

DETERMINAÇÃO DE MATERIAIS SUBSTITUTOS EQUIVALENTES AOS TECIDOS
DA MÃO HUMANA EM COMPARATIVO COM FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D

ALUNOS

Débora Alexandre Félix¹

Izabella de Paula Fernandes²

Matheus Emerson da Silva Oliveira³

Renan Nascimento da Silva

4

ORIENTADOR

Francisco Antônio de Almeida Filho⁵

CO-ORIENTADOR

Vivaldo Medeiros dos Santos⁶

¹ Aluna do curso de Radiologia da Faculdade FECAF.

² Aluna do curso de Radiologia da Faculdade FECAF.

³ Aluno do curso de Radiologia da Faculdade FECAF.

⁴ Aluno do curso de Radiologia da Faculdade FECAF.

⁵ Professor do curso de Radiologia da Faculdade FECAF.

⁶ Coordenador do curso de Radiologia da Faculdade FECAF.

RESUMO

Este trabalho consiste em determinar os materiais que podem substituir os tecidos da mão humana, de maneira que possa ser usada para testes radiológicos na obtenção de resultados semelhantes a uma mão orgânica real, sem que indivíduos sejam expostos desnecessariamente à radiação. Visamos buscar materiais de baixo custo com a densidade característica ao tecido humano. A mão sintética, propriamente dita, pode ser feita em materiais diferentes com composições distintas para que se possa obter densidades semelhantes aos ossos, músculos e tecidos de uma mão real, de maneira que obtenhamos densidades semelhante quando expusermos essa mão à um exame radiográfico. Ao determinar os materiais substitutos de tecido humano, esperamos que este trabalho possa beneficiar a humanidade em geral na área da medicina e inspirar outras pesquisas científicas na busca e aprimoramento no ramo radiológico, não só com meios de proteção radiológica, mas, também, na área de prevenção.

Palavras-chave: tecidos substitutos, densidade tecidual, radiação ionizante

ABSTRACT

This work consists of determining the materials that can replace human tissues, so that they can be used for similar radiological tests in the hand, without being a real organic hand, without being unnecessarily exposed to radiation. We aim to seek low-cost materials with a density characteristic of human tissue. The synthetic hand, by its very nature, can be made with different compositions with different compositions so that you can obtain densities similar to the bones, muscles and tissues of a real hand, in a way of materials, in a similar way, when we expose that density to a radio exam. By determining the substitute materials for human tissue, we hope that this work can help humanity in other scientific areas in the area of medicine and improvement in the radiological field, but also in research in the area of prevention.

Keywords: substitute tissues, tissue density, ionizing radiation

1. INTRODUÇÃO

O princípio deste trabalho é encontrar substâncias que quando colocadas em uma certa proporção, nos dê uma característica muito similar aos tecidos humanos, já que existem diversas substâncias que podem ser semelhantes a

cada área do organismo humano. E, também, estudará a densidade do material escolhido, o que permitirá coletar informações valiosas sem que haja risco para qualquer indivíduo.

Visando um material de baixo custo, até mesmo materiais encontrados facilmente na natureza e, com características semelhantes aos diversos tecidos e componentes dos membros humanos, mais especificamente, da mão humana, este estudo tem como foco principal encontrar, estudar e comparar esses materiais de forma que suas características se aproximem o máximo possível de uma mão genuína. (ICRU 44, 1989)

Cada parte da mão, seja osso, pele ou músculos, possui uma característica diferente uma da outra, umas são mais sólidas, enquanto outras são mais moles, ou seja, cada parte da mão precisará de uma substância ou material diferente. Fatores como densidade, maleabilidade, textura, quantidade de radiação absorvida e atenuada e/ou espalhada, são algumas das questões a serem discutidas neste estudo.

