

## ANÁLISE DE TENSÕES DE UMA MATRIZ DE COMPACTAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Victor Antunes Silva Barbosa, victor\_antunes07@hotmail.com<sup>1</sup>

Olimpio Baldoíno Costa Vargens Neto, olimpiovargens@gmail.com<sup>1</sup>

Ana Claudia Rangel da Conceição, arangel-ma@hotmail.com<sup>1</sup>

Ivo Ferreira da Silva, ivosilva006@hotmail.com<sup>1</sup>

Mirtânia Antunes Leão, mirtanialeao@gmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Salvador, Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, Bahia, Brasil.

**Resumo:** A indústria cerâmica do Brasil tem uma grande representatividade no mercado, sendo o segundo maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos. Muitos estudos são feitos com a incorporação de resíduos na massa cerâmica, com o objetivo de aproveitamento de recursos naturais rejeitados em processos produtivos para produção de cerâmicas de qualidade e com menor custo. Estes estudos demandam equipamentos para aferir e garantir a qualidade dessas cerâmicas, tanto para as etapas de produção, como a prensagem e sinterização, como para a parte de caracterização do material. Uma matriz de compactação de pós é o principal equipamento da operação de prensagem, que dá resistência mecânica a verde e é responsável pelo sucesso na queima da cerâmica, devido à redução da porosidade do material. Este artigo tem como objetivo mostrar a análise das tensões geradas na matriz durante a operação de compactação do pó cerâmico, a fim de determinar a resistência do aço SAE 4140 durante a conformação do pó. A análise foi feita a partir do método dos elementos finitos, sendo analisadas as tensões de Von Mises, a deformação equivalente e o fator segurança de cada componente da matriz.

**Palavras-chave:** matriz, prensagem, compactação de pós, cerâmica, elementos finitos.

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria da cerâmica no Brasil possui grande representatividade na economia, com participação no PIB de aproximadamente 1%. Segundo a ANFACER (2017), o Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição em produção e consumo.

A maioria das empresas se baseia nos custos de produção para se tornarem competitivas no mercado internacional. Como medidas para aumento de competitividade, o setor empresarial vem tomando iniciativas para aprimoramento tecnológico e competitivo, como a adesão em programas de qualidade, implantação de laboratórios de caracterização tecnológica de matérias-primas e produtos, qualificação de mão de obra, desenvolvimento do uso de novos combustíveis, em especial do gás natural, estudos de incorporação de resíduos na massa cerâmica e diversificação da produção (Cabral Junior *et al*, 2006).

O desenvolvimento de estudos voltados à reciclagem e/ou reutilização na indústria cerâmica, representa uma alternativa capaz de contribuir para o uso de matérias-primas alternativas e diminuir os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o meio ambiente (Morini *et al*, 2016).

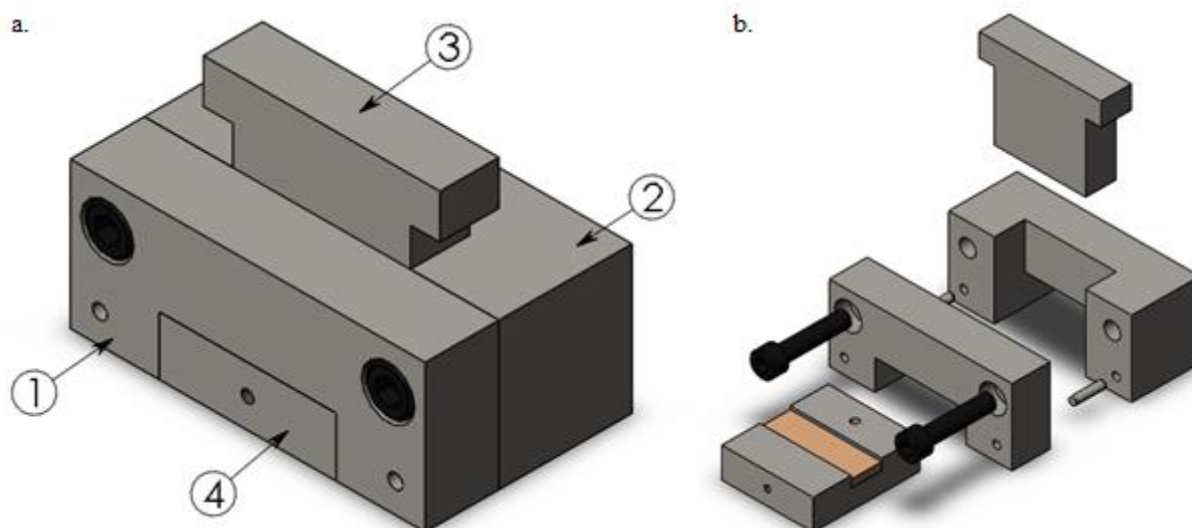
Em meios acadêmicos, muitos estudos são feitos com a incorporação de resíduos de diversas indústrias, com o objetivo de aproveitamento de recursos naturais rejeitados em processos produtivos para produção de cerâmicas de qualidade e com menor custo. Estes estudos demandam equipamentos para aferir e garantir a qualidade dessas cerâmicas, tanto para as etapas de produção, como a prensagem e sinterização, como para a parte de caracterização do material.

