículas de alumina não influenciou a resistência mecânica, segundo a análise estatística de Tukey.



**Figura 2:** Resistência mecânica à flexão ( $\sigma_t$ ) dos materiais com a incorporação das partículas cristalinas de quartzo, alumina e zirconita.

### 3.2- Tenacidade à fratura

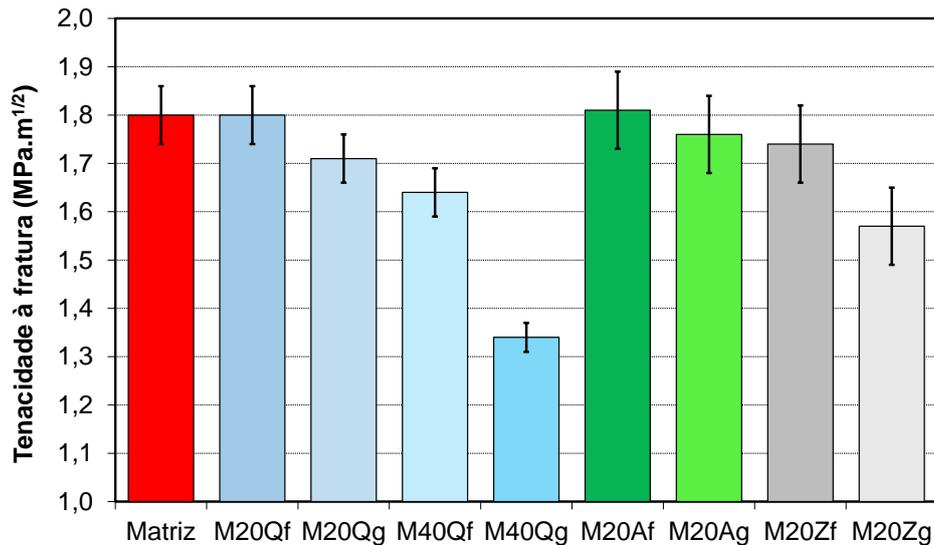
O fator de intensidade de tensão (ou tenacidade à fratura -  $K_{Ic}$ ) é um parâmetro intrínseco do material que descreve a capacidade do material em resistir à abertura e propagação de uma trinca quando esse é submetido a uma carga mecânica.

A equação básica da resistência mecânica, também conhecida por equação de Griffith, de materiais cerâmicos é dada por:

$$K_{Ic} = \sigma_t Y a_0^{1/2} \quad (A)$$

onde:  $\sigma_t$ : resistência mecânica (MPa),  $K_{Ic}$ : tenacidade à fratura ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ),  $Y$ : fator de calibração da mecânica da fratura e  $a_0$ : tamanho do defeito de Griffith (m)

A Figura 3 mostra os resultados da tenacidade da matriz juntamente com os materiais que sofreram a adição de partículas cristalinas de quartzo, alumina e zirconita. Os resultados mostram que a tenacidade da matriz apresentou valores maiores que a tenacidade encontrada em vidros ( $0,6 \leq K_{Ic} \leq 1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )<sup>(17)</sup> e próximos a tenacidade de materiais como porcelanas feldspáticas<sup>(7)</sup> e porcelanatos<sup>(18)</sup>.



**Figura 3:** Tenacidade à fratura dos materiais estudados.

Os resultados da adição de partículas cristalinas em uma matriz vítrea de feldspato sódico não auxiliaram na tenacificação do material. Em outras palavras, nenhum mecanismo de tenacificação foi observado nesse trabalho. A adição de quartzo cristalino e zirconita com um grande tamanho de partícula e alta fração volumétrica reduziu fortemente a tenacidade dos materiais cerâmicos.

### 3.3- Tamanho do defeito natural de Griffith

O tamanho do defeito na microestrutura do material é provavelmente o principal fator que afeta a resistência de materiais cerâmicos. Os típicos fatores de controle do tamanho do defeito microestrutural em materiais cerâmicos heterogêneos são o coeficiente de expansão térmica entre as fases, as propriedades elásticas, a fração volumétrica das diferentes fases, o tamanho das partículas cristalinas e as transformações de fase. Todos esses fatores são dependentes do processo de sinterização. Em termos de redução da resistência mecânica, a transformação de fase se torna importante quando há quartzo na composição do material.

