**PROSPECÇÃO DE TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE *SCAFFOLDS* APLICADOS EM ENGENHARIA DE TECIDO**

**Marco Aurélio Silveira1**; Ana Paula Bispo Gonçalves2; Jaqueline Leite Vieira2; Willams Teles Barbosa3; Milena Botelho Pereira Soares3; Josiane Dantas Viana Barbosa3

1 Bolsista; Iniciação científica - CNPq; marcos.silveira@aln.senaicimatec.edu.br

2 Instituto Gonçalo Moniz, Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ, Salvador-BA.

3 Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; josianedantas@fieb.org.br

**RESUMO**

Os *scaffolds* são estruturas temporárias utilizadas na engenharia de tecidos para fornecer suporte para o crescimento de células e tecidos, permitindo a regeneração de tecidos danificados. A caracterização desses *scaffolds* é fundamental para garantir a segurança e eficácia do processo de regeneração. Diante disso, este estudo tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre técnicas de caracterização de *scaffolds* aplicados na engenharia de tecidos e assim definir os melhores parâmetros para caracterização dos *scaffolds* que serão desenvolvidos futuramente no ISI SAS. De acordo com documentos retornados na *Web of Science*, duas técnicas comumente utilizadas para caracterização de *scaffolds* são o ensaio mecânico de compressão e a análise morfológica por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura).

**PALAVRAS-CHAVE:** *Scaffolds*; MEV; ensaio de compressão; Engenharia de Tecido.

**1. INTRODUÇÃO**

*Scaffolds* para engenharia de tecidos são estruturas projetadas para mimetizarem a matriz extracelular, servindo de suporte para o crescimento celular e a proliferação após a implantação local no tecido lesionado ou doente.1 Essas estruturas devem ser feitas de modo a mimetizar as características físico-químicas e mecânicas do tecido original, para que haja uma correta distribuição de carga mantendo ainda as propriedades biológicas que permitam a viabilidade celular no novo ambiente.

A "caracterização do material" é uma área da ciência responsável por prever o comportamento ou elucidar fenômenos físicos, químicos ou biológicos característicos de cada material. Por esse motivo, é necessário estudar quais os tipos ideais de testes que devem ser realizados nos *scaffolds* para garantir a sua adequação com o tecido de interesse a ser mimetizado, assim agilizando e diminuindo gastos com testes desnecessários.2 Vários métodos analíticos têm sido usados para caracterizar as propriedades físico-químicas, mecânicas e biológicas dos *scaffolds* em seus diferentes formatos. Esses métodos geralmente são baseados em padrões internacionais (American Society for Testing and Materials – ASTM) e incluem técnicas analíticas conhecidas.3 Duas técnicas comumente utilizadas para caracterização de *scaffolds* são a análise morfológica por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e o ensaio mecânico de compressão.

Na análise morfológica de *scaffolds* por MEV, uma amostra do material é preparada e colocada na câmara de vácuo do microscópio.4 O feixe de elétrons é então direcionado para a superfície da amostra, produzindo uma imagem em tempo real da morfologia do *scaffold*. Através dessa imagem, é possível analisar características como tamanho, forma, porosidade, rugosidade e distribuição dos poros.4

No teste de compressão do *scaffold*, uma amostra do material é posicionada entre as placas da máquina de teste, de modo que as placas estejam alinhadas com a superfície superior e inferior do *scaffold*.5 Em seguida, é aplicada uma carga de compressão crescente, geralmente a uma taxa constante, até que ocorra uma deformação ou falha no *scaffold*. Durante o teste, é medida a força aplicada ao *scaffold* e a deformação resultante. A partir desses dados, é possível determinar as propriedades mecânicas do *scaffold*, como a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e o limite de deformação.5

