

Impressão 3d aplicada à saúde pública: uma análise de possibilidades com base em produto, processo e paradigma

3d printing applied to public health: an analysis of possibilities based on product, process, and paradigm

Cláudio Pereira de Sampaio, Doutor, Universidade Estadual de Londrina (UEL)

claudiopereira@uel.br

Sonia Maria Fabris Luiz, Doutora, Universidade Estadual de Londrina (UEL)

sofabris@uel.br

Resumo

Este artigo apresenta um estudo crítico do desenvolvimento de soluções de aplicação da tecnologia de impressão 3D para a saúde pública em um hospital universitário da rede pública brasileira, tendo como contexto a pandemia de covid-19 que atingiu o Brasil e o mundo no ano de 2019. Apresenta como base teórica e metodológica norteadora o design e seus níveis de intervenção. Os autores descrevem três casos de aplicação distintos em nível local, sendo dois em nível de produto e um em nível de sistema, e os analisam de forma qualitativa utilizando um framework de análise em nível de produto, processo e paradigma, desenvolvido por Corsini e Moultrie (2019). Como resultado, são apresentados e discutidos aspectos críticos de cada caso, bem como oportunidades de melhoria e sugestões para novos estudos.

Palavras-chave: Saúde pública; impressão 3D; design para a sustentabilidade.

Abstract

This article presents a critical study of the development of solutions for the application of 3D printing technology for public health in a university hospital in the Brazilian public network, in the context of a pandemic of covid-19 that hit Brazil and the world in 2019. It presents as a theoretical and methodological basis the design and its levels of intervention. The authors describe three different application cases at the local level, being two at product level and one at system level, and analyze qualitatively using an analysis framework at the product, process and paradigm level, developed by Corsini and Moultrie (2019). As a result, critical aspects of each case are presented and discussed, as well as opportunities for improvement and suggestions for further studies.

Keywords: Public healthcare; 3d printing; design for sustainability.

1 Contexto geral: A pandemia de Covid-19 e a emergência da fabricação digital na saúde pública

A atual pandemia de Covid-19 causada pelo novo coronavírus (Sars-Cov-2) desenvolveu não só uma crise global de saúde pública, mas também de impacto crescente nas cadeias produtivas, de suprimentos e de serviços na área da saúde (CRAVEN, 2020). O surto de Covid-19 tem representado um desafio para hospitais públicos em todo o mundo e para os brasileiros, entre eles o Hospital Universitário de Londrina (HU/UEL), no que se refere à proteção dos profissionais de saúde que atuam no atendimento de pacientes infectados; na escassez de itens essenciais aos procedimentos clínicos (ventiladores, sondas de aspiração, filtros bacterianos, entre outros) e de diagnóstico (Ex. swab - cotonete nasal) (CORSINI, 2020). A necessidade de se prover produtos adequados, tanto para os profissionais de saúde (ex. Equipamentos de Proteção Individual ou EPIs) quanto para os pacientes, têm esbarrado em uma série de dificuldades que vão desde a dificuldade de importação de equipamentos; a compra de insumos por fornecedores nacionais, cuja oferta é muitas vezes insuficiente para atender a demanda com conseqüente aumento geral dos custos destes materiais; até a falta de adequação e flexibilidade das soluções ao contexto específico do HU. Tomando-se como exemplo o caso dos EPIs, atualmente o HU/UEL conta com centenas de profissionais que necessitam deste tipo de equipamento, incluindo máscaras, óculos, face Shields, aventais e gorros descartáveis, entre outros.