O presente trabalho trata da análise de tensões em uma matriz de compactação de pós cerâmicos durante a fase de desenvolvimento da matriz. A análise foi feita pelo método dos elementos finitos, onde foram analisados a tensão de Von Mises, a deformação equivalente e o fator de segurança relacionados aos componentes da matriz, durante a compactação de pós cerâmicos.

## 2. METODOLOGIA

A matriz de compactação, objeto da análise, mostrado na Fig. 1, foi projetada em aço SAE 4140 tratado termicamente por têmpera e revenimento, devido à necessidade de um material com alta dureza, que seja capaz de resistir à abrasão entre o pó cerâmico e a matriz. No estado temperado, o aço SAE 4140 possui dureza de até 560 HB (GERDAU, 2017).

A matriz de compactação é formada por quatro partes, como mostrado na Fig. 1a. As peças 1 e 2 formam a estrutura principal da matriz, que é a responsável por guiar o punção e receber parte da carga exercida pelos pós durante a compressão. Essa estrutura é fixada por dois parafusos M10x1,5 e possui dois furos guias de 5 mm de diâmetro, responsáveis pelo encaixe dos componentes na posição correta. A peça 3 é o punção, que receberá a carga da prensa, transferindo para o pó e compactando-o durante a operação. A última peça é a gaveta, representada pelo número 4, onde o pó será depositado e posteriormente compactado. A Fig. 1b mostra a vista explodida.



**Figura 1. Matriz de compactação. (a) Estrutura principal da matriz; (b) Estrutura explodida da matriz.**

A análise pelo método dos elementos finitos foi feita para verificar as tensões envolvidas durante a operação de prensagem, e se os componentes suportam as solicitações mecânicas. Inicialmente foi feita uma análise da gaveta e da peça 2, sendo estes os componentes que irão suportar as solicitações mecânicas durante a compactação do pó, devido à carga exercida pelo punção. Posteriormente, foi analisado o punção, pois este recebe diretamente a carga da prensa. A análise foi feita a partir do conjunto das peças, com a carga sendo aplicada em um material genérico que simulou o pó durante o procedimento de prensagem.

O material selecionado para a matriz foi aço SAE 4140 considerando um limite de escoamento de 1000 MPa, aplicando um fator de segurança para o material um terço da tensão de escoamento, de 1641 MPa (GERDAU, 2017). O aço SAE 4140 possui temperabilidade relativamente elevada e dureza na condição temperada que varia de 54 a 59 HRC, e possui usinabilidade razoável. Esse fator foi considerado devido a possíveis defeitos que podem existir no material utilizado para a fabricação da matriz. A carga considerada foi de 6 toneladas, sendo esta aplicada normal ao material (pó). A malha foi gerada automaticamente pelo software de análise, *Simulation* do *SolidWorks*, e foram utilizados elementos sólidos tetragonais, para um melhor resultado da tensão no conjunto. Foram avaliadas a tensão de Von Mises, a deformação equivalente e o fator de segurança de cada parte da matriz.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise na gaveta é mostrada nas Fig. 2 e 3, onde na Fig. 2 estão as tensões geradas pela análise em cada nó e na Fig. 3 está presente o resultado referente à deformação equivalente em cada elemento.

