

## MODELAGEM DE ELEMENTOS FINITOS E ANALISE ESTRUTURAL DE MATERIAIS DE ZIRCÔNIA E COMPÓSITOS DE ZIRCÔNIA-NTC

Jean Franco Burgos Trillo, jean.burgos@unesp.br<sup>1</sup>

Dr Bruno Agostinho Hernandez, brunofernandez@utfpr.edu.br<sup>1,2</sup>

Dr Vicente Gerlin Neto, gerlin@ifsp.edu.br<sup>3</sup>

Dr Cesar Renato Foschini, cesar.foschini@unesp.br<sup>1</sup>

Dr Edson A. Capello Sousa, edson.capello@unesp.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Simulação em Bioengenharia, Biomecânica e Biomateriais (CS3B), Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil.

<sup>2</sup>Departamento Acadêmico de Mecânica, Campus de Ponta Grossa, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Brasil.

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo em Birigui (IFSP), Brasil.

**Resumo:** Nanotubos de carbono (NTCs) foram adicionados a uma matriz da Zircônia ( $ZrO_2$ ) para melhorar sua resistência mecânica e rigidez e permitir o uso da Zircônia em novas aplicações. Entretanto, as propriedades mecânicas deste novo compósito ainda não são compreendidas completamente. O método de elementos finitos (FEM) tem sido usado para compreender o comportamento mecânico de novos materiais. Portanto, este estudo está focado em desenvolver um modelo de elementos finitos para simular as propriedades mecânicas da Zircônia pura, e da Zircônia com NTCs (0,5%; 1,0% e 2,0% em peso). Amostras foram preparadas e testadas experimentalmente mediante o teste de flexão de três pontos. Modelos de elementos finitos das amostras foram desenvolvidos e o teste experimental das amostras foi reproduzido numericamente. O desempenho do modelo para simular as propriedades mecânica das amostras foi avaliado mediante a comparação como os resultados experimentais. Os modelos tiveram uma boa aproximação com os resultados experimentais, o que indica a capacidade do método de elementos finitos em simular o comportamento mecânico de novos materiais.

**Palavras-chave:** Zircônia, Nanotubos de carbono (NTCs), Materiais Compósitos, Método de Elementos Finitos

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1 Zircônia e Compósitos

A zircônia ( $ZrO_2$ ) tem sido muito usada em aplicações de engenharia na sua forma tetragonal estabilizada (TZP). No entanto, por ser um material cerâmico, pode ser muito frágil para algumas aplicações, como em dispositivos biomecânicos. Apesar de a  $ZrO_2$  se mostrar uma excelente candidata a uma biocerâmica, o seu melhor desempenho se dá quando da realização da transformação de microestrutura T para M, transformação esta que foi descoberta por Garvie, Hannink e Pascoe em 1975. Esta transformação foi chamada de transformação de tenacificação e diversas tentativas de reproduzir ou diversificar esta transformação vem sendo utilizadas, seja na forma de obter a transformação ou encontrando novas maneiras de realizar a tenacificação da zircônia. (Hannink et al., 1999).

Os principais métodos de reforço ou tenacificação da zircônia estão relacionados a adicionar partículas ou elementos que influenciem na tenacidade, dureza, resistência mecânica e vida em fadiga de biocerâmicas de zircônia. [1,2] Entre os métodos estão a adição de agulhas ou fibras de  $Al_2O_3$  e  $TiO_2$  em zircônias dos tipos ZTA e Y-TZP. Um novo método de reforço da zircônia e que vem sendo de muita controvérsia no meio acadêmico é a adição de nanotubos de carbono (NTC) à zircônia. Gallardo-lópez et al. (2016) analisou a influência da adição de 1% em massa de NTC à Y-TZP em diferentes métodos, encontrando uma queda na dureza e aumento na resistência à flexão da biocerâmica com uma maior dispersão de nano tubos nos contornos de grão da Y-TZP.

Vários autores encontraram melhoras tanto na densificação quanto nas propriedades mecânicas da zircônia, como Mazaheri et al. (2011) que encontrou melhora na densificação da zircônia com a adição de nanotubos de carbono em multiparedes (MWNT), resultado encontrado também por Poyato et al. (2016) e Zahedi et al. (2015). Em relação às propriedades mecânicas, melhoras principalmente na resistência mecânica à flexão e na tenacidade à fratura foram encontrados por Mohapatra et al. (2015), Hassan et al. (2017) e Lamnini et al. (2019).