A dificuldade de compra dos EPIs durante a pandemia tem, por outro lado, estimulado o protagonismo de indivíduos e empresas que possuem equipamentos de fabricação digital, e sobretudo de impressão 3D, os quais têm se organizado de forma espontânea para ajudar a produzir equipamentos em diversas cidades do mundo e também do Brasil, incluindo Londrina. A fabricação digital abrange diversas tecnologias de manufatura para a produção de quantidades limitadas de produtos, e permite que a produção possa ser feita localmente a partir de modelos digitais 2d ou 3d, utilizando-se tanto tecnologias aditivas (como a impressão 3D), quanto subtrativas como a usinagem de controle numérico computadorizado (CNC) e o corte laser. Tais modelos podem ser alterados, testados e aprimorados rapidamente, o que facilita a melhoria, tanto dos produtos quanto do próprio processo de produção (CRAVEN, 2020). Em países em desenvolvimento diversos projetos de uso de fabricação digital para a área da saúde pública têm sido desenvolvidos; como exemplo, a organização britânica *Field Ready* desenvolveu, em parceria com a Universidade de Edimburgo e pesquisadores nepaleses, um catálogo de soluções imprimíveis em 3d para atender aos nepaleses vitimados por um grande terremoto ocorrido anos antes, e que sofriam com a falta de equipamentos nos hospitais locais. Como resultado, diversos equipamentos médicos foram produzidos localmente (CORSINI; MOULTRIE, 2019).

A fabricação digital tem sido um importante recurso alternativo de produção de EPIs para os hospitais públicos brasileiros, como atestam várias iniciativas colaborativas que emergiram pelo país desde o início do ano de 2020. Entre elas o Projeto Higia, Nutes e SOS3D, e diversos grupos formados por proprietários de impressoras 3D, organizados de forma espontânea via redes sociais como *Facebook* e *Whatsapp* em várias cidades brasileiras. Este tipo de ação é favorecido e potencializado pela oferta de plataformas online abertas, que disponibilizam soluções em regime de acesso aberto (*open source*) de produtos desenvolvidos colaborativamente, como Prusa Printers e Delve, entre outras. A rápida adoção de tais soluções no período de pandemia indica sua viabilidade técnica e econômica para o uso em hospitais públicos, nesta emergência (CHOONG, et al, 2020).

2 Contexto específico: O Hospital Universitário de Londrina (HU/UUEL)

O Hospital Universitário de Londrina (HU) é um Órgão Suplementar da Universidade Estadual de Londrina (UEL), e está vinculado administrativamente à Reitoria da Universidade e academicamente ao Centro de Ciências da Saúde, sendo reconhecido pelo Ministério da Educação e Ministério da Saúde, nos termos da Portaria Interministerial MEC/MS Nº 1.213 de 30.05.2014. Quanto à relevância do HU/UUEL, 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). Conta com 307 leitos, todos à disposição do SUS, e atende pacientes de cerca de 250 municípios do Paraná e de mais de 100 cidades de outros estados, principalmente São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rondônia. Sua abrangência regional atual é de cerca de 3.841.000 pessoas. Sendo um hospital-escola, o HU/UUEL tem também a função de espaço de aprendizagem para a prática dos futuros profissionais de saúde (Medicina, Fisioterapia, Enfermagem, Farmácia-Bioquímica e Odontologia), além de ser um campo de pesquisa *Stricto sensu e Lato sensu* para estas e outras áreas. O hospital conta com Habilitações em Assistência de Alta Complexidade na área de queimados; cardiovascular; traumatologia; ortopedia; neurologia/neurocirurgia; referência hospitalar em gestação de alto risco, dentre outros. No ano de 2019 o HU realizou cerca de 151.368 consultas médicas e não médicas e casos cirúrgicos. Desde o início da pandemia em 2020, o HU/UUEL é o hospital de referência para Covid-19 da 17ª Regional de Saúde do Governo do Estado do Paraná, que abrange 21 municípios, com cerca de um milhão de habitantes. Atualmente conta com 120 leitos exclusivos (UTIs e enfermarias) para casos suspeitos/confirmados de moderada a grave complexidade. Com isso o hospital deu salto de 307 para 451 leitos disponibilizados, assim como atendimento de referência na rede de urgência e emergência, incidindo para uma população estimada em 2 milhões de habitantes de 96 municípios da macrorregião Norte do Estado. Este fato consolida o HU/UUEL como o segundo maior hospital público do Paraná, 100% SUS¹. Tais números demonstram a significativa relevância do HU/UUEL para a população não apenas de Londrina, mas de várias cidades adjacentes e apresenta excelente oportunidade de aplicação da fabricação digital em diversas frentes, incluindo infectologia, pediatria, neurologia, pneumologia, cirurgia e ortopedia.

