

# COMPORTAMENTO MECÂNICO POR ENSAIO DE IMPACTO DE ESTRUTURAS ARQUITETADAS MANUFATURADAS POR IMPRESSÃO 3D

Palavras-Chave: MANUFATURA ADITIVA(MA), ESTRUTURAS ARQUITETADAS, ENSAIO DE IMPACTO

Autores(as):

Luiza Fernandes Vieira - UNICAMP

Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. Éder Sócrates Najari Lopes (orientador(a)) - UNICAMP

MSc. André Henrique Guimarães Gabriel - UNICAMP

## INTRODUÇÃO:

A manufatura aditiva, através da liberdade de construção de geometrias complexas, possibilita a elaboração de peças com elevada rigidez e baixa densidade, conhecidas como estruturas celulares (Cheloni, 2022). As estruturas celulares podem ser classificadas em diversas categorias, incluindo espumas e estruturas arquitetadas (lattice structures) (Harris, 2017). Estas últimas são definidas como estruturas tridimensionais compostas por células interconectadas, organizadas e dispostas de maneira repetitiva.

As estruturas arquitetadas têm sido amplamente difundidas por serem capazes de apresentar propriedades mecânicas diferentes das observadas no material maciço. Entre as características mais exploradas atualmente está a alta capacidade de absorção de energia por parte dessas estruturas, atraindo assim o interesse da indústria automobilística. Atualmente já vemos sua aplicação em protótipos de fórmula estudantil que utilizam estruturas de alumínio com formato Honeycomb como atenuador de impacto frontal, a ideia é que a deformação da estrutura seja capaz de dissipar a energia do impacto e proteger o piloto. Entretanto o favo de mel é somente um dos muitos formatos explorados pela literatura quando se trata de estruturas arquitetadas a imagem abaixo apresenta alguns dos modelos mais comuns mas, além desses tão é possível encontrar diversas geometrias qe buscam mimetizas formas encontradas na natureza

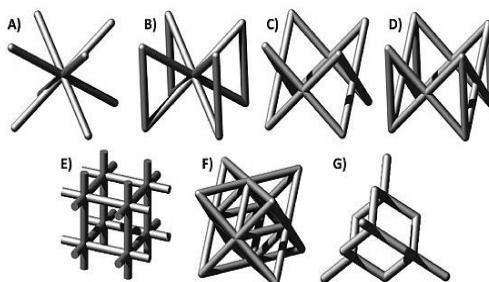


Figura 1: Celulas de repetição de estruturas arquitetadas

(a) BCC, (b) BCCZ, (c) FCC, (d) FCCZ, (e) cúbica, (f) Octet-truss e (h) diamond. (MACONACHIE, 2019).

(b)

Para análise do comportamento das estruturas diante da aplicação de carga podem ser realizados tanto ensaios dinâmicos quanto ensaios quasi-estáticos de compressão, a partir de tais análises foi possível a construção do curva tensão de formação típica para estruturas arquitetadas.

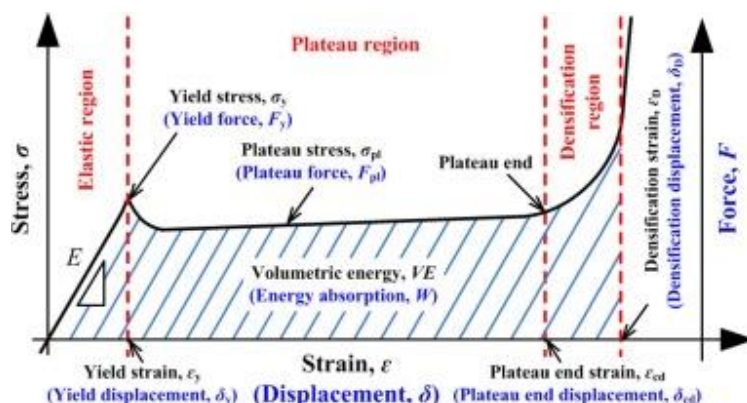


Figura 2. Ilustração da curva típica de tensão deformação de estruturas arquitetadas em compressão

Fonte: JIN, maio de 2019. Figura 5. Disponível

em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822322011291>. Acesso em 10 de set. 2023

O gráfico apresenta os distintos comportamento das estruturas durante a deformação, inicialmente apresentam comportamento elástico, com deformação linear e proporcional ao módulo de elasticidade do material. Já em um segundo momento há o início da deformação plástica o que leva a estabilização da tensão e aumento constante da deformação apresentando uma espécie de platô, esse é o momento em que as células começam a escoar e a flambar. Quando essas células se deformam o suficiente para entrar em contato uma com as outras se inicia a fase de densificação da estrutura o que leva a um aumento abrupto da tensão (CHELONI, 2022).

