



## **Produção de biomodelos cirúrgicos por meio de impressão 3D: uma avaliação social e econômica pela ótica do design para a sustentabilidade**

### ***Surgical biomodels' production to support surgery by 3D printing: a social and economic evaluation from the Design for Sustainability perspective***

**Claudio Pereira de Sampaio, Doutor em Design, Universidade Estadual de Londrina**  
[claudiopereira@uel.br](mailto:claudiopereira@uel.br)

**Sonia Maria Fabris, Doutora em Fisioterapia, Universidade Estadual de Londrina**  
[sofabris@uel.br](mailto:sofabris@uel.br)

**José Antonio Vicentin, Designer, Núcleo de Fabricação Digital do HU-Uel (Fab.i HU)**  
[zevicentin@gmail.com](mailto:zevicentin@gmail.com)

**Gláykton Alex Vitti Stabile, Doutor em Clínica Odontológica, Universidade Estadual de Londrina**

[Gláykton@uel.br](mailto:Gláykton@uel.br)

**Cecília Luiz Pereira Stabile, Doutora em Clínica Odontológica, Universidade Estadual de Londrina**

[Ceciliastabile@uel.br](mailto:Ceciliastabile@uel.br)

[Linha temática: T6. Materiais, processos e tecnologias inovadoras para a sustentabilidade]

#### **Resumo**

Este artigo apresenta, descreve e avalia sob a ótica do Design para a sustentabilidade (DfS), os aspectos sociais, econômicos e tecnológicos do processo de desenvolvimento e fabricação de biomodelos anatômicos de apoio à cirurgia com uso da impressão 3D em um hospital público brasileiro. Este processo teve caráter interdisciplinar, envolvendo profissionais de Design, Odontologia e Fisioterapia, e a produção dos biomodelos foi feita com uso de três materiais (PLA, PETG e resina líquida) e dois processos diferentes (impressão FDM e LCD). A avaliação das aplicações foi feita a partir de heurísticas (diretrizes) sociais e ambientais do DfS (*Design for Sustainability*), e possibilitou a identificação de aspectos relevantes, bem como de oportunidades de melhoria nos processos. Entre os resultados, destaca-se a importância de se ter nos hospitais públicos um espaço específico voltado à fabricação digital, o qual agiliza o desenvolvimento de biomodelos, bem como da quantidade, diversidade e qualidade dos equipamentos de impressão 3D, que permite a exploração de múltiplas possibilidades de processos e materiais, agilizando a inovação no ambiente hospitalar.

**Palavras-chave:** Saúde pública; cirurgia; biomodelos; impressão 3D; design de produto.

#### **Abstract**

*This article presents, describes, and evaluates, from the perspective of Design for Sustainability (DfS), the social, economic, and technological aspects of the process of developing and manufacturing anatomical biomodels to support surgery using 3D printing in a Brazilian public hospital. This process*

*had an interdisciplinary character, involving professionals of Design, Odontology, and Physiotherapy. The assessment was carried out using DfS (Design for Sustainability) social and environmental heuristics (guidelines), and enabled the identification of relevant aspects, as well as opportunities for improvement in processes. Among the results, the importance of having a specific space dedicated to digital manufacturing in public hospitals stands out, which speeds up the development of biomodels, as well as the quantity, diversity, and quality of 3D printing equipment, which allows the exploration of multiple possibilities for processes and materials, speeding up innovation in the hospital environment.*

**Keywords:** Public health; surgery; biomodels; 3D printing; product design.

## Introdução

A inclusão de novas tecnologias na área da saúde representa uma estratégia importante na busca de melhorias na assistência em saúde, e isto requer propostas e ideias inovadoras no desenvolvimento e processos, além da concepção de produtos para o incremento na qualidade das práticas de atenção em saúde no Brasil (Oliveira e Rodas, 2017; Fabris, Vicentin, Sampaio, 2023). No âmbito da saúde o uso das tecnologias tridimensionais, também conhecida como manufatura aditiva (MA) ou prototipagem rápida (PR), tem possibilitado a expansão de técnicas inovadoras envolvendo customização e personalização de produtos e equipamentos médicos. (Matozinhos, 2017). A MA, por apresentar um amplo campo de aplicabilidade, tem se destacado como um método promissor de protótipos e peças finais (Paiva; Nogueira, 2021). A busca por alternativas para tratamentos de saúde fez com que as aplicações da MA fossem incorporadas em uma variedade de técnicas e procedimentos médicos, contribuindo significativamente em várias áreas, como cirurgia bucomaxilofacial, odontologia, neurocirurgia, cirurgia ortopédica, entre outras (Dod; Jibhakate; Walke, 2023).

Destaca-se neste estudo a cirurgia bucomaxilofacial que tem se sobressaído com o surgimento dessas novas tecnologias, que possibilitam um melhor diagnóstico e planejamento cirúrgico para os desarranjos craniofaciais. Pode-se citar como exemplo a cirurgia ortognática, as reconstruções maxilo-faciais e as próteses temporomandibulares, que por meio de um planejamento virtual tridimensional, permite customizar próteses, guias cirúrgicos, placas de fixação entre outros (Lima, et. al, 2023). O planejamento cirúrgico convencional, embora eficaz, consome um método árduo de traçados manuais e moldes gessados, além de um tempo significativo na sua elaboração e englobam diversas etapas que podem acentuar as falhas e ocasionar imprecisões no resultado do tratamento cirúrgico (Resnick; Inverso; Wrzosek, 2016).