Mesmo com resultados promissores, muita discussão se dá com as reais condições de processamento destes compósitos para que se consiga melhorias nas propriedades mecânicas na zircônia, além de métodos de fabricação de fronteira da ciência, que produzem apenas peças de pequenas dimensões. Mesmo com esses estudos e questionamentos,

o mecanismo de reforço dos NTCs na matriz cerâmica ainda não é totalmente compreendido e a confecção de amostras para ensaiar diferentes condições encontra dificuldades no tempo e custo de processamento para se conseguir realizar avaliações mais precisas sobre o comportamento dos compósitos.

## 1.2 Simulação

Para ter um melhor entendimento do comportamento do compósito de zircônia e nanotubos de carbono foi utilizado o modelo de elementos finitos que tem sido amplamente usado para analisar propriedades mecânicas de novos materiais e estruturas, pois este método pode simular as condições de carregamento e fornecer perfis de distribuição de tensão e deformação. Assim com os resultados dos modelos em elementos finitos foi feito uma comparativa para tentar entender o comportamento dos compósitos.

## 2. OBJETIVO

Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver modelos de elementos finitos para simular o comportamento mecânico de amostras de zircônia pura e de compósitos de matriz cerâmica, com diferentes quantidades de NTCs, e comparar o modelo de elementos finitos com resultados experimentais.

## 3. METODOS

### 3.1 Parte Experimental

Para a realização deste trabalho foi escolhida zircônia 3Y-TZP da fabricante Tosoh® Corporation (Japão) em formato de pó, com tamanho médio de partículas de 40 nm e área superficial específica de 16 m<sup>2</sup>/g. Como reforço, foram escolhidos os nanotubos de carbono multicamadas, obtidos da fabricante Nanoamor (Nanostructured & Amorphous Materials Inc. dos Estados Unidos). Os nanotubos de carbono multicamada (NTC) possuem pureza de 95%, diâmetro externo entre 50 e 100 nm, diâmetro interno entre 5 e 10 nm e comprimento entre 5 e 10 µm sendo obtidos pelo processo de deposição química de vapor catalítica (CVD, em inglês).

Para a produção dos compósitos desejados, três etapas foram realizadas: a mistura dos pós, compactação e sinterização. Foram produzidas 2 composições de compósitos, com 1,00 e 2,00% de NTCs em massa, além de uma condição de zircônia pura para comparação. O processo de mistura se deu com a mistura dos NTCs na Dimetilformamida (DMF) em um béquer com concentração de 1 mg/ml. A mistura DMF-NTC foi agitada por ultrassom em um sonicador (Vicking – modelo 350) com potência de 350 W por uma hora. Após a sonicação, a mistura DMF-NTC foi agitada com uma haste de vidro por 3 minutos para quebrar possíveis camadas aglomeradas de nanotubos, para enfim ser misturada ao pó de zircônia. A mistura do pó de zircônia com a solução DMF-NTC se deu em moinho de bolas, com jarros de Teflon e 500 g de esferas de zircônia de 5 mm de diâmetro, os jarros foram colocados em um moinho de bolas com rotação de 70 rpm por uma hora para finalizar a mistura.

Para a secagem, inicialmente a mistura úmida foi aquecida em um aquecedor de placa quente (Quimis - Q.261.2) com agitação constante por aproximadamente 2 horas a 80 °C para remoção do excesso de solvente. Após a remoção do excesso de solvente, a mistura foi colocada em uma estufa à vácuo (SP Labor – SL 104/12) com temperatura de 85 °C e vácuo de -650 mmHg por 12 horas para a remoção total do solvente.

Com o processo de secagem finalizado, a mistura seca foi retirada da estufa e os aglomerados compósitos foram quebrados com a utilização de almofariz e pistilo. Após a quebra dos aglomerados, o pó compósito foi colocado em uma peneira com malha de 250 µm e agitada mecanicamente em um agitador mecânico (LABORTECHNIK – Thyr2) até que todo o pó passasse pela peneira. Esse pó finalizado foi separado para posterior compactação (uniaxial e isostática) e sinterização (T = 1.350 °C) dos corpos de prova do material compósito para caracterização mecânica.

### 3.2 Caracterização Mecânica

A caracterização dos compósitos se deu por meio de medidas das dimensões (para encontrar a retração linear dos compósitos), da densidade aparente e das propriedades dos compósitos à flexão (resistência à flexão e módulo de elasticidade). Todas caracterizações foram realizadas nas três condições compósitas (0,50 wt%; 1,00 wt% e 2,00 wt%) e também da zircônia pura, para medida de comparação com a cerâmica pura. Após a sinterização dos corpos de prova, foi realizada a medida das dimensões dos corpos de prova com um paquímetro digital Mitutoyo modelo ABSOLUTE AOS para avaliação da retração linear dos corpos após a sinterização, comparando as dimensões dos compósitos à verde e sinterizados.