Atualmente na literatura a grande parte dos estudos envolvendo estruturas arquitetadas está atrelado a ensaios com cargas estáticas. Entretanto, o comportamento mecânico em ensaios estáticos se demonstrou diferente do observado em ensaios dinâmicos (TANCOGNE-DEJEAN, 2016). Portanto, essa pesquisa tem como objetivo analisar amostras de estruturas arquitetadas, em diferentes geometrias, diante de ensaios de impacto do tipo izod.

A produção de grande parte das geometrias apresentadas anteriormente só se tornou possível por meio do desenvolvimento das técnicas de manufatura aditiva. Há diversas técnicas que podem ser empregadas no desenvolvimento de amostras de estruturas arquitetadas, a mais difundida e de mais fácil acesso no contexto brasileiro atual é a construção com polímeros, como o ABS, por fusão e extrusão (FDM).

## METODOLOGIA:

O projeto tem como objetivo analisar a capacidade de absorção de energia de diferentes geometrias de estruturas arquitetadas mediante ao impacto de cargas em alta velocidade.

Inicialmente foi realizado um estudo em relação aos tipos de ensaios dinâmicos existentes a fim de determinar qual seria o mais adequado. Nesse foram considerados diversos ensaios, entretanto a decisão recaiu entre o ensaio Charpy e o ensaio Izod, por serem possíveis de serem realizados nas dependências da instituição sem problemas e por serem capazes de entregar os resultados desejados. ao final optamos por utilizar a metodologia Izod, pela maior facilidade de fixação da amostra. Seguindo as diretrizes da norma ISO 148-1, os corpos de prova foram produzidos em formato retangular com seção transversal de 10mm por 10 mm e 55 mm de comprimento.

Para a realização de testes iniciais e adaptações tanto no equipamento quanto no método escolhido, optamos por produzir amostras em polímero (ABS) nas mesmas dimensões do corpo de prova descrito anteriormente, por meio de manufatura aditiva de polímeros por fusão e extrusão (FDM). O modelo de estrutura arquiteteta escolhido para iniciar as análises foi a célula cúbica. O desenvolvimento do modelo foi feito utilizando o software de CAD, CREO Parametrics (PTC), logo este também foi fatiado e impresso.

Contudo, o método empregado revelou-se mais desafiador do que antecipado, especialmente devido às características das peças, que se destacam por suas dimensões reduzidas, geometrias complexas e a presença de espaços vazios. A impressora utilizada, Sethi3D S3, enfrentou dificuldades em produzir amostras de elevada qualidade, principalmente devido à extrema delicadeza das paredes, resultando em uma estrutura notavelmente frágil. A necessidade de gerar suportes internos para sustentar a peça, impôs desafios significativos durante o processo de impressão. Mesmo com a implementação de suportes, múltiplas tentativas foram exigidas para concluir o processo satisfatoriamente, evitando a implosão da amostra.

Entretanto, mesmo as amostras que foram impressas por completo não puderam ser utilizadas uma vez que o tamanho pequeno tornou extremamente difícil a remoção dos suportes sem prejudicar a integridade estrutural.



Figura 3: Falhas observadas nas estruturas impressas em ABS pelo método FDM

Para superar tais adversidades foram utilizados diversos softwares de fatiamento. Também foi realizada uma análise profunda dos parâmetros de impressão variando o preenchimento, número de camadas, temperatura da mesa e do extrusor, geração de suportes e espessura das paredes, em diversos espécimes.

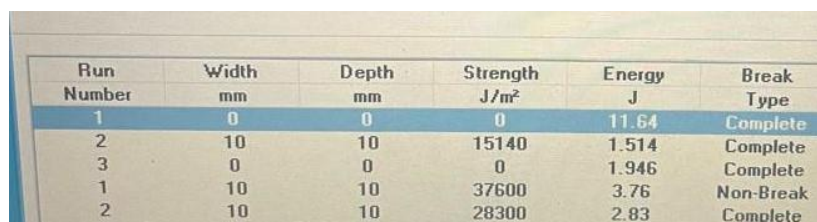
Após múltiplas tentativas, foi possível a obtenção amostras viáveis para ensaios. No ensaio foi observado inicialmente o deslocamento longitudinal das camadas de impressão, seguido por uma fratura

a 45 graus em relação às faces perpendiculares ao impacto. Outro ensaio realizado envolveu o uso de um corpo de prova maciço, visando quantificar a diferença na absorção de energia entre a estrutura arquetada e uma peça maciça de dimensões equivalentes.