De forma diversa ao planejamento cirúrgico convencional, a associação do planejamento clínico com o virtual permite uma maior previsibilidade do tratamento, personalizado e preciso (Lima, et al, 2023). Seja com a fabricação de gabaritos cirúrgicos (aplicações médicas mais comuns da impressão 3D na rotina prática), seja na reconstrução de defeitos ósseos, substituição da articulação têmporo-mandibular e mais recentemente a impressão 3D de biomateriais implantáveis utilizando os dados da própria imagem do paciente, seja por tomografia computadorizada ou ressonância magnética (Dod; Jibhakate; Walke, 2023).

Atualmente a MA permite a confecção de biomodelos obtidos da anatomia humana, a partir da associação de sistemas de imagem com sistemas de computação (CAD – CAM). Os biomodelos 3D são produzidos a partir de imagens do paciente adquiridas por ressonância ou tomografia computadorizada e podem ser fabricados em nylon utilizando a tecnologia SLS de impressão 3D. A confecção de biomodelos ou modelos anatômicos de PR tem desempenhado um papel de grande relevância na Cirurgia e Traumatologia Bucocomaxilofacial, pois permite um melhor planejamento cirúrgico em todas as suas etapas, facilitam a visualização da extensão da

lesão e a utilização dos materiais no modelo (Safira, 2010), redução do tempo do procedimento cirúrgico e consequentemente o período de anestesia, bem como o risco de infecção, melhor resultado estético e funcional devido à possibilidade de mensuração e conformação prévia dos materiais, contribuindo na diminuição do custo total do tratamento (Peckitt, 1999; Mazzonetto et al, 2002; Meurer et al, 2003).

Para viabilizar a confecção destes modelos nos hospitais públicos, têm sido fundamental o surgimento de laboratórios de fabricação digital nestas instituições. Esses espaços, muitas vezes chamados de "*fab labs* de saúde", oferecem um ambiente onde tecnologias de fabricação digital como impressão 3D, corte a laser, usinagem CNC e eletrônica são aplicadas ao contexto da saúde. O Núcleo de Fabricação Digital e Inovação (Fab.i HU) do Hospital Universitário de Londrina (HU UEL) é um destes laboratórios de fabricação digital, e que teve suas origens na pandemia de COVID-19. Faz parte da estrutura do HU UEL e foi inaugurado em abril de 2022, contando com diversas impressoras FDM e LCD, scanner 3D e computadores com softwares de modelagem 3D para desenvolver projetos e produtos para a saúde. É neste espaço que foram desenvolvidas as soluções apresentadas neste artigo, tendo como referência um processo de desenvolvimento no qual o Design assumiu um papel fundamental, e que será também apresentado e discutido neste artigo.

## 1 Referencial teórico

### 1.1 A importância da Reconstrução Craniomaxilofacial

As deformidades craniomaxilofaciais acarretam prejuízos importantes aos pacientes, pois em geral, proporcionam sequelas estéticas que dificultam a integração social, comprometem sua qualidade de vida e interferem na autoestima. Além disso, implica em graves sequelas funcionais, como alterações no campo visual, respiração, fonação, comprometimento mastigatório e demais funções mandibulares (Freitas, 2006). Esses defeitos podem ser congênitos ou adquiridos como os oriundos de traumatismos, infecções, reabsorções ósseas, ressecções de neoplasias de face, entre outros. Nestas intervenções cirúrgicas, destaca-se a importância da reconstrução da deformidade, o restabelecimento da função e a harmonia facial, objetivando um resultado satisfatório (Gouveia, 2009).

Os biomodelos obtidos por impressão 3D, são réplicas físicas das estruturas anatômicas e permitem a visualização tridimensional das estruturas e suas alterações. Permitem a vantagem de avaliar a extensão exata da ressecção, o tamanho e a forma do enxerto a ser utilizado, além de permitir a modelagem pré-operatória da placa, o que diminui de forma considerável o tempo cirúrgico (Gouveia, 2009). Neste artigo serão apresentados e discutidos três biomodelos desenvolvidos no Fab.i HU, bem como uma avaliação destes quanto a aspectos sociais e econômicos, pela perspectiva do Design para a Sustentabilidade.

### 1.2 Aplicação da impressão 3D no planejamento de cirurgias bucocraniofaciais

A impressão 3D revolucionou diversos setores da sociedade, desde a manufatura até a medicina. No campo da saúde e cirurgia, essa tecnologia inovadora está desempenhando um papel crucial ao permitir a criação de modelos anatômicos precisos, dispositivos médicos personalizados e até mesmo órgãos humanos funcionais. Com avanços contínuos e uma crescente compreensão de suas aplicações, a impressão 3D está moldando o futuro dos cuidados de saúde de maneira sem precedentes.