É indispensável que haja para o estudo, comparações de materiais substitutos utilizando, como base de estudo para compará-los com uma mão humana, assim então, estudar os fatores que diferenciam e que assemelham cada material, respectivo a cada tecido, músculo e osso. Desta forma, haverá como comprovar as variações de quantidade de radiação que é absorvida e/ou atenuada por cada um desses materiais. (LOPES, 2016) Contudo, conforme o avanço nos resultados dos testes a serem realizados, e informações coletadas, nossa intenção é melhorar, cada vez mais, a metodologia de produção, bem como a qualidade desses materiais, até o ponto em que a qualidade, flexibilidade e estabilidade desses materiais assemelha-se ao objeto real.

Em busca de materiais com densidade adequada para realização dos experimentos, temos como parâmetro para a escolha do material, a realização de comparações entre materiais substitutos, dado que densidade é massa/volume ($d=m/V$) para uma dada temperatura e pressão, porém não se sabe como a radiação interage com cada material até o momento, mas é sensato realizar estudos radiográficos de forma a encontrar o coeficiente de atenuação específico para cada um deles em escala Hounsfield como medida de densidade desses materiais e, então, comparar a densidade dos mesmos em g/cm^3 , para encontrar uma densidade intermediária entre o sintético e o orgânico,

visando assegurar que os fatores designados como requisitos prévios, pospostos no início do estudo, tenham alta proporção de semelhança condizente a uma mão humana. (FERREIRA, et al, 2009)

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Tecidos Biológicos

Os componentes biológicos da mão, ou seja, as substâncias e elementos químicos que compõe as estruturas encontradas em uma mão, que por sua vez formam a mesma, são as artérias; cartilagem; gordura; músculos; nervos; ossos; pele; tendões; unhas e veias, como observado nas figuras 1 a 7.

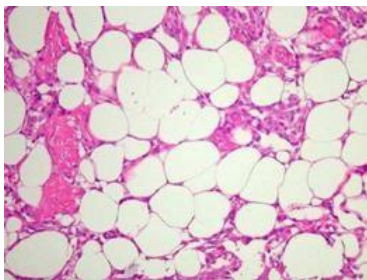


Figura 1: Tecido Adiposo

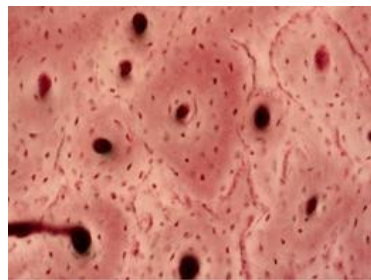


Figura 2: Tecido Ósseo

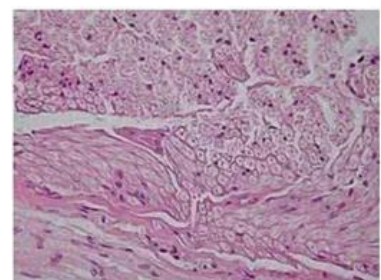


Figura 3: Tecido Nervoso

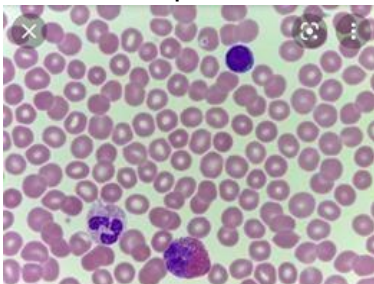


Figura 4: Tecido Sanguíneo



Figura 5: Tecido Epitelial

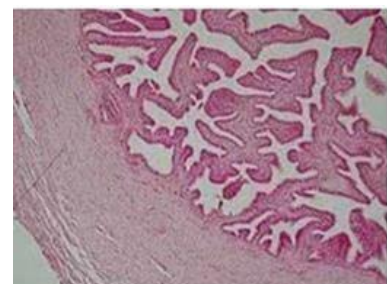


Figura 6: Tecido Conjuntivo

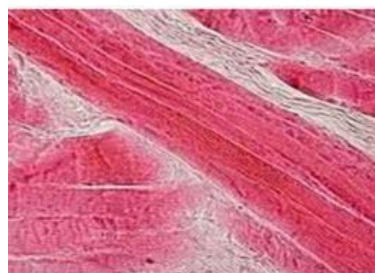


Figura 7: Tecido Muscular

Fonte: Arquivo Pessoal

Cada uma dessas estruturas tem graus diferentes de densidade em escala Hounsfield, podendo variar de indivíduo para indivíduo. Porém, trabalhamos com a ideia de uma pessoa mediana e saudável.