A densidade foi medida utilizando-se do princípio de Arquimedes, com o meio de imersão utilizado sendo a água destilada à 25 °C e foram retiradas medidas da densidade aparente dos corpos de prova comparando com a densidade da zircônia pura obtida neste trabalho. Para realizar a caracterização da resistência dos corpos de prova e dos compósitos confeccionados neste trabalho a realização de ensaio de flexão em 3 pontos com base na norma ASTM C1161 (2018). A distância entre rolos utilizada foi de 20 mm e a velocidade de 0,2 mm/min, ambas seguindo a recomendação da norma

para corpos com comprimento entre 25 e 44 mm. Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca MTS e modelo Bionix® com célula de carga de capacidade 15 kN e à temperatura ambiente de 23 °C.

Com os ensaios de flexão foram levantadas as propriedades mecânicas de tensão limite de resistência à flexão, ou a tensão de ruptura dos corpos de prova à flexão e o módulo de elasticidade utilizando a inclinação de reta após o ensaio realizado.

### 3.3 Coleta de dados para construção do modelo em elementos finitos

Inicialmente foi coletada as geometrias dos corpos, além dos resultados de tensão, deformação, carregamento e deslocamento dos testes destrutivos ao longo do tempo do ensaio de flexão de três pontos dos corpos de zircônia pura, zircônia com 0.5% de NTCs em massa, zircônia com 1% de NTCs em massa e zircônia com 2% de NTCs em massa.

Posteriormente com essa informação foi feito um tratamento de dados do ensaio do corpo de zircônia ( $ZrO_2$ ) para gerar o gráfico Tensão vs Deformação, apresentado na Fig. (1), e assim, através da equação da linha gerada por estes pontos, obter o módulo de elasticidade (E). A partir da Fig. (1) podemos concluir que o módulo de elasticidade da zircônia pura é 87.642 MPa

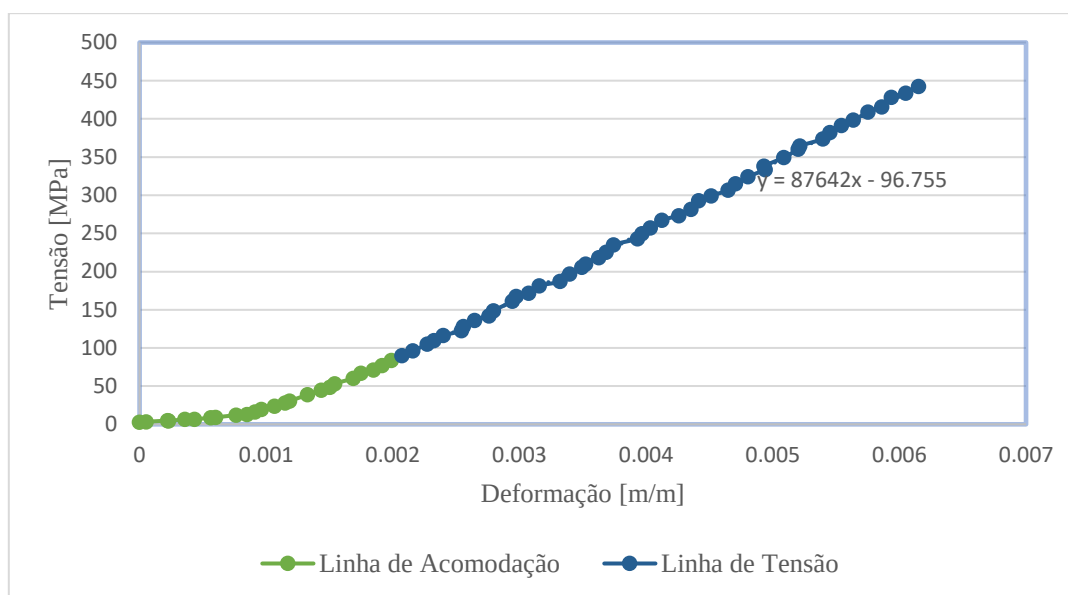


Figura 1. Gráfico de Tensão vs Deformação da Zircônia pura

### 3.4 Geração do Modelo em Elementos Finitos

Após a coleta de dados, foi iniciada a programação do código a ser utilizado no ANSYS Mechanical APDL. A partir da geometria do corpo, módulo de elasticidade e deslocamento máximo do corpo antes da quebra, o primeiro modelo em elementos finitos do corpo de zircônia puro foi criado.

Primeiro foi escolhido como seria gerada a malha do corpo no ensaio e optou-se por escolher um elemento bidimensional, sendo o indicado o elemento Plane183. Os suportes do ensaio experimental de flexão em três pontos foram simulados como dois cilindros em contato com o corpo de ensaio, e a carga foi aplicada na metade do comprimento do corpo de ensaio, como indica a Fig. (2).