Um dos aspectos mais promissores da impressão 3D na medicina é a capacidade de produzir modelos anatômicos exatos e detalhados a partir de dados de imagens médicas, como

tomografias computadorizadas (CT) e ressonâncias magnéticas (RM). As imagens obtidas de tomografias e ressonâncias, são armazenadas em um formato chamado DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*), contendo informações sobre estrutura óssea e tecidos, permitindo a análise digital e separação das estruturas desejadas, com a qual é possível criar uma peça tridimensional que pode ser usada para reproduzir, via impressão 3D, um modelo que fornece aos cirurgiões uma representação física tangível do paciente e da área-alvo da cirurgia (Jacobó et al, 2023).

Isso permite que os profissionais de saúde estudem a anatomia do paciente com maior detalhamento, planejem abordagens cirúrgicas específicas e ensaiem procedimentos complexos antes da operação real (Matozinhos et al, 2017). Além disso, esses modelos podem ser usados para educar pacientes e suas famílias sobre os procedimentos planejados, aumentando a compreensão e a aceitação das intervenções médicas e odontológicas. A impressão 3D também pode ser empregada para simular cirurgias complexas, ajudando os cirurgiões a desenvolver suas habilidades e aperfeiçoar técnicas antes de entrar na sala de cirurgia.

Na biomodelagem de peças anatômicas, a impressão 3D tem se revelado uma ferramenta útil, seja no planejamento cirúrgico, na confecção de próteses personalizadas e na execução da cirurgia, acarretando melhores resultados funcionais e estéticos, assim como a uma diminuição de riscos e custos (Gouveia, 2009). Os métodos cirúrgicos tornaram-se mais seguros e confiáveis à medida que os avanços da radiologia, como a tomografia computadorizada e dos métodos de análises clínicas foram introduzidos na prática (Gouveia, 2009).

Atualmente, grande parte dos biomodelos reproduzem estruturas ósseas do próprio paciente e são construídos a partir de tomografia computadorizada (TC). Estes auxiliam a equipe cirúrgica a compreender o formato, a localização relativa, a orientação e o tamanho da estrutura anatômica em questão (Gouveia, 2009). Em alguns casos os biomodelos são cortados, lixados e reconstruídos antes da cirurgia, sendo por vezes esterilizados e levados ao centro cirúrgico, para a auxiliar *in loco*, como uma ferramenta de visualização para a intervenção cirúrgica (Petzold, 1999; Gouveia, 2009).

### 1.3 Impressão 3D aplicada à saúde e à cirurgia: tipos de sistemas

Os sistemas de impressão 3D conhecidos como FDM (*Fused Deposition Modeling*) e LCD (*Liquid Crystal Display*) são duas tecnologias populares e acessíveis de impressão 3D que podem ser utilizadas para a produção desses modelos, cada uma com suas próprias características e aplicações.

O *Fused Deposition Modeling* (Modelagem por Deposição Fundida), ou FDM, é um processo de impressão 3D que envolve a deposição de material termoplástico derretido, camada por camada, para construir um objeto tridimensional. O material é alimentado através de um bico aquecido e depositado em uma plataforma de construção, solidificando-se rapidamente após a deposição (Kumar e Pumera, 2021). Este processo utiliza materiais termoplásticos, como PLA (ácido polilático), ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) e PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), e tem como principal vantagem ser uma tecnologia acessível e adequada para reproduzir modelos ósseos, permitindo impressão em grandes formatos. Cada material tem características distintas e deve ser escolhido de acordo com a necessidades do modelo a ser prototipado.

A tecnologia de Tela de Cristal Líquido, ou LCD (*Liquid Crystal Display*), é um método de impressão 3D que utiliza uma resina líquida fotossensível. Uma camada fina de resina é exposta à luz ultravioleta através de uma tela de cristal líquido, que atua como uma máscara,

solidificando as áreas expostas (Kumar e Pumera, 2021). Esse processo é repetido camada por camada até que o objeto seja completamente formado. Esta tecnologia alcança maiores níveis de detalhes e precisão, mas os equipamentos mais acessíveis têm áreas de impressão pequenas, o que dificulta a produção de modelos ósseos. No entanto, este problema começou a ser contornado recentemente com a chegada ao mercado de equipamentos com volume de impressão maior, e com custo bastante acessível.

Apesar dos avanços nos últimos anos, a impressão 3D na saúde e cirurgia também enfrenta desafios significativos. A segurança, a regulação e a validação de dispositivos impressos em 3D são áreas que exigem pesquisa e desenvolvimento contínuos, além de carecerem de regulamentação explícita. Em síntese, a impressão 3D está desempenhando um papel transformador na saúde e cirurgia, revolucionando a maneira como os profissionais de saúde abordam o diagnóstico e o tratamento. Com a capacidade de criar modelos anatômicos precisos, essa tecnologia está abrindo portas para um futuro em que os cuidados de saúde serão mais eficazes, personalizados e acessíveis. Embora desafios permaneçam, o potencial impacto positivo da impressão 3D na medicina é inegável.

