



AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO ATRAVÉS DE CORRELAÇÃO DIGITAL POR IMAGEM DE ESTRUTURAS ARQUITETADAS DE MARAGING E Ti6Al4V PRODUZIDAS POR PBF

Palavras-Chave: MANUFATURA ADITIVA, ESTRUTURA ARQUITETADA, MARAGING, Ti6Al4V, DIC, CORRELAÇÃO DIGITAL POR IMAGEM.

Autores(as):

JOÃO PEDRO GASPAR DA SILVA, FEM – UNICAMP

Prof. Dr. ÉDER SÓCRATES NAJAR LOPES, FEM – UNICAMP

MSc. ANDRÉ HENRIQUE GUIMARÃES GABRIEL, FEM – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A manufatura aditiva, termo criado para nomear o que até então era conhecido como impressão 3D, representa uma das mais inovadoras abordagens na fabricação de componentes complexos, permitindo a produção de estruturas com precisão e eficiência. O processo consiste em produzir peças a partir de um modelo 3D utilizando um método de deposição de material de camada sobre camada.

Um dos principais métodos utilizados dentro da manufatura aditiva consiste na fusão por leito de pó (*Power Bed Fusion - PBF*), onde ocorre a deposição de camadas do material em pó e um laser faz a fusão seletiva da camada. Já em relação à geometria, estruturas arquitetadas são definidas por células tridimensionais interconectadas e dispostas visando ter elevada rigidez e baixa densidade (NONG et al., 2023), sendo muito utilizado por exemplo na biomedicina para produção de próteses (LIU; CHU; DING, 2004).

Ligas de titânio como Ti6Al4V, já são utilizadas em larga escala em diversos setores como biomedicina, aeronáutica e aeroespacial (LIU; CHU; DING, 2004). Tendo em vista o preço do titânio, surge uma necessidade de encontrar um material substituto que possa atender à mesma demanda com um custo benefício melhor. Como forte concorrente tem-se o aço maraging, que apresenta grande resistência mecânica, sendo melhor que grande parte dos aços convencionais (MEI, SILVA, 1998).

Uma metodologia de estudo que permite o comparativo entre os materiais é a análise de correlação digital por imagem (*DIC*) em ensaios de compressão. Nessa análise ocorre a gravação frame a frame do ensaio e, através de um software que utiliza uma matemática computacional que permite analisar o deslocamento dos pontos da estrutura, permitindo a comparação com os dados da máquina de ensaio (BARRETO JÚNIOR, E., 2008).

METODOLOGIA:

A metodologia utilizada consistiu na produção de corpos de prova de estruturas em geometrias definidas de aço maraging e Ti6Al4V com diferentes tratamentos térmicos, realização de um ensaio de compressão gravado através de uma tecnologia especial de captura de imagens (DIC) e tratados os dados através dos softwares.

Num primeiro momento produziu-se alguns corpos de prova com algumas geometrias definidas para ambos os materiais para se estudar o comportamento dos materiais nos ensaios de compressão, no software *DIC* e permitir o comparativo.