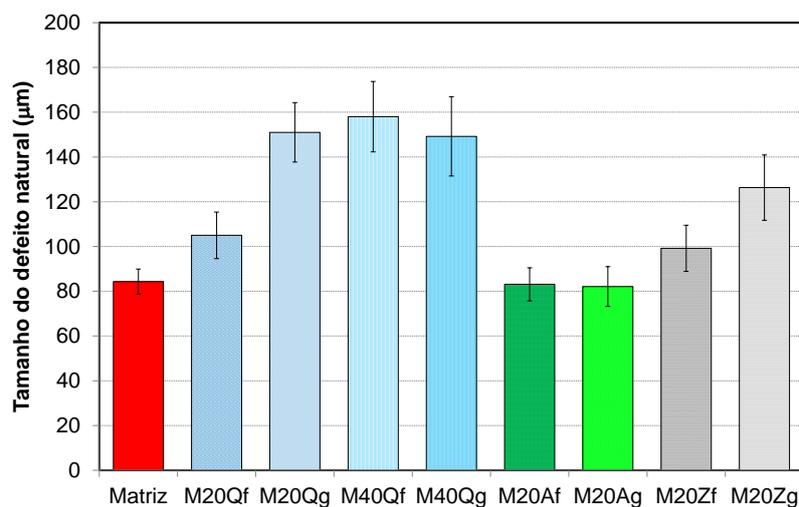
Durante a etapa de sinterização, mais precisamente no resfriamento, a diferença entre o coeficiente de expansão térmica da fase vítrea e do cristal de quartzo pode provocar a geração de trincas microestruturais, aumentando dessa forma o tamanho do defeito natural.

Tendo em vista que já se conhece a resistência mecânica dos materiais e a tenacidade pode-se então calcular o tamanho do defeito natural que levou a fratura do mesmo, presente na microestrutura de cada material, utilizando a equação de Griffith (eq. A).

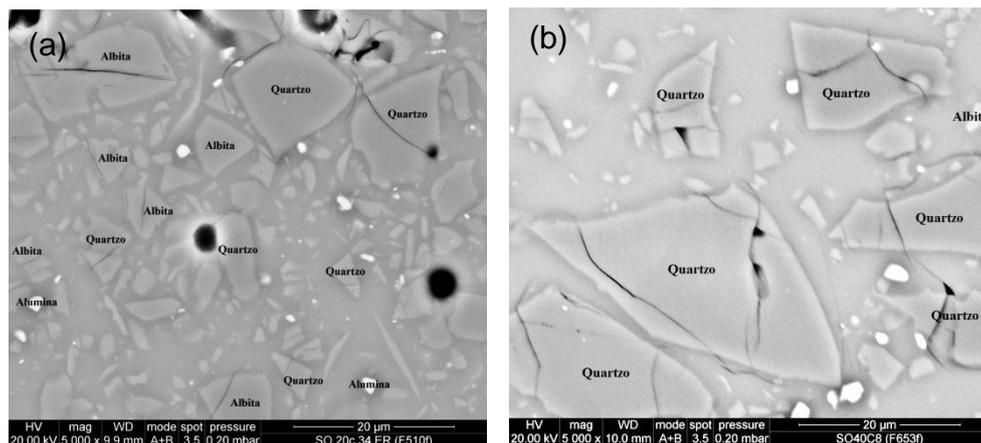
A Figura 4 mostra a variação do tamanho do defeito natural calculado para os materiais estudados nesse trabalho. Os resultados mostraram que não houve incremento do tamanho do defeito natural com a adição de cristais de alumina à matriz. O tamanho do cristal de alumina também não apresentou influência sobre o tamanho do defeito natural. Em contrapartida, a adição de cristais de zirconita à matriz aumentou o tamanho do defeito natural de Griffith. Os resultados também mostraram que o tamanho do cristal de zirconita teve influência sobre o defeito natural de Griffith produzido na microestrutura. Nesse caso, quanto maior o tamanho de partícula de zirconita ( $D_{50}$ ) maior o tamanho do defeito natural ( $a$ ).