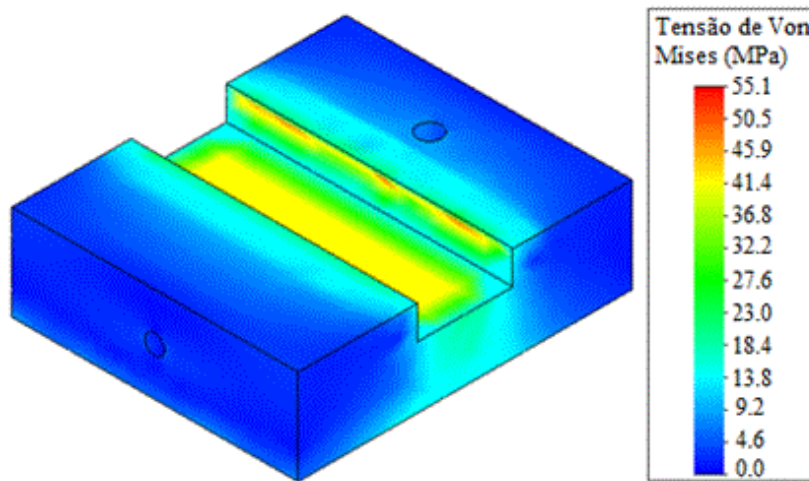


Figura 2. Resultado da tensão de Von Mises pelo MEF na gaveta.

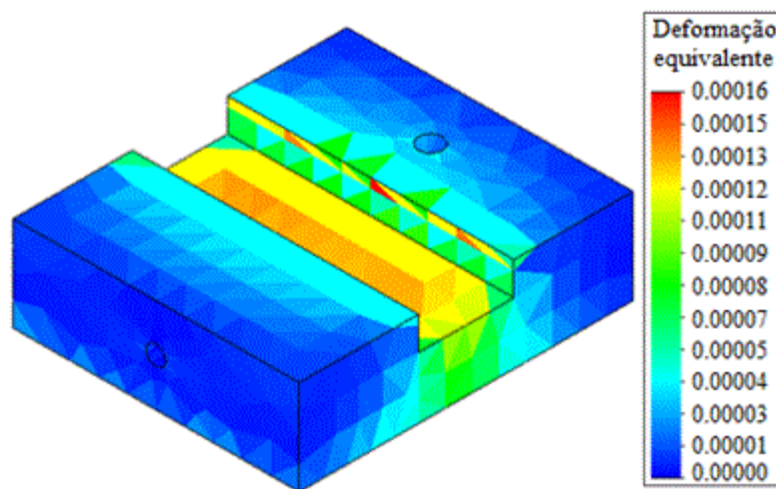


Figura 3. Resultado da deformação equivalente pelo MEF na gaveta.

Pelo resultado obtido, verifica-se que a gaveta da matriz suporta as cargas envolvidas durante a operação de prensagem. A tensão de Von Mises máxima encontrada foi de 55,1 MPa em locais concentrados e a deformação equivalente foi 0,016%. Ao relacionar com o material, foi calculado um fator de segurança mínimo de 19.

Posteriormente, foi analisada a peça 2, que juntamente com a gaveta, suporta a pressão gerada pelo pó durante a compactação. A Fig. 4 mostra o resultado da tensão de Von Mises, enquanto que a Fig. 5 mostra o resultado para a deformação equivalente.

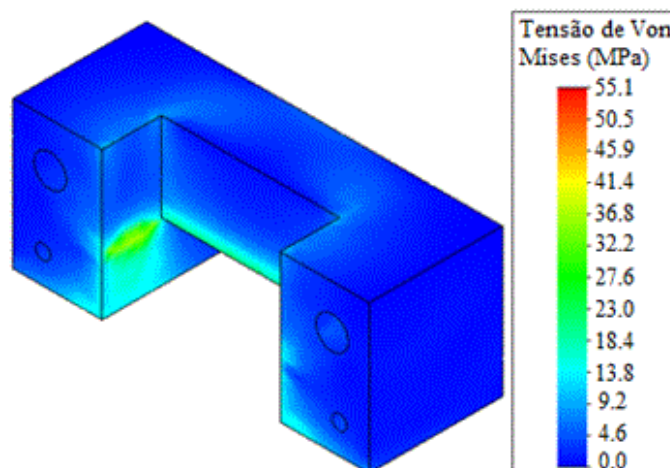
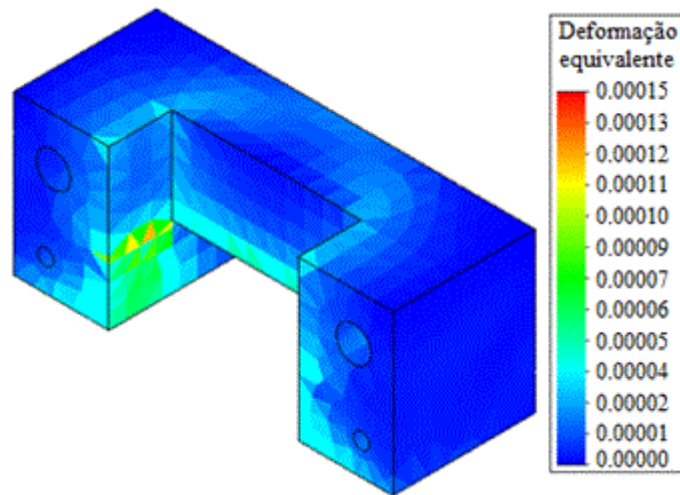