#### 1.4 Laboratórios de fabricação digital em hospitais: O Fab.i HU

O Fab.i HU é um laboratório vinculado ao projeto integrado N° 12565/2020 (PES/EXT), e foi institucionalizado pelo HU UEL em abril de 2021. O HU UEL é um Órgão Suplementar da Universidade Estadual de Londrina (UEL), sendo reconhecido pelo Ministério da Educação e Ministério da Saúde, nos termos da Portaria Interministerial MEC/MS N° 1.213 de 30.05.2014, assim como, Licença Sanitária (código verificador N° 8264312). O HU UEL é o segundo maior hospital público do Paraná, sendo considerado um estratégico e tradicional centro de referência em média e alta complexidade, 100% SUS (Sistema Único de Saúde). Vale ressaltar que o HU UEL foi uma das referências e retaguarda na epidemia de Covid\_19 do Estado do Paraná.

Desde a sua institucionalização, o Fab.i HU já desenvolveu diversas soluções para as áreas de Pediatria, Pneumologia, Centro de Tratamento de Queimados (CTQ), Odontologia/Cirurgia Bucomaxilo Facial, e busca-se agora ampliar o alcance para outras áreas da saúde do hospital. Ter o laboratório integrado à estrutura hospitalar apresenta diversas vantagens, dentre as quais podemos destacar:

- A personalização médica: permite a criação de dispositivos médicos personalizados, próteses e implantes adaptados às necessidades específicas dos pacientes. Isso pode resultar em tratamentos mais eficazes e uma melhor qualidade de vida.
- A redução de custos: a fabricação de dispositivos médicos no local reduz custos em comparação com a aquisição de dispositivos comerciais. Além disso, a personalização pode eliminar a necessidade de ajustes subsequentes, economizando tempo e recursos.
- O rápido desenvolvimento de protótipos: a prototipagem rápida permite que os profissionais de saúde testem ideias e designs antes da produção em maior escala, acelerando a inovação médica.
- A redução do tempo de cirurgia/internação: com a capacidade de produzir modelos para que a equipe médica possa praticar o procedimento cirúrgico ou mesmo realizar medições para a produção de implantes e próteses, o tempo do paciente no centro cirúrgico é reduzido, gerando economia e promovendo menor tempo de anestesia. Com isso o paciente fica menos tempo no hospital, pois permite uma recuperação mais rápida.

Além destas vantagens, o fato de o laboratório estar vinculado ao Hospital permite uma colaboração multidisciplinar, gerando soluções mais eficientes e abrangentes, além de permitir uma gestão eficiente de recursos, incluindo financiamento, espaço e pessoal. Se comparado com os *fab labs* tradicionais, por ter um contexto médico específico, no Fab.i HU a equipe de P&D acaba por ter uma compreensão mais profunda das necessidades médicas, permitindo a criação de soluções mais direcionadas. A proximidade com médicos e pacientes facilita o teste e a implementação de dispositivos e soluções inovadoras. Além disso, a presença de profissionais de saúde pode orientar a concepção de soluções que atendam aos padrões de segurança e eficácia médica.

Mas também existem desvantagens, como a complexidade regulatória. Dispositivos médicos estão sujeitos a regulamentações rigorosas e laboratórios de saúde devem garantir a conformidade com normas e aprovações. Além disso, acabam por ter recursos limitados, pois dependem de licitação e devem seguir tramites burocráticos que muitas vezes acabam por inviabilizar determinadas aplicações. Em síntese, os laboratórios de fabricação digital em hospitais representam um marco importante na convergência entre a saúde e a tecnologia. Esses espaços oferecem uma plataforma para inovação médica personalizada, embora apresentem desafios regulatórios e de recursos. Comparados aos *fab labs* tradicionais, os laboratórios de saúde se destacam pela especialização médica e integração clínica.

## 2 Procedimentos Metodológicos

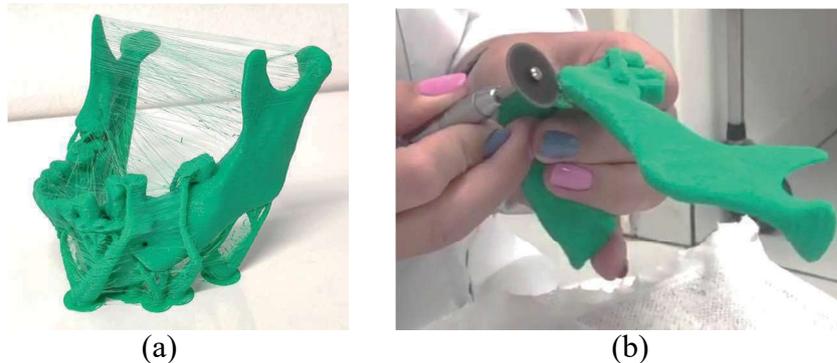
Além de revisão bibliográfica, o método utilizado neste estudo é o relato de caso de desenvolvimento de três artefatos (biomodelo de mandíbula para cirurgia ortognática, biomodelo de crânio para cirurgia de reconstrução craniomaxilofacial, e biomodelo de crânio para cirurgia de correção de displasia óssea), a partir dos quais foi realizada uma avaliação qualitativa com base em heurísticas sociais e econômicas, com base em Santos, et al (2019).