A adição de cristais de quartzo resultou nos maiores valores do tamanho natural do defeito microestrutural. A

Figura 5 mostra que as partículas de quartzo geraram microfissuras na microestrutura, sendo que quanto maior o diâmetro médio das partículas de quartzo, maior foi o tamanho do defeito encontrado.



**Figura 4:** Variação do tamanho do defeito natural para os materiais com quartzo, alumina e zirconita comparados com a matriz.



**Figura 5:** Micrografias das composições com a adição de quartzo. (a) M20Q<sub>f</sub>, (b) M40Q<sub>g</sub>.

#### 4- CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se o efeito da adição de cristais de quartzo, alumina e zirconita sobre o comportamento das propriedades mecânicas de materiais cerâmicos.

A resistência mecânica à flexão da matriz pura (~111 MPa) apresentou valores muito superiores a resistência mecânica geralmente encontrada em materiais porcelânicos (50 a 60 MPa).

A adição de cristais de alumina à matriz não influenciou a resistência mecânica à flexão. O tamanho de partícula dos cristais de alumina também não apresentou efeito sobre a resistência mecânica. Em contrapartida, a adição de cristais de zirconita e quartzo à matriz reduziu a resistência mecânica à flexão. O aumento do diâmetro médio dos cristais de zirconita e quartzo reduziu a resistência mecânica dos materiais.

Com a adição das partículas cristalinas de alumina a tenacidade do material não apresentou diferença estatística significativa. A adição dos cristais de quartzo e zirconita mostrou que partículas com um grande diâmetro médio reduziram a tenacidade à fratura.

De acordo com as micrografias dos materiais com quartzo, evidenciou-se que quanto maior o tamanho da partícula de quartzo maior foi o tamanho do defeito natural (trincas periféricas e/ou dentro das partículas cristalinas).

Neste trabalho, as partículas cristalinas adicionadas à matriz não incrementaram as propriedades mecânicas. Portanto, não foi observado nenhum tipo de reforço microestrutural nos materiais estudados.

*Agradecimentos:* Esse trabalho foi financeiramente suportado por uma cooperação internacional (CAPES, projeto BEX 6505/10-4) e pelo governo espanhol (BIA2009-10692).