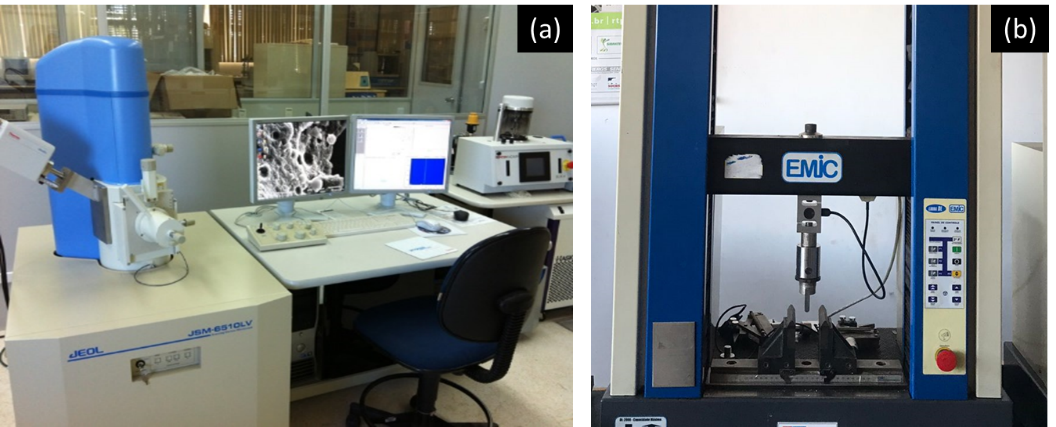
Nas técnicas supracitadas é possível variar parâmetros de acordo com o tipo de amostra. Para o MEV os parâmetros a serem variados são: ampliação, resolução e contraste da imagem. No ensaio de compressão pode ser variado a célula de carga e velocidade de deslocamento. A combinação dessas duas técnicas de caracterização é essencial para garantir a eficácia e certificação dos *scaffolds* aplicados na engenharia de tecidos. A escolha do método mais adequado para cada aplicação específica depende das propriedades desejadas para a regeneração do tecido e das características do *scaffold*.

Portanto, o objetivo deste trabalho é trazer informações a partir da revisão bibliográfica sobre as principais técnicas de caracterização de *scaffolds* aplicados na engenharia de tecidos, dentre elas a análise mecânica por compressão e morfologia por MEV. Os *scaffolds* a serem caracterizados serão produzidospor bioimpressão 3D e eletrofiação para aplicação na engenharia de tecidos. Atualmente este estudo encontra-se na fase de revisão bibliográfica e definição das principais propriedades dos *scaffolds* que serão desenvolvidos no ISI SAS do SENAI CIMATEC.

**2. METODOLOGIA**

Para a revisão bibliográfica foi utilizada a base de dados *Web of Science*, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: *scaffolds*, *tissue engineering* e *characterization techniques*. De acordo com os documentos retornados na *Web of Science*, duas técnicas comumente utilizadas para caracterização de *scaffolds* são o ensaio mecânico de compressão e a análise morfológica por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura). O ensaio mecânico de compressão é utilizado para avaliar a resistência do *scaffold*, garantindo que este seja capaz de suportar os esforços mecânicos previstos. Já a análise por MEV permite a observação da morfologia do *scaffold* em nível microscópico, permitindo a análise da porosidade, tamanho de poros e interconectividade, dentre outras características. Essas técnicas fornecem informações detalhadas sobre as propriedades do *scaffold* e ajuda na definição dos parâmetros de fabricação dessas estruturas. Os *scaffolds* a serem analisados serão produzidos pela técnica de bioimpressão 3D e por eletrofiação. Diferentes matrizes vão ser empregadas em ambas as técnicas na construção dos *scaffolds*, dependendo do tecido final de interesse, como polímeros termoplásticos, como o poli-(ácido láctico) (PLA) e a policaprolactona (PCL) para a produção de *scaffolds* mais rígidos, mimetizando o tecido ósseo. Outros polímeros com menores propriedades mecânicas utilizados na produção de hidrogéis, como o ácido hialurônico e a gelatina, utilizados na reconstrução de tecidos cartilaginosos, por exemplo.

Para a análise por MEV será utilizado um microscópio eletrônico de varredura da JEOL, modelo Carry Scopy JSM-6510LV da JEOL, com uma tensão de aceleração de 20kV (Figura 1 (a)). As amostras serão fixadas em porta amostra de alumínio e recobertas com ouro por um equipamento de metalização por evaporação marca Denton Vacuum, modelo DESK V. Para o ensaio mecânico será utilizado uma máquina universal de ensaio mecânicos da Emic, modelo DL 2000 (Figura 2 (b)).