## 3 Resultados

A seguir são apresentados três biomodelos que foram prototipados pelo Fab.i HU em atendimento à solicitação da equipe cirúrgica de Bucomaxilofacial do hospital: 1) biomodelo para apoio a cirurgia ortognática (mandíbula impressa em PLA verde); 2) biomodelo para apoio a cirurgia de reconstrução craniomaxilofacial (crânio impresso em resina líquida cristal) e 3) biomodelo de apoio a cirurgia de correção de displasia óssea (mandíbula impressa em PETG cristal).

### 3.1 Biomodelo 1: Cirurgia ortognática

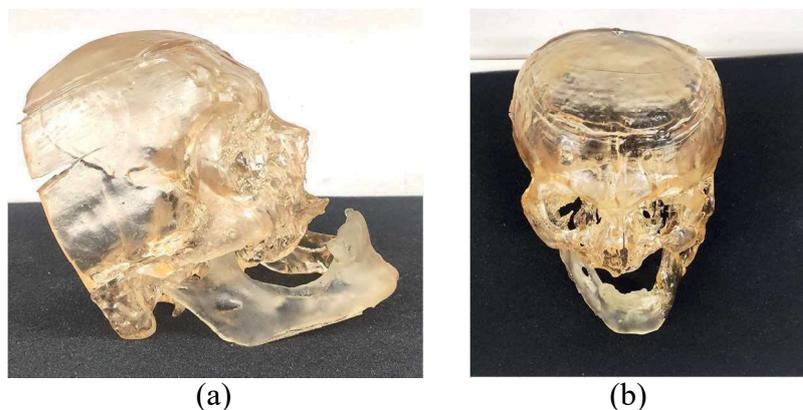
A cirurgia ortognática é um procedimento utilizado nas correções de assimetria facial para corrigir e reposicionar os ossos da mandíbula, e, por consequência, o posicionamento dentário de pacientes que apresentam diferentes graus de assimetria na região (Modonesi et.al, 2017). Neste caso, o modelo 3D da mandíbula em formato *.stl* foi aberto no *software* Rhinoceros 7 para verificação juntamente com uma profissional da equipe cirúrgica, e então importado no *software* Ultimaker Cura para geração de um arquivo *.gcode*, que foi então enviado para ser impresso em uma impressora 3D *Ender 5 Plus*, em filamento plástico do tipo *PLA 1.75mm*, na cor verde, com uso de um bico de impressão 0.4mm. A impressão durou cerca de 6 horas, e o modelo mostrou-se adequado para a finalidade pretendida de planejamento cirúrgico, possibilitando que fosse usinado com equipamentos de micro retífica (Figuras 1a e 1b).



**Figura 1: Mandíbula impressa em *PLA* com os suportes de impressão (a), e sendo usinada por uma profissional da equipe cirúrgica na etapa de planejamento da cirurgia (b). Fonte: elaborado pelos autores.**

### 3.2 Biomodelo 2: Deformidade craniomaxilofacial

Para otimizar os resultados das reconstruções craniomaxilofaciais faz-se necessário um planejamento criterioso com excelente anamnese, preparo pré-operatório, exames de imagens, confecção de biomodelos, seleção do biomaterial indicado para reconstrução e principalmente escolha da técnica cirúrgica adequada. Dependendo da complexidade dos casos exige-se uma abordagem multidisciplinar. Para esta aplicação o modelo 3D em formato *.stl* fornecido pela equipe cirúrgica também foi revisado no *software* Rhinoceros 7 em conjunto com uma profissional da equipe cirúrgica. No entanto, a geração do arquivo de impressão foi feita no *software* Halot Box, específico para a impressora *Halot One*, pois a equipe do laboratório desejava experimentar o uso de impressão em resina para avaliar a viabilidade desta tecnologia em biomodelos cirúrgicos. Foi impresso um modelo 3D de um crânio masculino, o qual teve que ser produzido em partes devido ao tamanho reduzido da área de impressão do equipamento. Após a retirada da peça, dos suportes de impressão e da lavagem para retirada do excesso de resina, as partes foram posteriormente unidas com uso de resina aplicada com pincel, seguida de cura por raio ultravioleta em um equipamento próprio para esta finalidade.



**Figura 2: Crânio impresso em resina em impressora do tipo *LCD*, em vista lateral (a) e frontal (b). Fonte: elaborado pelos autores.**

O processo se mostrou viável, embora trabalhoso, pois a montagem foi feita de forma artesanal. No entanto, esta dificuldade pode ser superada com o uso de impressoras de resina de maior volume, atualmente já disponíveis no mercado e com um custo viável (cerca de R\$ 5

mil). O modelo apresentou uma alta qualidade de acabamento (Figuras 2a e 2b), mas também uma rigidez excessiva para a necessidade de usinagem pela equipe cirúrgica. Cabe ressaltar que o laboratório conta com seis equipamentos *Halot One*, sendo dois deles destinados a impressão em resina rígida como a usada neste biomodelo, e as demais para testes com outros tipos de resina, como flexíveis ou pigmentadas).