3 Ontologia (natureza) do problema: Complexidade e *wicked problems*

A delimitação ontológica representa uma etapa relevante neste estudo, pois possibilita caracterizar a natureza do problema (o que é) em termos do seu nível de ordem interna, ou seja, de complexidade. Esta delimitação ajuda a definir, em grande parte, a atitude científica (epistemologia) e o modo (metodologia) de como o problema será abordado posteriormente. Neste sentido, e a partir das categorizações propostas por Snowden (2005) – problemas simples, complicados, complexos e caóticos – propomos categorizar o problema da aplicação da impressão 3D na saúde pública, no contexto da pandemia de covid-19 como um problema do tipo **complexo**, e até mesmo com alguns elementos de **caos** no que se refere ao surgimento e rápida expansão da pandemia. Tal classificação se justifica pelo fato de que este problema abrange uma diversidade de aspectos (sociais, econômicos, tecnológicos, políticos) que se influenciam de forma contínua e em diferentes escalas (local, nacional, mundial), e envolvem uma variedade significativa de atores (profissionais de saúde, pacientes, administradores, fabricantes, pesquisadores, entre outros). Estas características, somadas à dificuldade de definição e delimitação clara do problema, permitem situar estes

problemas como *wicked problems*, ou seja, problemas que mudam com o tempo, e para os quais pode haver uma resposta mais adequada, mas nunca uma solução permanente (RITTEL, WEBER, 1973).

4 Epistemologia do problema: Pensamento de Sistemas, Complexidade, Design para a Sustentabilidade, Design de Sistemas, Design Thinking

Problemas do tipo complexo exigem uma atitude de intervenção que se baseia, conforme Snowden (2005), em três ações principais: sondar (*probe*), extrair significado (*sense*) e responder (*respond*), em ciclos contínuos de aprendizado cada vez mais aprofundado sobre o problema. Esta abordagem decorre de um campo do conhecimento denominado Pensamento (ou Ciência) de Sistemas (*Systems Thinking, Systems Science*), e especialmente de uma corrente teórica chamada Ciência da Complexidade (*Complexity Science*).

4.1 Pensamento de Sistemas (*Systems Thinking*)

O Pensamento de Sistemas é uma área de estudos de natureza interdisciplinar que busca a compreensão de fenômenos de natureza complexa, incluindo interações entre o ser humano, suas atividades e tecnologia (sistema sociotécnico) e com o meio ambiente, em nível de sistemas. Compreende-se um sistema como “um todo integrado do qual as propriedades essenciais emergem das relações entre as partes que o compõem” (ISON, 2010), e também como “um todo, uma entidade que um observador pode cognitivamente dissociar de um contexto”, e “exibe uma certa forma de organização que determina seu caráter individual” (VANDENBROECK, 2015). Nos problemas complexos o aprendizado só pode ser obtido de forma retrospectiva, ou seja, observando o fenômeno depois que ele ocorreu, a fim de retirar *insights* que possam alimentar novas intervenções caso outro fenômeno similar ocorra. Tal processo é bastante semelhante ao utilizado no *design thinking*, no qual a produção e implementação rápida de soluções por meio de artefatos resulta em ciclos contínuos de aprendizado. Neste artigo, o pensamento de sistemas fornece base conceitual para os níveis de análise do processo e paradigma, bem como para a solução 3 (núcleo de fabricação digital), que serão apresentados e discutidos mais adiante.

4.2 Design: solução de problemas, exploração de oportunidades, criação de valor (inovação), interdisciplinaridade

O pensamento por meio do design, também chamado de *Design Thinking*, é uma forma específica de pensar sobre a solução de problemas amplos e complexos, centrada em empatia, criatividade e experimentação, como também de um método não-linear, iterativo, essencialmente exploratório e sistêmico de resolver estes problemas. O *design thinking* oferece uma nova forma de fazer algo, de adequá-lo a um sistema de negócios já existente ou novo, e de gerar valor para um novo produto, serviço ou processo. Apresenta natureza humanista, intuitiva, que leva em consideração tanto o aspecto emocional quanto de funcionalidade do usuário (BROWN, 2010). A noção de valor deve incluir, além do usuário e do negócio, também benefícios para a sociedade como um todo e para os ecossistemas naturais. Neste sentido, o Design para a Sustentabilidade consiste em uma abordagem ampliada do Design que busque contemplar de forma equilibrada as principais dimensões de sustentabilidade (ambiental, social e econômica), seja no redesign de produtos existentes, no projeto de novos produtos e serviços em substituição aos atuais, no projeto de sistemas produto-serviço intrinsecamente sustentáveis, e até mesmo no desenvolvimento de novos