Todas essas estruturas são extremamente necessárias para que o mecanismo de uma mão funcione adequadamente sem que haja desgaste ou deficiência no manuseio desse membro.

Fatores como, elasticidade, flexibilidade ou rigidez, densidade e até mesmo o nível de absorção de radiação que cada uma das estruturas apresentadas são levadas em consideração para que tenhamos êxito em obter todos aspectos necessários na reconstrução de uma mão que se assemelhe o mais próximo possível da realidade.

2.2. Tecidos Substitutos

Já existem matérias substitutivos desenvolvidos para alguns tecidos, porém para o desenvolvimento deste projeto resolvemos pegar cada estrutura que existe nas mãos, como por exemplo: ossos, cartilagens, artérias e arteriolas, veias e venolas, músculos e alguns outros tecidos, e escolher com base em estudos algumas substâncias que quando misturadas com outras substâncias possam chegar a possuir características parecidas com as da estrutura que está sendo recriada.

O projeto visa utilizar materiais de fácil acesso, ou seja, materiais simples e baratos, e que possuem uma igualdade com a estrutura, quanto mais próximo da estrutura real ficar, melhor será. Algumas estruturas possuem dois elementos substitutivos, outras possuem três. Para identificar se o material recriado possui características similares às estruturas reais, serão necessários estudos padrões de exames de raios x e de tomografia computadorizada.

2.3. Materiais substitutivos escolhidos

- *Água*: foi escolhida pois é um solvente universal, ajudando na diluição da mistura.
- *Hidroxiapatita fosfato tricalcio*: é o um dos principais compostos químicos que compõe a estrutura óssea.
- *Biovidros*: são materiais que apresentam alta biocompatibilidade óssea e propriedades osteocondutivas.

- *Sulfato de cálcio*: componente químico solúvel em água, adotado ao nosso estudo por ser usado em enxertos ósseos já que o cálcio é encontrassem abundância nas estruturas ósseas.
- *Colágeno*: é um composto químico encontrado em todos os níveis de tecido epitelial, ou seja, nossa pele, por essa razão decidimos inseri-lo no nosso estudo afim de trazer mais assimilação com as propriedades da pele.
- *Parafina*: tem sido muito utilizada na área da cosmética por possuir propriedades super-hidratantes. Por isso será submetida ao nosso teste.
- *Leite em Pó*: ele é feito a partir da desidratação de leite, e quando é realizado este processo o leite não perde seus nutrientes, e por saber que leite em pó possui proteínas que estimulam os músculos como por exemplo a vitamina C, por este motivo ele entra como um dos materiais substitutivos para a criação da musculatura sintética.
- *Amido de milho*: é um elemento muito versátil e que possui inúmeros benefícios para a saúde, e como é uma substância que tem como uma das funções engrossar caldos, será de grande importância para fazer com que algumas estruturas cheguem a uma consistência mais próxima de uma estrutura real, como por exemplo a musculatura.
- *Amendoim moído*: é um alimento que possui propriedades que atuam na prevenção de doenças cardiovasculares além de ser rico em vitaminas E, folato, potássio, selênio e magnésio. Por este motivo é considerado um elemento interessante para se utilizar no projeto, como principal colocação no desenvolvimento da musculatura.
- *Resina*: possui uma característica de não serem solúveis em água, e ficam duros quando entram em contato com o oxigênio (oxidam-se), escolhemos esta substância pensando justamente na produção das unhas, que são partes mais expostas e possuem uma certa resistência.
- *Melanina*: é uma proteína que é produzida a partir da tirosina, e possui como sua principal função proteger o DNA dos raios solares, e por este motivo decidimos usá-la na criação da camada da pele.
- *Gelatina*: a gelatina é composta de colágeno hidrolisado retirado da pele, dos ossos, dos tendões e das cartilagens de mamíferos (exceto do ser humano). Escolhemos a gelatina por sua consistência maleável que permite movimento

e dá sustentação, e por ser rica em colágeno uma substância abundante em nosso organismo.