### 3.3 Biomodelo 3: Displasia óssea

A displasia óssea é descrita como uma desordem benigna de desenvolvimento ósseo, caracterizada pela substituição de osso normal por uma proliferação excessiva de tecido conjuntivo fibroso. Foi confeccionada uma peça obtida da imagem de TC de um paciente que apresentava displasia óssea, para procedimento cirúrgico de osteoplastia de região maxilar. Assim como nos biomodelos anteriores, esta peça foi impressa a partir de um arquivo *.stl* fornecido pela equipe cirúrgica, com uso dos *softwares* Rhinoceros 7 para avaliação e *Ultimaker Cura* para geração de arquivo *.gcode* para impressão 3D.



(a)



(b)

**Figura 3: Crânio impresso em PETG, com os suportes de impressão (a) e frontal (b). Fonte: elaborado pelos autores.**

Esta peça foi impressa numa impressora *Ender 5 Plus* mas, diferentemente do biomodelo 1, nesta foi utilizado filamento PETG 1.75mm com uso de bico de impressão de 1mm. Portanto, o biomodelos 1 e 3 foram impressos em duas impressoras FDM distintas, o que foi possível pelo fato de o laboratório contar com quatro equipamentos deste tipo. O objetivo de se utilizar o bico de 1mm é reduzir o tempo de impressão em peças que não exigem precisão muito alta, como foi o caso do biomodelo 3.

### 3.4 Processo de desenvolvimento e fabricação

A elaboração dos três biomodelos seguiu o mesmo processo básico de trabalho, mas com algumas especificidades para cada uma das peças, sendo o seguinte:

1. Recebimento do arquivo 3D do objeto a ser impresso em formato *.stl*, entregue por um profissional da equipe cirúrgica;
2. Conferência do modelo 3D juntamente com o profissional da equipe cirúrgica;
3. Discussão com o profissional solicitante sobre os atributos que o material deveria cumprir para atender às necessidades (qualidade da superfície, maleabilidade, resistência mecânica, nível de dureza, facilidade de corte, usinagem e marcações com caneta, ausência de fiapos pós-impressão), bem como do prazo para entrega da peça;

4. Definição do material de impressão, resolução das camadas, nível de preenchimento, uso de suportes e outros parâmetros de impressão;
5. Impressão 3D do biomodelo;
6. Retirada dos suportes de impressão, limpeza, cura (impressão em resina) e acabamento;
7. Entrega do biomodelo para a equipe cirúrgica.

A seguir, o desenvolvimento destes biomodelos será discutido a partir de aspectos de sustentabilidade social e econômica, sob a ótica do Design para a Sustentabilidade, e com base nas heurísticas descritas por Santos, et al (2019).

## 4 Análises dos Resultados

### 4.1 Aspectos de sustentabilidade social: benefícios para o público interno e externo do hospital

A avaliação dos aspectos sociais dos processos descritos anteriormente foi realizada considerando-se as seguintes heurísticas, conforme propostas por Santos et al (2019): melhorar as condições de trabalho e emprego; favorecer a inclusão de todos; melhorar a coesão social; valorizar recursos e competências locais; promover a educação em sustentabilidade, e; instrumentalizar o consumo responsável. Destas, três foram consideradas relevantes para este estudo, e são discutidas a seguir.

#### 4.1.1 *Melhorar as condições de trabalho e emprego*

Neste caso, percebe-se a melhora nas condições de trabalho para os profissionais da área de cirurgia, que com o uso dos biomodelos passam a realizar cirurgias mais rápidas, seguras e com isso menos cansativas e estressantes, com reflexos diretos no bem-estar dos pacientes cirúrgicos, que graças à redução no tempo da cirurgia também passam a ter seu nível de risco (contaminação, complicações) e estresse reduzidos. Neste aspecto, os profissionais das equipes cirúrgicas relataram, por exemplo, reduções no tempo da cirurgia de mais de cinco horas para menos de duas horas, um ganho significativo graças ao uso dos biomodelos para planejamento prévio da cirurgia.

#### 4.1.2 *Favorecer a inclusão de todos*

O uso dos biomodelos cirúrgicos e a redução no tempo da cirurgia implicam também na possibilidade de realização de novas cirurgias, ampliando o alcance do serviço de saúde pública para mais pacientes. Considerando-se que boa parte do público que busca atendimento no HU UEL é de baixa renda, nota-se aqui um evidente benefício social ao se favorecer a inclusão destas pessoas no atendimento, que é feito totalmente via SUS. A incorporação da impressão 3D neste caso apresenta benefícios que podem ser percebidos de forma concreta pela população.

#### 4.1.3 *Valorização de recursos e competências locais*

A fabricação digital dos biomodelos localizada dentro do hospital pode ser considerada um exemplo de produção distribuída, na qual a produção e distribuição de bens é feita de forma local e descentralizada, sem dependência direta de poucos produtores que se encontram longe dos consumidores. Embora os equipamentos e insumos tenham como origem fornecedores distantes do hospital, uma vez que a infraestrutura de impressão 3D está instalada, o hospital ganha uma maior autonomia de desenvolvimento, produção, teste e entrega de soluções. Portanto, passa-se a utilizar um recurso local (neste caso o laboratório de impressão 3D) e as competências locais (neste caso da equipe do laboratório, formada por pesquisadores docentes e discentes da universidade à qual o hospital pertence).