cenários de estilos de vida sustentáveis (MANZINI; VEZZOLI, 2002). A fim de ampliar este potencial de sustentabilidade, é relevante também para este estudo a abordagem do Design de Sistemas (*Systems Design*), que tem por objetivo a criação de sistemas sustentáveis, voltados ao atendimento das necessidades humanas (VEZZOLI, 2010) no contexto de problemas complexos (*wicked problems*) de sustentabilidade. A questão dos produtos, serviços e sistemas para a saúde pública representa um problema deste tipo, que pode ser abordada por meio de *frameworks* teóricos próprios (DA COSTA JUNIOR; DIEHL; SNELDERS, 2019).

5 A tecnologia: Fabricação digital e a impressão 3D

Conforme Gershensfeld (2012) a fabricação digital refere-se aos processos que utilizam ferramentas controladas por computador, cuja origem pode remeter ao primeiro processo de usinagem controlada numericamente, desenvolvido em 1952 por pesquisadores do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Estes processos incluem a impressão 3D em suas várias formas, usinagem controlada por computador (CNC), corte laser e outros. Segundo Gershensfeld, a parte digital refere-se ao controle computacional, enquanto a parte material em si é, de fato, analógica. Já existem iniciativas de pesquisa, no entanto, que buscam tornar digital também a parte material, o que deverá representar o futuro destas tecnologias nos próximos anos. Destaca-se aqui a impressão 3D, principal processo de produção de objetos em pequena escala, e que pode ser classificado em três categorias (VOLPATO, 2007): Com base em líquidos (ex. Estereolitografia), com base em sólidos (ex. Deposição por Material Fundido ou FDM), e com base em pó (ex. Sinterização Seletiva a Laser).

6 Classificação de atividades: modelo teórico DfSS Framework

O instrumento Design for Social Sustainability Framework (DfSS) foi desenvolvido por Corsini e Moultrie (2019) para apoiar o desenvolvimento de projetos humanitários e de desenvolvimento que utilizam a fabricação digital como tecnologia principal, a fim de aprimorar a tomada de decisão no início do processo e avaliar a sustentabilidade dos produtos ao final. O DfSS é composto por três níveis de avaliação (produto, processo e paradigma), cada um abrangendo aspectos específicos de sustentabilidade (Figura 1). Devido à efetividade e facilidade de uso já exemplificada por Corsini e Moultrie (2019) em outros casos de aplicação, este framework será utilizado como ferramenta de avaliação também neste artigo, no qual serão analisados três casos de aplicação da fabricação digital para a saúde pública.

Paradigma	14) Avanço Cria postos de trabalho no país? Aproveita as habilidades existentes? Desenvolve novas habilidades?		15) Empoderamento Reduz a dependência? Empodera pessoas para desenvolver suas próprias soluções?
	9) Produção local Pode ser produzido localmente?	10) Controle e reparo local Pode ser controlado, mantido e reparado localmente?	11) Colaboração Considera e engaja todos os stakeholders?

Produto	1) Necessidade O usuário ou comunidade precisam da solução? Respeita a dignidade humana?	5) Qualidade É robusta e duradoura? Atende aos requisitos e normas?	12) Transparência Há documentação de suporte? A informação é compartilhada?	16) Sistemicidade A solução é isolada ou desencadeia uma mudança social mais ampla?
	2) Adequação É social, cultural e ambientalmente apropriada?	6) Ajustabilidade É flexível e adaptativo às mudanças do contexto?		
	3) Acesso É acessível agora e no futuro?	7) Inclusividade É inclusiva para grupos marginalizados ou prioriza grupos específicos de usuários?	13) Escalabilidade O processo produtivo é replicável e escalável?	
	4) Usabilidade É compreensível e fácil de usar?	8) Complementaridade Suporta soluções existentes e evita redundâncias desnecessárias?		

Figura 1. Design for Social Sustainability Framework para projetos humanitários e de desenvolvimento (Fonte: CORSINI, MOULTRIE, 2019).