- *Amoeba*: a amoeba ganhou muito espaço quando começou a ser feita em casa pelas crianças, pensando nisso a escolhemos para nosso projeto pois tem baixo custo, rapidamente é feito, usa apenas 3 ingredientes. Uma característica também muito importante para nós, é sua elasticidade e ser colante, podendo substituir um item importante para nós.
- *Colágeno hidrolisado*: o corpo humano é rico em colágeno e ele cumpre uma função importantíssima em nosso organismo, por esse motivo não poderíamos deixar o colágeno de fora. O colágeno em pó é encontrado em casas de produtos naturais, é vendido pela internet e é muito recomendado para pessoas com problemas ósseos. Nesse caso por sua consistência cremosa quando misturado com a água, o escolhemos para dar assistência e firmeza para os outros componentes.
- *Biocelulose da cana de açúcar*: o bagaço da cana de açúcar substituirá o tecido epitelial, fazendo uma proteção resistente dos artefatos exteriores.
- *Água boricada*: a água boricada é muito utilizada como medicamento composta com proporção de 3% de ácido bórico e no nosso caso será usada para compor a receita da amoeba caseira.
- *Cola*: a cola escolar também será utilizada para o desenvolvimento da nossa receita caseira da amoeba. A cola permitirá que a amoeba tenha melhor aderência, rica em água tem uma secagem mais rápida
- *Cola de silicone*: a cola de silicone vedada e maleável permitirá que a mão tenha movimento e segurança
- *Bórax*: também conhecido como borato de sódio ele é muito utilizado na indústria, na nossa pesquisa ele será utilizado para compor a nossa amoeba caseira por ele ser um óleo mineral, possuindo que a amoeba não seja tão “grudenta”.

2.4. Tabela comparativa de tecido biológico e materiais substitutos

A tabela a seguir está preenchida com os materiais biológicos pertencentes ao membro escolhido para a realização da nossa pesquisa, escolhemos a mão como

membro objeto. Separamos a mão em 10 estruturas de acordo com a composição biológica de cada uma. A cada estrutura foram destacados os elementos químicos e substâncias que os compõem.

Tabela 1: Apresentação dos componentes biológicos que compõem a mão

ESTRUTURA	COMPOSIÇÃO BIOLÓGICA
ARTÉRIAS	Células epiteliais, fibras de colágeno e tecido conjuntivo
CARTILAGEM	Proteoglicanos, colágeno e condrócitos
GORDURA	Ácidos graxos saturados + glicerol
MÚSCULO	Miócitos (actina e miosina)
NERVOS	Fibras nervosas e tecido conjuntivo
OSSOS	90% colágeno e proteínas e o restante são cristais de hidroxiapatita (cálcio e fósforo)
PELE	Queratinócitos (que dão origem queratina), lipídios epidérmicos e camadas de células mortas
TENDÕES	Fibras de colágeno
UNHA	Queratina
VEIAS	Células epiteliais, fibras de colágeno e músculo liso

Para seguirmos com o desenvolvimento do nosso projeto, foi necessário a criação de uma tabela com materiais sintéticos baseados nas pesquisas realizadas nos materiais da tabela 1 que, juntos formarão um protótipo artificial com propriedades seguras que possibilite os mesmos resultados como se fosse um membro biológico. Visamos obter os materiais com a densidade mais próxima e com o menor custo, de acordo com os elementos químicos e substâncias encontradas em sua composição química. Pesquisamos a fundo e minuciosamente, para que pudéssemos chegar ao resultado esperado e cumprir com o objetivo da pesquisa, desenvolver uma mão artificial capaz de trazer resultados seguros e idênticos ao natural.