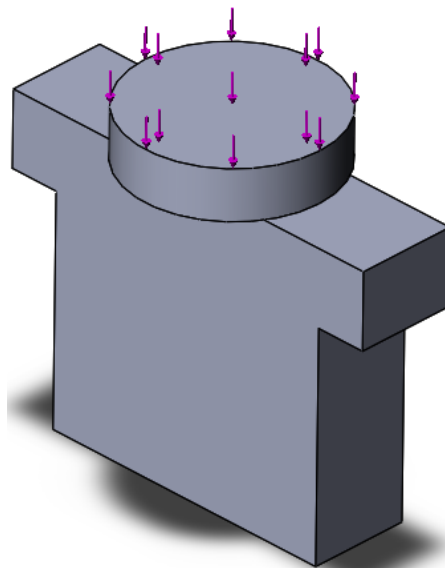
Figura 4. Resultado da tensão de Von Mises pelo MEF na peça 2.



**Figura 5. Resultado da deformação equivalente pelo MEF na peça 2.**

Na peça 2, nota-se na lateral uma região com tensão mais elevada, sinalizada em verde. Essa tensão é causada pela compactação do pó, e varia de 36,8 MPa, na região verde, até 13,8 MPa, na região azul. Na parte central verifica-se uma região de tensão, que ocorre devido à deformação da gaveta abaixo daquela região, como já mostrado na Fig. 3. Quanto à deformação equivalente, verifica-se uma deformação máxima de 0,015% nas laterais da peça, devido à compactação do pó. Vale ressaltar também a pequena deformação na parte central, em 0,004%, fato que não é prejudicial à peça 2. Em relação ao fator de segurança, foi calculado um fator de segurança mínimo de 23, o que garante a confiabilidade do material.

A última análise realizada foi a do punção, que transfere a carga da prensa para o pó a ser compactado. Para esta análise, foi considerada uma região circular, representada no software por um cilindro de 60 mm de diâmetro que representa a região da prensa que aplica a força no punção, como mostrado na Fig. 6. Esse cilindro, para efeitos de análise, foi considerado como um corpo rígido, ou seja, um objeto indeformável, transmitindo assim toda a carga ao punção.



**Figura 6. Representação da análise do punção, mostrando a região onde foi aplicada a carga.**

Nas Fig. 7 e 8, respectivamente estão os resultados das tensões de Von Mises geradas no punção e o resultado da deformação específica devido à carga aplicada no punção.

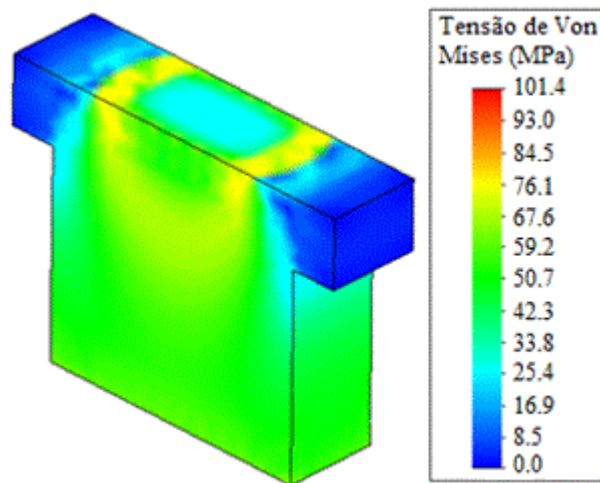


Figura 7. Resultado da tensão de Von Mises aplicado ao punção utilizando o MEF.