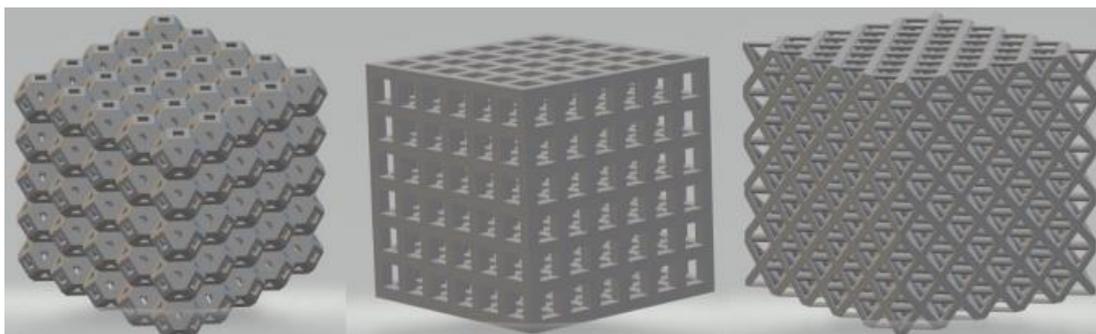
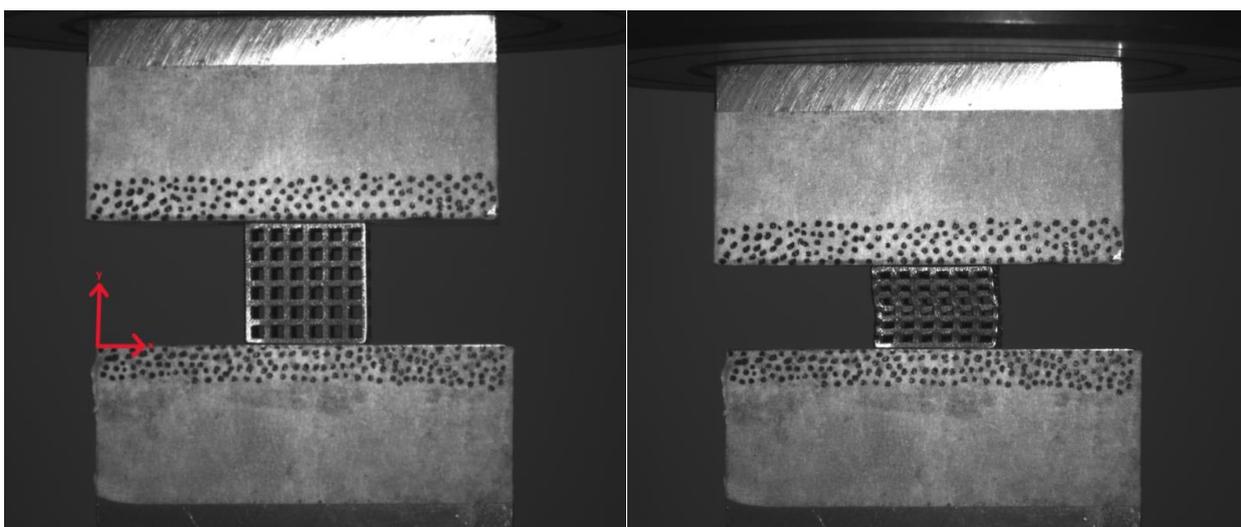


FIGURA 1. Geometrias produzidas. a) estrutura OCTA; b) estrutura CUBE; c) estrutura TETRA.

Foram produzidos os desenhos das estruturas conforme figura 1, tendo sido produzido três amostras de cada tipo para análise. Tendo os corpos de prova em mãos, foi realizado os tratamentos térmicos das amostras, onde cada tipo de material exigia certas condições para realização do envelhecimento. Com as amostras em mãos, realizou-se o ensaio de compressão onde um dos ensaios de cada material foi feito utilizando a tecnologia do *DIC*. Como exemplo, as figuras 2 e 3 representam o início e o fim de um ensaio de compressão de uma amostra de aço maraging de geometria cúbica.



FIGURAS 2 e 3: Início e fim do ensaio de compressão.

Tendo em mãos os resultados da máquina de ensaio, com força e deslocamento, foi verificado na metodologia formas de análise para estruturas arquitetadas, tendo em vista que sua geometria impede de realizar uma simples análise de tensão vs deformação devido à área não ser convencional.

Encontrou-se então uma forma aproximada na literatura, onde a tensão seria a força aplicada dividida pela seção nominal da superfície (15mm x 15mm) e a deformação real seria o deslocamento da máquina de ensaio dividido pelo comprimento inicial na direção vertical (15mm).