Tabela 2: Apresentação dos materiais substitutos

ESTRUTURA	SUBSTÂNCIAS SUBSTITUTAS
ARTÉRIAS	gelatina (colágeno, açúcar ou adoçante, corante e aromatizante)
CARTILAGEM	amoeba e cola de silicone líquida
GORDURA	Amoeba = (Bórax, Cola, Água Boricada)
MÚSCULO	água, leite em pó, amido de milho e amendoim moído
NERVOS	cápsulas de colágeno (colágeno hidrolisado, antiiumectantes (carbonato de cálcio e dióxido de silício), veículos (maltodextrina e polietilenogol), estabilizante croscarmelose sódica, emulsificante hidroxipropilmetilcelulose, lubrificantes (estearato de magnésio e talco) e corantes (dióxido de titânio e eritrosina)
OSSOS	hidroxiapatita fosfato tricálcio, os biovidros e o sulfato de cálcio
PELE	Camada de biocelulose de cana-de açúcar, água para diluir melanina e colágeno, resina (epóxi e poliéster) e parafina
TENDÕES	cápsulas de colágeno (colágeno hidrolisado, antiiumectantes (carbonato de cálcio e dióxido de silício), veículos (maltodextrina e polietilenogol), estabilizante croscarmelose sódica, emulsificante hidroxipropilmetilcelulose, lubrificantes (estearato de magnésio e talco) e corantes (dióxido de titânio e eritrosina)
UNHA	Resina acrílica
VEIAS	colágeno hidrolisado (gelatina, água e dióxido de titânio)

Vale lembrar de uma coisa muito importante, como iremos utilizar o estudo de materiais substitutos é necessário uma base literária de imagens padrões de exames, e entender que cada estrutura emite um tom diferente de cinza.

2.5. Impressora 3D e filamentos para impressão

Impressoras 3D são equipamentos que atuam eficazmente na indústria 4.0, com o objetivo primordial de diminuir custos e aumentar a eficiência na produção de diversos itens, que vão desde partes de avião, até próteses e órgãos. À venda podemos encontrar impressoras 3D para uso pessoal e industrial.

Os insumos de uma impressora 3D são chamados de filamentos, construídos baseados no

método FDM/FFF.

As impressoras 3D utilizam vários tipos de insumos com propriedades específicas, que podem ter boa qualidade ou não. Esses filamentos são compostos de polímeros termoplásticos, que quando aquecidos atingem uma textura pastosa. São produzidos na forma de um fio contínuo que é enrolado em um carretel, que alimenta a impressora 3D, depois é derretido e expelido por um extrusor, formando o objeto final.

Como cada filamento possui características e propriedades únicas, para identificar o melhor filamento, é necessário saber qual a aplicação da peça a ser formada, o tipo de impressora 3D e qual o nível de conhecimento tem o operador dessa impressora.

Além dos filamentos comuns termoplásticos como o PLA e PETG, um filamento 3D pode ser de nylon, policarbonato, fibra de carbono, polipropileno e muito mais.

Para a maioria dos projetos que sejam somente visuais, o PLA é indicado, e também, para operadores iniciantes.

Dentre os 25 tipos de filamentos 3D existem algumas categorias, como os básicos, os exóticos ou recreacionais e até os de uso profissional e que produzem peças com um nível diferente de sofisticação. Vejamos as características de alguns:

PLA

O PLA é considerado como o mais famoso dentre os filamentos disponíveis para impressão 3D, sendo fácil de imprimir e possuindo uma temperatura de impressão mais baixa do que o ABS, seu outro colega famoso. Além disso, não necessita de uma base de aquecimento e não produz cheiro ruim durante o processo da fabricação por ser um termoplástico biodegradável.

ABS

Este é considerado como o segundo na linha dos filamentos disponíveis para impressão 3D mais famosos, atrás apenas do PLA. O ABS é considerado como um pouco mais difícil de imprimir e possui comportamento superior ao PLA, com alta durabilidade e capacidade de resistência a altas temperaturas.

PETG, PET ou PETT

Este é o plástico mais utilizado no mundo como o polímero das garrafas de água e é encontrado também fibras de roupa e recipientes de alimento. O PETG é a variação do filamento 3D que é utilizado no mundo da impressão 3D e possui várias cores, misturas e propriedades.