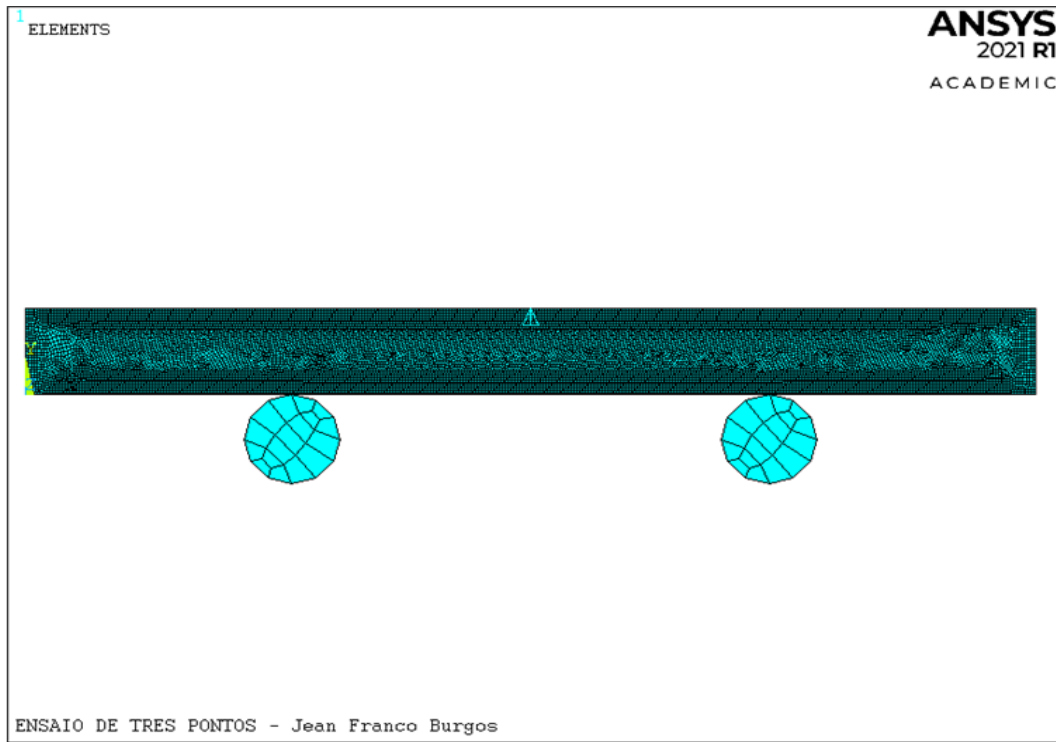
Posteriormente foi gerada a solução em elementos finitos, dividindo o tempo de aplicação da carga em 12 períodos (steps), para assim gerar as propriedades mecânicas do corpo de ensaio em 12 períodos.

#### 3.4.1 Zircônia pura

Para o modelo de zircônia, foi escolhido um único módulo de elasticidade uniforme ao longo de todo o corpo de zircônia, de acordo aos passos anteriores

#### 3.4.2 Compósito de Zircônia e NTC 1,0% em massa

A segunda parte deste estudo foi introduzir o efeito dos nanotubos de carbono (NTC) no modelo de elementos finitos. Para isso, duas abordagens foram propostas.



**Figura 2. Geometria do modelo de elementos finitos.**

Na primeira abordagem, o modelo foi criado usando a geometria do corpo de prova em questão, mas com um módulo de elasticidade sendo a média ponderada do módulo de elasticidade dos nanotubos de carbono (NTCs) e do módulo de elasticidade da zircônia pura obtido no ensaio anterior, como mostrado na Eq. (1):

$$E_{p1} = P\%_z E_z + P\%_n E_n \quad (1)$$

Onde  $E_{p1}$  = módulo de elasticidade ponderado global,  $E_n$  = módulo de elasticidade dos nanotubos,  $E_n$  = módulo de elasticidade da matriz de zircônia,  $P\%_n$  = Porcentagem em peso dos nanotubos,  $P\%_z$  = Porcentagem em peso da matriz de zircônia. O módulo de elasticidade ponderado ( $E_{p1}$ ) foi aplicado a todos os elementos do modelo.