**3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Os *scaffold*s, são suportes específicos que apresentam estruturas de acordo com o tecido o qual visa mimetizar, sendo possível produzir moldes com diferentes porosidades, estruturas e geometrias. Estes são desenvolvidos para se obter sustentação mecânica para suportar esforços temporariamente. Uma característica importante em um *scaffold* é a presença de poros, para favorecer a integração e a vascularização do tecido, uma das formas de observar esses poros é através da microscopia eletrônica de varredura.1

Além da característica mencionada anteriormente, é necessário, que o mesmo seja feito de material biocompatível, biodegradável e bioreabsorvivel, que apresente propriedades físico-químicas, mecânicas e biológicas semelhantes ao local que será implantado.Boa parte da sinalização passada para o crescimento, adesão e proliferação celular é proveniente do material que é escolhido para dar origem ao *scaffold*.1

Para determinar a morfologia do *scaffold* (porosidade, tamanho dos poros, interconectividade e rugosidade). Os métodos mais comuns incluem gravimetria, porosimetria por mercúrio, microscopia óptica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).6 As propriedades mecânicas avaliadas nos *scaffolds* geralmente envolvem testes relacionados a tensões e deformações ou que mostram a resposta desses *scaffolds* à aplicação de uma força física. Os *scaffolds* devem ser avaliados em condições que simulem a aplicação pretendida. Além disso, pode ser necessária uma montagem especial dos corpos de prova avaliados dependendo do tamanho e formato do *scaffold* e do equipamento utilizado. Os testes mecânicos incluem compressão, tração, flexão, cisalhamento e deformação realizados em equipamentos servo-hidráulicos e podem ser realizados em *scaffolds* secos ou úmidos para simular condições *in vivo*. Os parâmetros geralmente medidos são o módulo de elasticidade (módulo de Young) e o módulo de cisalhamento que indica a rigidez do *scaffold*.3

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica de imagem de alta resolução que permite observar a estrutura e morfologia de materiais em uma escala micrométrica. A MEV funciona através da emissão de elétrons que interagem com a superfície do material, produzindo imagens tridimensionais de alta resolução. A análise morfológica de *scaffolds* por MEV é uma ferramenta relevante para a caracterização desses materiais em engenharia tecidual, permitindo a avaliação e visualização dos poros e sua distribuição.2 Vale ressaltar que assim para os *scaffolds* feitos de materiais poliméricos, a análise de MEV pode ser utilizada também na caracterização de metais e cerâmicos.

O teste de compressão para *scaffold* é um procedimento utilizado para avaliar a resistência do equipamento de acesso em relação à carga vertical que pode suportar. Este teste é realizado colocando-se um peso sobre o *scaffold* para verificar se ele é capaz de suportar a carga máxima prevista. Esse peso é gradualmente aumentado até que se alcance a carga máxima de trabalho. Durante o teste, são verificados a deformação e a resistência a compressão do *scaffold*.7

**4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o levantamento bibliográfico e estudo sobre as técnicas para análise mecânica por compressão e morfológica por MEV de *scaffolds*, espera-se obter conhecimentos prévios sobre as principais propriedades a serem analisadas. Bem como, definir os parâmetros de análise para uma caracterização assertiva dos *scaffolds* que serão produzidos pela técnica de bioimpressão 3D e eletrofiação. Ao final será possível realizar a interpretação das informações, fornecendo dados como a utilização do material e viabilidade de aplicação.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FIOCRUZ pela da concessão da bolsa de estudos. E ao SENAI CIMATEC pela infraestrutura disponibilizada.

**5. REFERÊNCIAS**

1 BELLAND, Brian R. **Scaffolding: Definition, current debates, and future directions**. Handbook of research on educational communications and technology, p. 505-518, 2014.

2 POLO-CORRALES, Liliana; LATORRE-ESTEVES, Magda; RAMIREZ-VICK, Jaime E. **Scaffold design for bone regeneration**. Journal of nanoscience and nanotechnology, v. 14, n. 1, p. 15-56, 2014.

3 SHIMOJO, Andréa Arruda Martins et al. **Scaffolds for tissue engineering: A state-of-the-art review concerning types, properties, materials, processing, and characterization**. Racing for the surface: Antimicrobial and Interface tissue engineering, p. 647-676, 2020.

4 COCO, AMANDA MARIA ALMEIDA. A. **Síntese e caracterização de scaffolds de hidroxiapatita para aplicações na regeneração óssea**. Engenharia de Materiais, 2018.

5 DA CUNHA, Daniel ALV; BRANCIFORTI, Marcia C. **Fabricação de scaffolds por manufatura aditiva para aplicação em engenharia tecidual**, 2017.

6 LOH, Qiu Li; CHOONG, Cleo. **Three-dimensional scaffolds for tissue engineering applications: role of porosity and pore size**. 2013.

7 MATSUNAKA, ZIMMERMANN, LUIS EDUARDO; FRANTZ, JULIO CESAR. **Analysis of the compressive strength of scaffolds manufactured by additive manufacturing applied in bone regeneration**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 9, p. 93043-93069, 2021.