## 4.2 Aspectos de sustentabilidade econômica: benefícios para o hospital e o SUS

As heurísticas econômicas propostas por Santos, et al (2019) referem-se a: fortalecer e valorizar recursos locais; respeitar e valorizar a cultura local; promover e economia local; promover organizações em rede; valorizar a reintegração dos resíduos e; promover a educação para a economia sustentável. Destas, as que consideramos mais significativas no processo de produção de biomodelos cirúrgicos são discutidas a seguir.

### 4.2.1 Fortalecimento e valorização dos recursos locais

Além da implicação social, priorizar a escolha de recursos locais (materiais, técnicos, financeiros, humanos) em relação aos de origem externa é também uma heurística econômica, pois pode levar a um ganho de vantagem competitiva. No caso de um hospital público, a principal vantagem de se ter o laboratório de impressão 3D como recurso local se configura pela redução de custos decorrente da redução no tempo das cirurgias, com economias tanto de hora de trabalho da equipe quanto de custos decorrentes da redução de riscos, já comentada anteriormente.

### 4.2.2 Promoção da economia local

Uma vez instalado, para a produção dos biomodelos o laboratório passa a consumir diversos tipos de insumos (filamentos, colas, peças de reposição), bem como de serviços de manutenção e reparo que podem ser adquiridos de empresas locais, o que ajuda a fortalecer cadeias de valor na própria cidade, com geração de trabalho e renda local. Além disso, os conhecimentos técnico-científicos gerados no laboratório e disseminados por meio de artigos, reportagens, palestras, cursos e outras formas de divulgação possibilita que outros atores externos ao hospital possam também criar novos modelos de negócio, havendo, portanto, um estímulo ao empreendedorismo de base local, o que é também favorecido pela existência de uma agência de inovação na universidade à qual o hospital está vinculado.

### 4.2.3 Promoção de organizações em rede

O desenvolvimento dos biomodelos implica na interação de profissionais de diferentes áreas (design, fisioterapia, odontologia, medicina, cirurgia), de forma interdisciplinar. Esta interação pode ocorrer tanto dentro do hospital quanto fora dele, com profissionais de outras instituições, tanto públicas quanto privadas, o que possibilita a troca de informações e conhecimentos que levam à criação de um círculo virtuoso de aprendizado com reflexos para todo o sistema de saúde. Neste sentido, é importante que o hospital ofereça uma boa estrutura de tecnologia da informação, com intranet e internet de qualidade e bons equipamentos de trabalho. De forma mais ampla e sistêmica, a criação e fortalecimento destas organizações em rede permite também que o sistema de saúde possa ampliar sua resiliência para responder com mais agilidade, assertividade e eficiência a futuras situações críticas, como a pandemia ocorrida nos últimos anos.

### 4.2.4 Aspectos tecnológicos: desafios de processo e benefícios

Os principais desafios tecnológicos para a produção de biomodelos são também comuns a outros tipos de artefatos desenvolvidos pelo Fab.i HU, sendo os principais os seguintes:

- Constante necessidade de atualização tecnológica, tanto de equipamentos quanto de materiais e processos, com risco de rápida obsolescência em ambos;
- Manutenção da infraestrutura, principalmente equipamentos de impressão 3D;

- Constante necessidade de busca de fontes de financiamento, tanto para a infraestrutura quanto para a manutenção de pessoal técnico qualificado a operar os equipamentos;
- Crescente demanda por produtos e serviços pelo hospital, exigindo ampliação da capacidade de atendimento do núcleo;
- Dependência de mão-de-obra fornecida pela própria universidade, sobretudo professores pesquisadores e bolsistas de pesquisa com contratos de curta duração que precisam ser renovados anualmente. No caso de novos bolsistas há necessidade de treinamento para capacitá-los no uso da infraestrutura e nos processos internos do laboratório.

Estes desafios apontam a necessidade de elaboração e execução de uma política e estratégia de inovação apropriada para o laboratório, a qual deve incluir obrigatoriamente as dimensões tecnológica, econômico-financeira, informacional, de capital intelectual, social e ambiental.

#### 4.2.5 Aspectos ambientais: um desafio futuro

Os aspectos ambientais envolvidos na produção de biomodelos para uso cirúrgico são um dos temas a serem investigados futuramente pela equipe, o que deverá ser feito considerando-se tanto a busca por uma maior eficiência ambiental (ecoeficiência) do ciclo de vida dos biomodelos, quanto a desmaterialização na produção e consumo (com foco no benefício final em vez do produto em si). Neste sentido, alguns aspectos já foram identificados pela equipe, entre eles o consumo de energia, a redução no desperdício de materiais e a possibilidade de reuso e/ou reciclagem, que serão investigados em um futuro artigo.