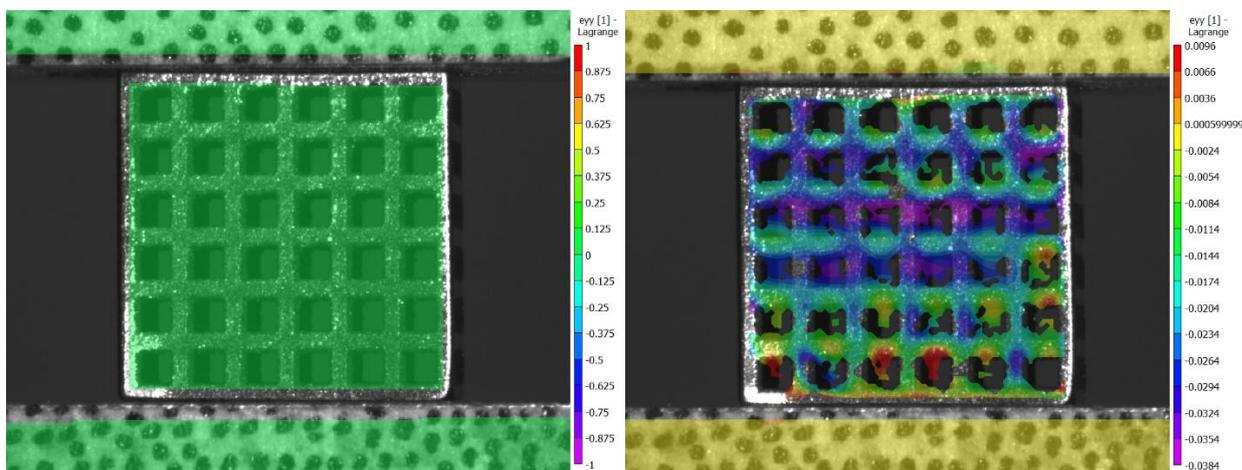
Já na análise por DIC, utilizou-se o software *Vic 2-D*, onde definiu-se parâmetros como a malha e os passos a serem utilizados para iniciar a análise em cada um dos ensaios. Obteve-se o deslocamento em y dos pontos da amostra e um gráfico que indicando o deslocamento de até 3 pontos diferentes da amostra.

Então, com essas informações em mãos, como resultado tem-se os seguintes pontos:

- Análise do deslocamento de 3 pontos da amostra através de gráficos e;
- Análise da região de falha em cada amostra (quando perceptível em 2D).

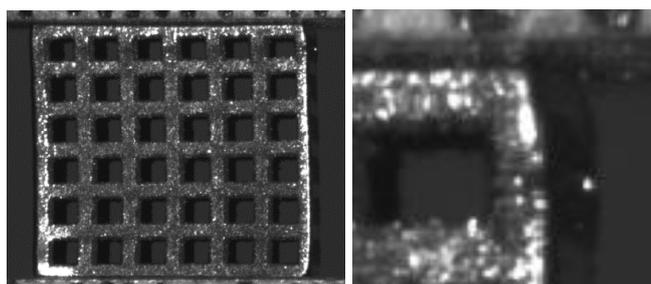
RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para análise por DIC, pode-se observar na figura 4 a forma como o software capta a estrutura e localiza os pontos antes de passar para as próximas fotos do ensaio de compressão. Já na figura 5, pode-se observar como ficou o deslocamento dos pontos à aproximadamente 9% de deformação real.



FIGURAS 4 e 5: Malha identificada pelo software no início e durante o ensaio.

Como resultado das análises do DIC foi possível acompanhar pontos de falha catastróficas (quando observáveis a olho nu no plano 2D), como por exemplo na estrutura AB CUBE nas figuras 6 e 7.



FIGURAS 6 e 7: Ponto de falha da estrutura AB CUBE.

Tendo as análises realizadas, é possível definir um ponto na estrutura e analisar o deslocamento dele ao longo do ensaio, como pode ser observado na figura 8, que apresenta o deslocamento do ponto do meio da estrutura AB OCTA:

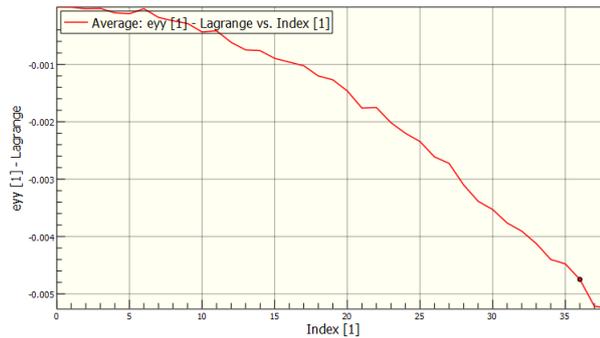


FIGURA 8: Deslocamento do ponto central de estrutura AB OCTA.