Na segunda abordagem, foi utilizada a mesma geometria, mas com um cálculo do módulo de elasticidade diferente. Para a amostra com 1% de nanotubos, em 99% do número total de elementos do modelo foi atribuído o módulo de elasticidade da zircônia pura; para o 1% restante de elementos foi atribuído o módulo de elasticidade ( $E_p$ ) calculado de acordo a Eq. 2. Foi adotado que cada elemento da malha do 1% restante de elementos do modelo, que representariam os nanotubos, conteria uma única fibra de carbono, e o resto do elemento seria puramente zircônia, baseado nisso foi feito uma média ponderada do módulo de elasticidade, para o elemento, usando o módulo de elasticidade do nanotubo de carbono e módulo de elasticidade da zircônia:

$$E_{p2} = \frac{A_n E_n + A_z E_z}{A_e} \quad (2)$$

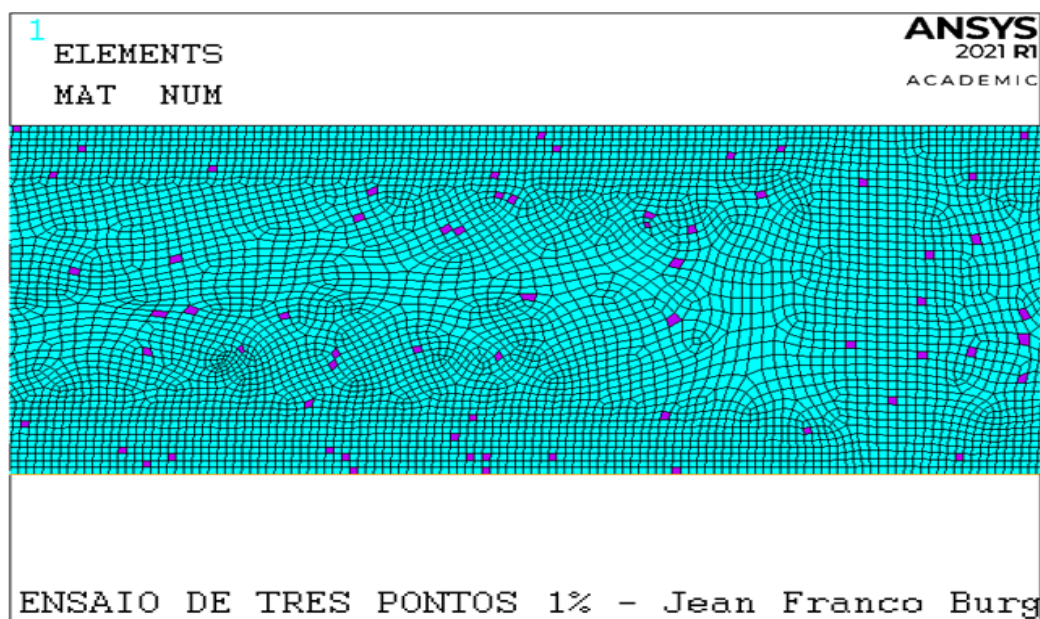
Onde  $E_{p2}$  = módulo ponderado do elemento,  $E_n$  = módulo de elasticidade do nanotubo,  $E_z$  = módulo de elasticidade da zircônia,  $A_n$  = Área do nanotubo dentro do elemento,  $A_z$  = Área da zircônia dentro do elemento,  $A_e$  = Área do elemento. O modelo está mostrado na Fig. (3).

### 3.4.3 Compósito de Zircônia e NTC 0,5% em massa

Depois de validar e otimizar o modelo de Zircônia-NTC (1.0% em peso), as mudanças necessárias e realizadas no programa foram a geometria do corpo, deslocamento e número total de pontos selecionado que usam o módulo de elasticidade ponderado ( $E_p$ ), a fim de que os elementos selecionados representam 0.5% do número total de elementos.

### 3.4.4 Compósito de Zircônia e NTC 2,0% em massa

Depois de validar e otimizar o modelo de Zircônia-NTC (1.0% em peso), as mudanças necessárias e realizadas no programa foram a geometria do corpo, deslocamento e número total de pontos selecionado que usam o módulo de elasticidade ponderado ( $E_p$ ), a fim de que os elementos selecionados representam 2,0% do número total de elementos.



**Figura 3. Elementos na malha do corpo de prova. Aos pontos vermelhos foi atribuído o módulo de elasticidade ponderado, enquanto aos pontos azuis foi atribuído o modulo de eletricidade da zircônia pura.**

#### 4. RESULTADOS

As Figura 4c, 4d, 4e e 4f trazem as curvas de deslocamento vs carga que foram obtidas para cada amostra (Zircônia pura; compósito 0,5% NTCs em peso; compósito 1,0% NTCs em peso; compósito 2,0% NTCs em peso). Modelos de elementos finitos foram criados baseados em cada amostra e o teste experimental foi numericamente reproduzido na Figura 4b. Para o modelo de Zircônia pura, as propriedades do material foram calibradas para corresponder aos dados experimentais. Para o modelo de compósito (1,0% em peso), 99% dos elementos tiveram atribuídas as propriedades da Zircônia pura, de acordo com o modelo previamente calibrado. Para o 1% restante dos elementos foi atribuída uma propriedade ponderada entre Zircônia e NTCs. Para o modelo de compósito (0,5% em peso), 99,5% dos elementos tiveram atribuídas as propriedades da Zircônia pura, de acordo com o modelo previamente calibrado. Para o 0,5% restante dos elementos foi atribuída uma propriedade ponderada entre Zircônia e NTCs. Para o modelo de compósito (2,0% em peso), 98% dos elementos tiveram atribuídas as propriedades da Zircônia pura, de acordo com o modelo previamente calibrado.