## 5 Conclusão ou Considerações Finais

Neste trabalho foi possível perceber a relevância do uso da impressão 3D na produção de biomodelos para uso cirúrgico, enquanto instrumento importante para o planejamento prévio de cirurgias, bem como a importância de se ter um laboratório voltado a essa atividade dentro de um hospital público, equipado com equipamentos de qualidade e em boa quantidade. Foi evidenciada também a importância de se adotar um processo interdisciplinar entre diferentes áreas, entre elas o Design, a Fisioterapia, a Odontologia e Medicina, em especial dos profissionais que atuam em ambiente cirúrgico. Os benefícios sociais e econômicos foram avaliados a partir de heurísticas do Design para a Sustentabilidade, o que permitiu uma leitura mais específica destes, evidenciando aspectos relevantes, bem como de oportunidades de melhoria nos processos. A dimensão ambiental será explorada pela equipe de pesquisa do Fab.i HU em futuros estudos.

## Referências

- FABRIS LUIZ, S.M; VICENTIN, J.A, SAMPAIO, C.P. **ENSUS 2023 – XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto** – UFSC – Florianópolis – 05 a 07 de Junho de 2023.
- FREITAS, R. Tratado de Cirurgia Bucocomaxilofacial. São Paulo, Editora Santos, 2006.
- GAURAV, D; JIBHAKATE, R; PRAMOD WALKE, A. Review on 3D printing maxillofacial surgery: Present work and future prospects, **Materials Today: Proceedings**, 2023.
- GOUVEIA, M.F. Aplicação da prototipagem rápida no planejamento de cirurgias craniofaciais. Tese de doutorado apresentada à comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia



Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica. Campinas, SP, 2009.

JACOBO, O.M., et al. Three-dimensional printing modeling: application in maxillofacial and hand fractures and resident training. **Eur J Plast Surg** 41, 137–146, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00238-017-1373-0>. Acesso em: 30 ago 2023.

KUMAR, K. P. A.; PUMERA, M. 3D-Printing to Mitigate COVID-19 Pandemic. *Advanced Functional Materials*, v. 31, n. 22, p. 2100450, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202100450>. Acesso em: 30 ago 2023.

LIMA, F.G.G. P., et al. Planejamento Virtual e novas tecnologias em cirurgia buco-maxilo-facial. **Repositório.ufu.br**, 2023.

MATOZINHOS, Isabela Penido et al. Impressão 3D: Inovações no campo da medicina. **Revista Interdisciplinar Ciências Médicas-mg**, Mg, p.143-162, 2017. Disponível em: <http://200.169.1.56/ojs/index.php/ricm/article/view/14/11>. Acesso em: 30 ago 2023.

MAZZONETTO, R. et al. Uso de biomodelos esteriolitográficos em cirurgia bucomaxilofacial. **R. Assoc. Paul. Cir. Dent.**, São Paulo, v.56, n.2, mar./abr. 2002.

MEURER, E. et al. Os biomodelos de prototipagem rápida em cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial. **R. Bras. Cir. Periodontia**, Curitiba, v.1, n.3, p.172-180, 2003.

MODONESI, et. Al. Cirurgia Ortognática: Assimetria Facial e a Limitação do Planejamento Manual: Correção com Planejamento Virtual (3D): Relato de caso. **FOL - Faculdade de Odontologia de Lins/Unimep**, 27(2) 63-73, jul.-dez. 2017.

PAIVA, T. N.; NOGUEIRA, C. C. Estudo comparativo das principais tecnologias de impressão 3D no Brasil. **Jnt-Facit Business and Technology Journal**, v. 1, p. 179–190, 2021.

PECKITT, N. S. et al., The cost of treatment. Disponível em: <http://www.maxfac.com/cost1.htm>. Acesso em: 29 ago. 2023.

PETZOLD, R.; Zeilhofer, H. F.; Kalender, W. A. “Rapid prototyping in medicine – basics and applications. *Computerized Medical Imaging and Graphics*”, Tarrytown, NY., v. 23, n.5, p.277-284, Sep./Oct. 1999.

RESNICK, C. M.; INVERSO, G.; WRZOSEK, M. Is There a Difference in Cost Between Standard and Virtual Surgical Planning for Orthognathic Surgery? **Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, v. 74, n. 9, p. 1827–1833, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joms.2016.03.035>. Acesso em: 29 ago 2023.

SAFIRA, L.C; MACIEL, A.S; SOUTO-MAIOR,J.C.C; AZEVEDO,R.A; CAVALCANTE,W.C; FRANCISCHONE,C.E; SARMENTO, V. A. Aplicação dos biomodelos de prototipagem rápida na Odontologia, confeccionados pela técnica da impressão tridimensional. **R. Ci. méd. biol.** 2010; 9(3):240-246.

SANTOS, A. et al. Design para sustentabilidade: dimensão econômica / Organizado por Aguinaldo dos Santos - Curitiba, PR: Insight, 2019.

SANTOS, A. et al. Design para a sustentabilidade: dimensão social / Aguinaldo dos Santos...[et al.] - Curitiba, PR : Insight, 2019.