## 5- REFERÊNCIAS

- (1) BRAGANÇA, S.R., BERGMANN, C.P., HÜBNER, H. Effect of Quartz Particle Size on the Strength of Triaxial Porcelain. *J Eur Ceram Soc*, v. 26, n. 16, p. 3761-3768, 2006.
- (2) HARADA, R., SUGIYAMA, N., ISHIDA, H. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Strengthened Feldspathic Porcelain Bodies: Effects of the Amount and Particle Size of Alumina. *Ceram Eng Sci Proc*, v. 17, n. 1, p. 88-98, 1996.
- (3) WARSHAW, S.I., SEIDER, R. Comparison of Strength of Triaxial Porcelains Containing Alumina and Silica. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 50, n. 7, p. 337-343, 1967.
- (4) BOCCACCINI, A.R., EIFLER, D., ONDRACEK, G. Determination of the Young's Modulus of Platelet Reinforced Composite Materials. *Materials Science and Engineering: A*, v. 207, n. 2, p. 228-233, 1996.
- (5) HASSELMAN, D.P.H., FULRATH, R.M. Effect of Alumina Dispersions on Young's Modulus of a Glass. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 48, n. 4, p. 218-219, 1965.
- (6) XU, C. Effects of Particle Size and Matrix Grain Size and Volume Fraction of Particles on the Toughening of Ceramic Composite by Thermal Residual Stress. *Ceramics International*, v. 31, n. 4, p. 537-542, 2005.
- (7) QUINN, J.B., SUNDAR, V., LLOYD, I.K. Influence of Microstructure and Chemistry on the Fracture Toughness of Dental Ceramics. *Dental Materials*, v. 19, n. 7, p. 603-611, 2003.
- (8) CARTY, W.M., SENAPATI, U. Porcelain—Raw Materials, Processing, Phase Evolution, and Mechanical Behavior. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 81, n. 1, p. 3-20, 1998.
- (9) BRAGANÇA, S.R., BERGMANN, C.P. Aspectos Teóricos e Práticos Sobre a Resistência Mecânica de Porcelanas. *Cerâmica*, v. 50, n., p. 145-155, 2004.
- (10) DE NONI JR., A., HOTZA, D., CANTAVELLA, V., VILCHES, E.S. Effect of Quartz Particle Size on the Mechanical Behaviour of Porcelain Tile Subjected to Different Cooling Rates. *J Eur Ceram Soc*, v. 29, n. 6, p. 1039-1046, 2009.
- (11) ECE, O.I., NAKAGAWA, Z.-E. Bending Strength of Porcelains. *Ceramics International*, v. 28, n. 2, p. 131-140, 2002.
- (12) STATHIS, G., EKONOMAKOU, A., STOURNARAS, C.J., FTIKOS, C. Effect of Firing Conditions, Filler Grain Size and Quartz Content on Bending Strength and Physical Properties of Sanitaryware Porcelain. *J Eur Ceram Soc*, v. 24, n. 8, p. 2357-2366, 2004.
- (13) GILABERT, F.A., DAL BÓ, M., CANTAVELLA, V., SÁNCHEZ, E. Fracture Patterns of Quartz Particles in Glass Feldspar Matrix. *Materials Letters*, v. 72, n. 0, p. 148-152, 2012.
- (14) AUSTIN, C.R., SCHOFIELD, H.Z., HALDY, N.L. Alumina in Whiteware. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 29, n. 12, p. 341-354, 1946.
- (15) DE NONI JR., A., HOTZA, D., CANTAVELLA, V., VILCHES, E.S. Influence of Composition on Mechanical Behaviour of Porcelain Tile. Part II: Mechanical Properties and Microscopic Residual Stress. *Materials Science and Engineering: A*, v. 527, n. 7-8, p. 1736-1743, 2010.
- (16) KINGERY, W.D. *Introduction to Ceramics*. New York: Wiley, 1976.
- (17) NAVARRO, J.M.F. *El Vidrio*. Madrid: CSIC, 2003.
- (18) DE NONI JR., A. *Estudo das Propriedades Mecânicas de Porcelanato através da Avaliação de Tensões Residuais Microscópicas e Macroscópicas Originadas Durante a Etapa de Resfriamento do Ciclo de Queima*. 2007. (Doutorado). Departamento de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFSC, Florianópolis/SC.

## **EFFECT OF CRYSTALLINE PARTICLES OF QUARTZ, ALUMINA AND ZIRCON ON THE MECHANICAL STRENGTH, TOUGHNESS AND SIZE OF THE NATURAL DEFECT IN GLASSY MATRIX COMPOSITE**

**Abstract:** *This work studies the effect of adding crystalline particles on mechanical properties of ceramic materials. A dense vitreous matrix, formed from sodium feldspar, was developed. Quartz, alumina and zircon crystal particles were added into the matrix varying the particle size and volumetric fraction. Fracture strength, toughness and the Griffith defect were measured. The results showed that the addition of alumina had no influence on mechanical strength. On the other hand, the addition of quartz and zircon caused a strong reduction on mechanical strength. no toughening mechanism was found with addition of crystal particles. According to the Griffith defect, the pure matrix presented a lowest value when comparison with other materials. In summary, the addition of alumina crystals did not influence the mechanical properties; on the other hand, quartz and zircon addition led to reduction of the mechanical strength and fracture toughness.*

**Key-words:** *Mechanical properties, crystalline particles, vitreous matrix composites.*