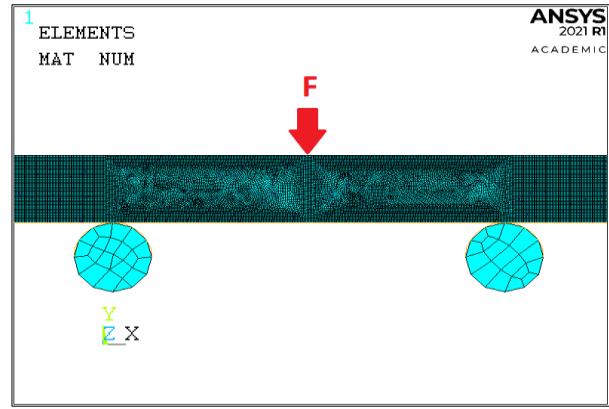
Para o 2% restante dos elementos foi atribuída uma propriedade ponderada entre Zircônia e NTCs. A Figura 4c descreve as curvas de deslocamento vs carga para o teste experimental e a reprodução numérica da Zircônia pura. A Figura 4d descreve as curvas de deslocamento vs carga para o teste experimental e a reprodução numérica do compósito (1,0% em peso). A Figura 4e descreve as curvas de deslocamento vs carga para o teste experimental e a reprodução numérica do compósito (0,5% em peso). A Figura 4f descreve as curvas de deslocamento vs carga para o teste experimental e a reprodução numérica do compósito (2,0% em peso).

A rigidez do material foi calculada a partir da inclinação angular da curva deslocamento vs carga. A rigidez experimental da Zircônia pura foi 7.420 N/mm, 2,81% maior que o respectivo modelo numérico 7 211,2 N/mm. A rigidez experimental do compósito de Zircônia com (1,0% em peso) foi 7.787 N/mm; 2,80% maior que o resultado numérico 7 326,2 N/mm. A rigidez experimental do compósito de Zircônia com (0,5% em peso) foi 6.932 N/mm; 10,05% menor que o resultado numérico 7.707 N/mm. A rigidez experimental do compósito de Zircônia com (2,0% em peso) foi 5.233 N/mm; 30,96% menor que o resultado numérico 7.580 N/mm.

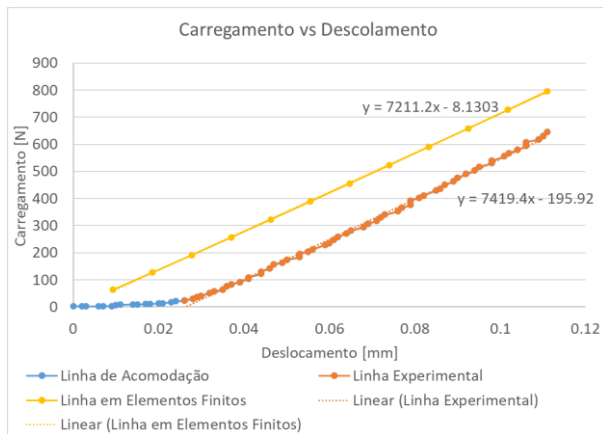
Os resultados obtidos demonstram que, as propriedades mecânicas da zircônia foram alteradas pela presença dos NTCs, que têm influência principalmente na rigidez do material, com o material compósito obtendo uma rigidez ligeiramente menor do que a zircônia pura. A queda na rigidez também foi maior quanto maior a quantidade de NTCs na matriz cerâmica, novamente confirmando a influência dos nanotubos.