A figura 9 apresenta a capacidade do software de rastrear a malha e capturar os deslocamentos de cada um dos pontos. Um ponto interessante foi que na região de falha o software deixou de identificar alguns pontos mais próximos do momento da falha.

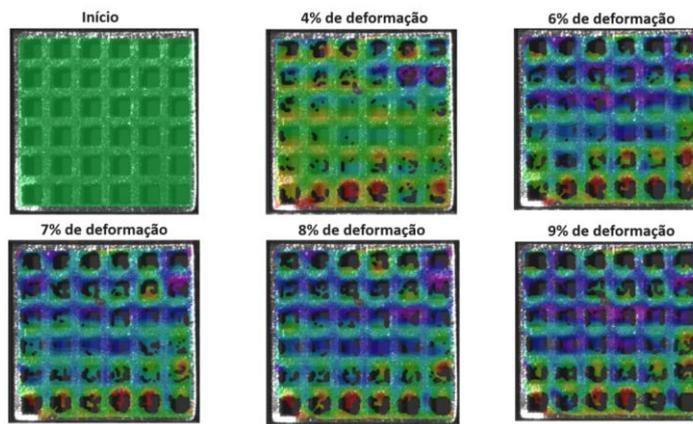


FIGURA 9: Análise por DIC da estrutura AB CUBE.

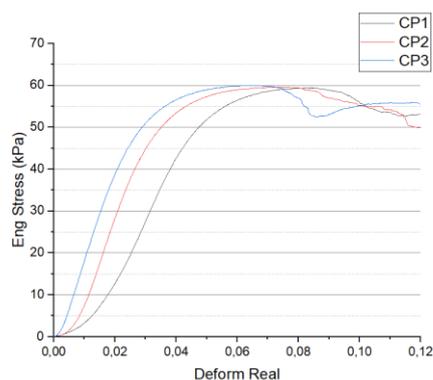


FIGURA 10: Curvas características dos corpos de prova da estrutura OCTA AB de aço maraging.

Ademais, com os dados da máquina de ensaio, foi possível realizar uma aproximação das curvas características de tensão x deformação dos corpos de prova, permitindo identificar o comportamento de cada combinação de material e geometria, como por exemplo na figura 10.

CONCLUSÕES:

A pesquisa realizada sobre a avaliação do comportamento mecânico de estruturas arquitetadas de maraging e Ti6Al4V produzidas por PBF utilizando a técnica de correlação digital por imagem (DIC) trouxe à tona alguns pontos cruciais sobre a utilização e adequação dos ensaios ao se utilizar tal tecnologia de análise.,

Primeiramente, a utilização do DIC permitiu uma análise detalhada e precisa dos deslocamentos dos pontos e das falhas nas estruturas arquitetadas, tendo se mostrado extremamente eficaz na captação dos deslocamentos em múltiplos pontos da amostra, fornecendo uma visão abrangente e clara da distribuição das tensões e das regiões críticas.

Além disso, um ponto importante observado foi a capacidade do DIC em identificar e monitorar a evolução das falhas em tempo real. A análise de uma amostra específica, como a estrutura AB CUBE, permitiu acompanhar o comportamento do material até aproximadamente 9% de deformação real.

BIBLIOGRAFIA

BARRETO JÚNIOR, E. **Utilização do Método de Correlação de Imagens na Caracterização de Materiais Metálicos e Poliméricos**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2008.

Liu, X.; Chu, P. K.; Ding, C. **Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications**. Materials Science & Engineering: R: Reports, 2004.

NONG, X.D. et al. **A novel low-cost ultra-strong maraging steel by additive manufacturing**. Materials Science & Engineering: A, 2023.

SILVA, A. L. C.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. 2. ed. São Paulo: Pannon Gráfica, 1988