Em seguida são realizadas as análises pós fratura das amostras por meio de microscopia de luz visível e eletrônica de varredura buscando analisar a microestrutura do material depois do impacto, permitindo assim a comparação entre a microestrutura observada anteriormente na peça e a analisada no ponto de falha.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Durante o desenvolvimento do projeto a máquina utilizada para realização dos ensaios de impacto apresentou diversos problemas que durante diversos meses impediam a realização de ensaios e acabaram atrasando o desenvolvimento do projeto. Por se tratar de uma modelo antigo que já não é mais comercializado os softwares necessários para sua utilização não eram compatíveis com os computadores disponíveis além disso o aparelho também não contava com uma licença válida, o que acabou impossibilitando sua utilização por um extenso período de tempo. Felizmente tais problemas puderam ser contornados nas ultimas semanas o que possibilitou a calibração do equipamento e o teste inicial da estrutura cubica, representada na figura 1 pela letra e. A partir desse foi possível a obtenção da energia absorvida pela estrutura no impacto.



Run Number	Width mm	Depth mm	Strength J/m <sup>2</sup>	Energy J	Break Type
1	0	0	0	11.64	Complete
2	10	10	15140	1.514	Complete
3	0	0	0	1.946	Complete
1	10	10	37600	3.76	Non-Break
2	10	10	28300	2.83	Complete

Figura1:Resultados dos testes iniciais com cúbica em ABS

Entretanto devido ao atraso das atividades não foi possível a realização, ate o momento, da análise pós fratura das amostras ensaiadas.

## CONCLUSÕES:

O desenvolvimento deste projeto revelou desafios inesperados, que resultaram em atrasos no cronograma inicialmente previsto. Contudo, essas dificuldades abriram oportunidades para uma pesquisa mais abrangente, que não se limitou apenas ao comportamento das estruturas arquetadas, mas também se estendeu ao estudo detalhado do processo de produção utilizando a manufatura aditiva de polímeros por fusão e extrusão (FDM). As dificuldades enfrentadas na operação do equipamento levaram ao aprofundamento do conhecimento sobre o ensaio de impacto Izod e o funcionamento do mecanismo envolvido.

Com esse conhecimento adquirido, o próximo passo é realizar ensaios com diferentes geometrias para obter dados comparativos entre os diversos formatos testados. Esses dados serão fundamentais para concluir o estudo de maneira satisfatória, oferecendo informações adicionais sobre esse tipo de estrutura. No futuro, tais informações serão valiosas para orientar a escolha da estrutura arquitetada mais adequada para cada aplicação, promovendo a continuidade e expansão do uso desse tipo de estrutura em diversas indústrias.

Além dos avanços técnicos e científicos, este projeto também proporcionou uma oportunidade única para entender o método científico e as especificidades, normas e procedimentos dos ensaios estruturais. Esse aprendizado contribuiu significativamente para o meu crescimento profissional e intelectual. A escolha do campo de estudo foi motivada pela curiosidade sobre os atenuadores de impacto utilizados em carros de fórmula estudantil e seu comportamento diante de impactos. O objetivo foi entender, em escala menor, o funcionamento desses mecanismos e estabelecer uma base teórica e experimental para, em projetos futuros, desenvolver uma versão otimizada desse dispositivo.

## **BIBLIOGRAFIA:**

JIN, N. et al. **Failure and energy absorption characteristics of four lattice structures under dynamic loading**. *Materials & Design*, v. 169, p. 107655, maio 2019.

YIN, H. et al. **Review on lattice structures for energy absorption properties**. *Composite Structures*, v. 304, p. 116397, 15 jan. 2023.

MACONACHIE, T. et al. **SLM lattice structures: Properties, performance, applications and challenges**. *Materials & Design*, v. 183, p. 108137, dez. 2019.

MACONACHIE, T.; LEARY, M.; LOZANOVSKI, B.; ZHANG, X.; QIAN, M.; FARUQUE, O.; BRANDT, M. **SLM lattice structures: Properties, performance, applications and challenges** *Materials and Design* Elsevier Ltd, , 5 dez. 2019

CHELONI, J. P. M. **UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS Faculdade de Engenharia Mecânica**. Campinas: [s.n.]. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/1701748129339920>>.

HARRIS, J. A.; WINTER, R. E.; MCSHANE, G. J. **Impact response of additively manufactured metallic hybrid lattice materials**. *International Journal of Impact Engineering*, v. 104, p. 177–191, 1 jun. 2017.