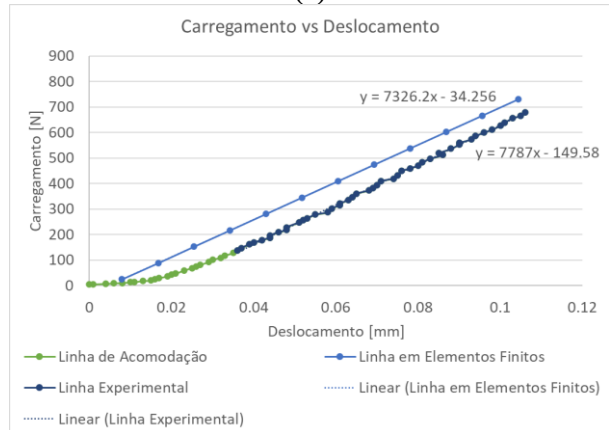
(a)



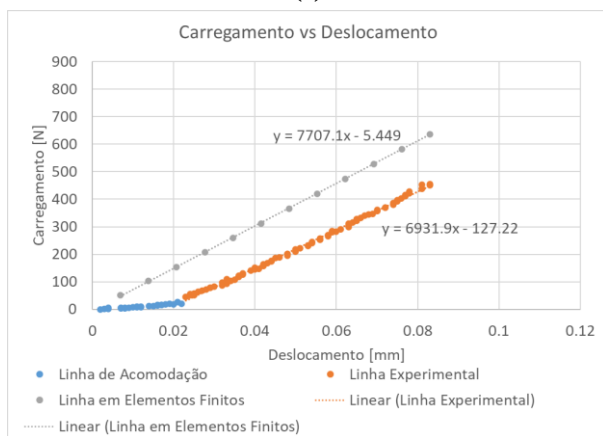
(b)



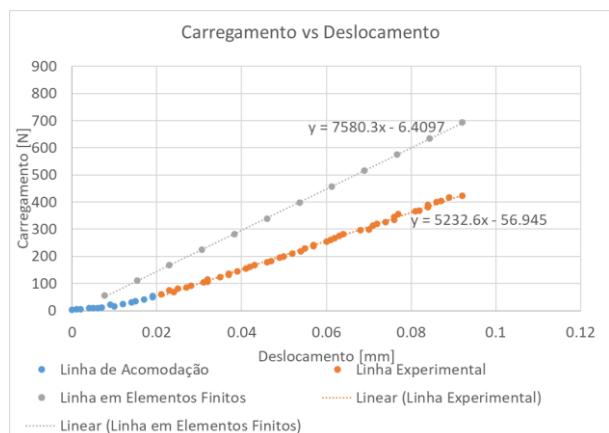
(c)



(d)



(e)



(f)

**Figura 4. (a) Configuração do teste experimental, (b) Modelo numérico, comparação numérica do Deslocamento vs Carga da amostra (c) de zircônia pura, (d) de Zircônia-NTC (1% em peso), (e) de Zircônia-NTC (0,5% em peso) e (f) de Zircônia-NTC (2% em peso).**

## 5. CONCLUSÃO

Baseado nos resultados, podemos concluir que NTCs têm uma influência direta nas propriedades mecânicas da zircônia, pois diminuem a rigidez do material. O método de elementos finitos também mostrou ser uma ferramenta precisa simulando as propriedades mecânicas da cerâmica e do compósito no teste de flexão, comprovando que modelos numéricos podem ser usados para explorar as propriedades mecânicas sem necessidade de vários testes, agilizando o processo de análise no desenvolvimento de novos materiais.

Para o compósito de Zircônia com (2,0% em peso) o erro apresentado foi de mais de 30%, isto pode ser devido a que para porcentagens maiores a 1,0% em peso de nanotubos, o compósito começa a apresentar concentrações de nanotubos, que causa concentradores de tensão, em um efeito similar ao causado pelos contornos de grão. Mas este não é o único problema, devido a que foi feito um único teste experimental para 2% ainda falta verificar se o teste foi preciso, para isto seria necessária a realização de mais testes experimentais.