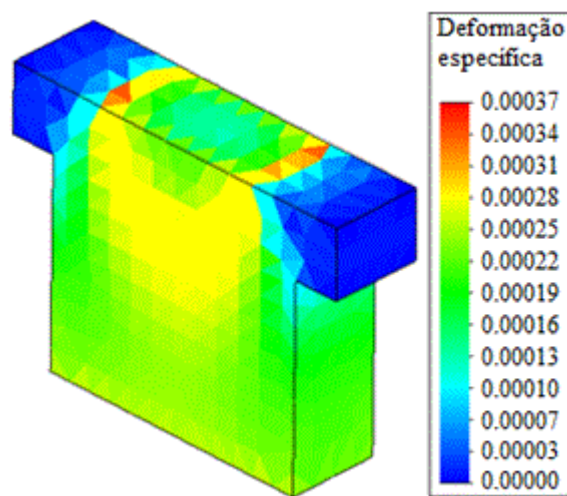


Figura 8. Resultado da deformação equivalente pelo MEF no punção.

Segundo a análise da punção, verifica-se uma tensão máxima de 101,4 MPa, exatamente na região de contato com o objeto de aplicação da força, variando até uma tensão de 76,2 MPa. Nota-se uma distribuição da carga na região abaixo do local de aplicação da carga, chegando a uma tensão de 50,7 MPa. O coeficiente de segurança estimado para o punção foi de 9,9. Quanto à deformação equivalente, verifica-se no mesmo ponto onde houve a tensão máxima, a deformação máxima do corpo, de 0,037%, variando até 0,028% na região de aplicação da força. Na parte inferior do corpo, a deformação varia de 0,028% até 0,016%.

#### 4. CONCLUSÃO

Devido às altas cargas envolvidas durante esse processo, é necessário que o material da matriz possua elevada resistência mecânica e alta dureza para evitar a deformação do material bem como, resistência à abrasão, para que não ocorra desgaste do material devido ao atrito com o pó cerâmico. Após as análises dos componentes da matriz pelo método dos elementos finitos (MEF), verifica-se a eficiência do aço SAE 4140 para esta matriz, pois suporta as cargas no material, gerando altos valores de coeficiente de segurança.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ANFACER, Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/brasil>> Acesso em: Dezembro de 2017.
- Cabral Junior, M., Monte, E. D., Motta, J. F. M., Sintoni, A., Suslick, S., 2006, “Arranjos produtivos minero-cerâmicos e o desenvolvimento econômico: caso do APL de Socorro – SP”, Cerâmica Industrial, v. 11, p. 24-29.
- Gerdau, “Manual de Aços Especiais”, Disponível em: <https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/catalogos-e-manuais>. Acesso em: Dezembro de 2017

Morini, A. A., Oliveira, K. A. de, Pereira, F. R., Hotza, D, 2016, “Avaliação da Potencialidade do Uso de Resíduos Industriais Através de Ferramenta de Seleção de Materiais para Projeto de Produtos Cerâmicos”, Cerâmica Industrial, v. 21, p. 36-44.

## STRESS ANALYSIS OF A COMPACTION MATRIX FOR CERAMIC POWDER BY FINITE ELEMENT METHOD

Victor Antunes Silva Barbosa, victor\_antunes07@hotmail.com<sup>1</sup>

Ivo Ferreira da Silva, ivosilva006@hotmail.com<sup>1</sup>

Mirtânia Antunes Leão, mirtanialeao@gmail.com<sup>1</sup>

Olímpio Baldoíno Costa Vargens Neto, olimpiovargens@gmail.com<sup>1</sup>

Ana Claudia Rangel da Conceição, arangel-ma@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia – Salvador Campus, Emídio dos Santos Street, Barbalho, Salvador, Bahia, Brazil.

**Abstract.** *The ceramic industry in Brazil has a large market share, being the second largest producer and consumer of ceramic tiles. Many studies are done with the incorporation of residues in the ceramic mass with the objective of taking advantage of rejected natural resources in productive processes for the production of quality ceramics and with lower cost. These studies require equipment to gauge and guarantee the quality of these ceramics, both for the production stages, as well as the pressing, sintering and for characterization part of the material. A powder compacting matrix is the main equipment of the pressing operation, which gives mechanical strength and is responsible for the success in the ceramic sintering due to the porosity reduction of the material. This article aims to show the analysis of the stresses generated in the matrix during the compacting operation of the ceramic powder, in order to determine the strength of the SAE 4140 steel during compaction. The analysis was made with the finite element method, and the Von Mises stresses, the equivalent strain and the safety factor of each component of the matrix were analyzed.*

**Keywords:** *matrix, compaction, powders compaction, ceramics, finite elements.*