NYLON

O Nylon é utilizado tanto no mundo da impressão 3D quanto no mundo das aplicações industriais pelas suas características como resistência, flexibilidade e durabilidade. Este filamento 3D permite o tingimento antes ou depois do processo de impressão 3D e um ponto negativo é que pode absorver umidade, o que pode impactar na qualidade da peça final.

TPE, TPU e TPC

Os elastômeros termoplásticos são essencialmente plásticos com algumas semelhanças e qualidades da borracha, promovendo a capacidade da flexibilidade e durabilidade. O TPE é uma classe de copolímeros com o TPU e o TPC sendo variações para dar mais rigidez e facilidade na impressão 3D (TPU) além de resistência a exposição química (TPC).

PC (Policarbonato)

O policarbonato é o filamento de impressora 3D mais forte, extremamente durável e resistente ao impacto físico e ao calor.

MADEIRA

Esse é um dos tipos de filamentos 3D que se encaixam na categoria dos exóticos. Este filamento 3D não é madeira, de fato, mas é o PLA infundido com fibra de madeira é uma das mais novas misturas que surgem a todo momento no mundo da impressão 3D e esta pode ter variações de madeira, como o pinho, videoeiro, cedro e ébano, dentre outros.

METAL

A impressão 3D de metal também se beneficia da mistura de PLA ou ABS com o pó de metal desejado, conseguindo a aparência e a sensação do metal na peça impressa 3D.

A técnica de Fabricação com Filamento Fundido (FFF ou FDM) parte do aquecimento de filamentos de material plástico como o PLA e o ABS até chegar num estado semissólido e a posterior saída através do bico extrusor. Essa extrusão forma camadas a partir da movimentação da impressora nos eixos X, Y e Z.

Para atingir o objetivo que se deseja, é recomendado o uso de insumos de boa qualidade, num fornecedor de confiável, que fornecerá alto grau de pureza na composição dos filamentos, pigmentos compatíveis e otimizados para a impressora 3D e diâmetro constante em toda a extensão do carretel. em toda extensão do carretel.

3. CONCLUSÃO

A importância de determinar materiais substitutos para tecido humano implica em uma série de resultados satisfatórios, que vão desde a diminuição de dose durante os procedimentos, seja no paciente como no operador, até melhoras na qualidade da imagem diagnóstica, bem como, estabelecendo um método simples e eficiente de verificar técnicas e equipamentos. Como a escala Hounsfield, em tomografia computadorizada, é utilizada para medição do coeficiente de atenuação de um feixe de raios X ao atravessar o corpo humano, uma das maneiras para testar, quanto à absorção de radiação em várias tensões, a fim de diferenciar os materiais a serem usados para cada parte da mão (nervos, ossos, pele etc.). Juntamente com a densidade desses materiais, é possível obter um material muito próximo do tecido humano, com qualidade e durabilidade. Com isso, também é possível fazer uma avaliação muito precisa dos protocolos utilizados em tomografia computadorizada, bem como obter qualidade de imagem nos procedimentos diagnósticos com um mínimo de exposição.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. “LOPES, C. I. A. Estudo de materiais utilizando imagens de tomografia computadorizada para o desenvolvimento de objetos simuladores. 2016, p.15- 16, (TCC), - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG), Departamento de Engenharia Elétrica“ – Disponível em:
<https://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2016_2_CIALopes.pdf>”
2. “C. C. Ferreira; A. F. Maia; R. E. M. Ximenes; C. A. B. Garcia – Cálculo dos coeficientes de absorção energética de dez materiais para utilização em tomografia computadorizada. Sergipe. SCIENTIA PLENA, v.5 n.11, 2009 – Disponível em:
<<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/738/394>>”
3. LOPES, C. I. A. **ESTUDO DE MATERIAIS UTILIZANDO IMAGENS DE TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA PARA O DESENVOLVIMENTO DE OBJETOS SIMULADORES.** CEFET-MG, Trabalho de Conclusão de Curso, 55 pág., 2016.