## 6. REFERÊNCIAS

- A. Gallardo-López, A. Morales-Rodríguez, J. Vega-Padillo, R. Poyato, A. Muñoz, A. Domínguez-Rodríguez. Enhanced carbon nanotube dispersion in 3YTZP/SWNTs composites and its effect on room temperature mechanical and electrical properties. *Journal of Alloys and Compounds*, [s.l.], v. 682, p.70-79, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.04.262>.
- A.M. Zahedi, J. Gonzalez-Julian, M. Mazaheri, J. Javadpour, H.R. Rezaie, O. Guillon. Field-assisted/spark plasma sintering behavior of NTC-reinforced zirconia composites: A comparative study between model and experiments. *Journal of The European Ceramic Society*, [s.l.], v. 35, n. 15, p.4241-4249, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2015.07.030>.
- ASTM C1161 – 18: Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature. West Conshohocken: Astm International, 2018. 19 p.
- Duszová, Annamária; Dusza, Ján; Tomálek, Karol; Blugan, Gurdial; Kuebler, Jakob. Microstructure and properties of carbon nanotube/zirconia composite. *Journal Of The European Ceramic Society*, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 1023-1027, jan. 2008. Elsevier BV.
- Hannink, Richard H. J.; Kelly, Patrick M.; Muddle, Barry C.. Transformation Toughening in Zirconia-Containing Ceramics. *Journal of The American Ceramic Society*, S.l., v. 3, n. 83, p.461-467, dez. 1999.
- Kasperski, A.; Weibel, A.; Alkattan, D.; Estournès, C.; Laurent, Ch.; Peigney, A.. Double-walled carbon nanotube/zirconia composites: preparation by spark plasma sintering, electrical conductivity and mechanical properties. *Ceramics International*, [S.L.], v. 41, n. 10, p. 13731-13738, dez. 2015. Elsevier BV.
- Lamnini, Soukaina; Balázs, Csaba; Balázs, Katalin. Wear mechanism of spark plasma sintered MWNTCs reinforced zirconia composites under dry sliding conditions. *Wear*, [s.l.], v. 430-431, p.280-289, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2019.05.020>.
- Mehdi Mazaheri, Daniele Mari, Robert Schaller, Guillaume Bonnefont, Gilbert Fantozzi. Processing of yttria stabilized zirconia reinforced with multi-walled carbon nanotubes with attractive mechanical properties. *Journal of The European Ceramic Society*, [s.l.], v. 31, n. 14, p.2691-2698, nov. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.11.009>.
- Mohapatra, P., Rawat, S., Mahato, N., Balani, K.. Restriction of Phase Transformation in Carbon Nanotube-Reinforced Yttria-Stabilized Zirconia. *Metallurgical and Materials Transactions A*, [s.l.], v. 46, n. 7, p.2965-2974, 21 abr. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11661-015-2897-1>.
- R. Poyato, A. Morales-Rodríguez, F. Gutiérrez-Mora, A. Muñoz, Á. Gallardo-López. Effect of acid-treatment and colloidal-processing conditions on the room temperature mechanical and electrical properties of 3YTZP/MWNT ceramic nanocomposites. *Ceramics International*, [s.l.], v. 43, n. 18, p.16560-16568, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.09.043>.
- Rubia Hassan, Ambreen Nisar, S. Ariharan, Fahad Alam, Anil Kumar, Kantesh Balani. Multi-functionality of carbon nanotubes reinforced 3 mol% yttria stabilized zirconia structural biocomposites. *Materials Science and Engineering: A*, [s.l.], v. 704, p.329-343, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2017.08.039>.
- Sun, Jing; Gao, Lian; Iwasa, Mikio; Nakayama, Tadachika; Niihara, Koichi. Failure investigation of carbon nanotube/3Y-TZP nanocomposites. *Ceramics International*, v. 31, n.8, p.1131-1134, jan.2005.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Declaro que “Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho”

## FINITE ELEMENT MODELLING AND STRUCTURAL ANALYSIS OF ZIRCONIA AND ZIRCONIA-NTC COMPOSITE MATERIALS

**Jean Franco Burgos Trillo, jean.burgos@unesp.br<sup>1</sup>**

**Dr Bruno Agostinho Hernandez, brunohernandez@utfpr.edu.br<sup>1,2</sup>**

**Dr Vicente Gerlin Neto, gerlin@ifsp.edu.br<sup>3</sup>**

**Dr Cesar Renato Foschini, cesar.foschini@unesp.br<sup>1</sup>**

**Dr Edson A. Capello Sousa, edson.capello@unesp.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Centre for Simulation in Bioengineering, Biomechanics and Biomaterials (CS3B), Department of Mechanical Engineering, Engineering College of Bauru, São Paulo State University (UNESP), Brazil.

<sup>2</sup>Academic Department of Mechanics, Campus of Ponta Grossa, Federal and Technological University of Paraná (UTFPR), Brazil.

<sup>3</sup>Federal Institute for Education, Science and Technology of São Paulo at Birigui (IFSP), Brazil.

**Abstract.** Carbon Nanotubes (CNTs) were added into a ceramic matrix of Zirconia (ZrO<sub>2</sub>) to improve the ceramic strength and stiffness, and to allow the use of Zirconia in new applications. However, the mechanical behaviour of this new composite material is not well understood. The finite element (FE) method has been widely used to understand the mechanical behaviour of new materials. Therefore, this study aimed to develop finite element models to simulate the mechanical behaviour of pure zirconia and zirconia composites with different quantities of CNTs. Pure Zirconia and mixed Zirconia with CNTs (1.0% in weight) samples were prepared and experimentally tested via a three-point bending test. Finite element models of the samples were developed and the experimental test was numerically reproduced. The model's performance to simulate the samples' mechanical behaviour was evaluated through comparison with experimental results.

**Keywords:** Zirconia, Carbon Nanotubes (CNTs), Finite Element Method.