7 Resultados

7.1 Solução 01: Suportes para *face shields* (reposição de peças)

O autor deste projeto de pesquisa participou de um grupo colaborativo formado por cerca de 40 pessoas e empresas na cidade de Londrina/PR para a produção de equipamentos de proteção do tipo *face shield* para o HU/UEL. Este equipamento é composto de um suporte impresso em 3D (Figura 2), ao qual é fixada uma lâmina transparente e flexível de plástico tereftalato de polietileno (PET), que funciona como barreira microbológica protegendo o profissional de saúde de eventuais contaminações ao atender pacientes infectados. A iniciativa foi realizada durante os meses de abril e maio de 2020, e cerca de duas mil máscaras foram entregues ao hospital universitário, das quais 120 foram produzidas pelo autor deste projeto. Esta iniciativa foi amplamente divulgada na mídia local.



Figura 2 - Suportes para *face shields* produzidos utilizando impressão 3D. Elaborado pelos autores

Análise da solução 01 com base no DfSS Framework

A fim de facilitar a visualização do nível de desempenho de sustentabilidade social para cada um dos aspectos de análise, utilizou-se uma codificação simples por meio de três cores: verde (aspectos contemplados de forma satisfatória na solução analisada), amarelo (aspectos que precisam ser melhorados e requerem maior atenção) e vermelho (aspectos críticos que precisam ser considerados e ainda não foram contemplados de forma satisfatória).

Considerando cada um dos níveis do DfSS framework (Figura 3), pode-se considerar que, em nível de produto, a solução 1 era necessária para a situação emergencial em que foi criada (1), mas sem preocupações maiores com as questões de adequação (2), usabilidade (4), qualidade (5), pois apresentava alguns problemas de desconforto no uso e falta de qualidade provocados pelas limitações do próprio processo produtivo. Algumas dificuldades de complementaridade (8) também puderam ser observadas, principalmente no que diz respeito a redundâncias desnecessárias, uma vez que foram identificadas soluções mais eficientes em termos de uso de materiais e do processo produtivo. Por exemplo, alguns pesquisadores já haviam desenvolvido *face shields* feitas de um único material (chapa PETG), sem a necessidade de impressão 3D dos suportes em poliácido láctico (PLA), mas como o processo de produção já estava em andamento o grupo de colaboradores optou por seguir em frente com esta última solução. Ainda sobre o nível de produto, havia dificuldades no compartilhamento de informações técnicas sobre o processo de impressão (12), bem como limitações de escalabilidade (13) inerentes ao processo escolhido, que apesar de ser replicável e rapidamente ajustável, limitava a quantidade de peças produzidas diariamente pela rede de colaboradores. No que diz respeito ao processo, deve-se ressaltar os benefícios advindos da impressão feita na própria cidade (9) de forma aberta e colaborativa por meio de uma rede de colaboradores altamente engajados (11), e que possibilitou a manutenção, reparo e rápida substituição de componentes da *face shield* em nível local (10).

Paradigma	14) Avanço Cria postos de trabalho no país? Aproveita as habilidades existentes? Desenvolve novas habilidades?		15) Empoderamento Reduz a dependência? Empodera pessoas para desenvolver suas próprias soluções?	
	9) Produção local Pode ser produzido localmente?	10) Controle e reparo local Pode ser controlado, mantido e reparado localmente?	11) Colaboração Considera e engaja todos os stakeholders?	
Produto	1) Necessidade O usuário ou comunidade precisam da solução? Respeita a dignidade humana?	5) Qualidade É robusta e duradoura? Atende aos requisitos e normas?	12) Transparência Há documentação de suporte? A informação é compartilhada?	16) Sistemicidade A solução é isolada ou desencadeia uma mudança social mais ampla?
	2) Adequação É social, cultural e ambientalmente apropriada?	6) Ajustabilidade É flexível e adaptativo às mudanças do contexto?		
	3) Acesso É acessível agora e no futuro?	7) Inclusividade	13) Escalabilidade	

		É inclusiva para grupos marginalizados ou prioriza grupos específicos de usuários?	O processo produtivo é replicável e escalável?	
	4) Usabilidade É compreensível e fácil de usar?	8) Complementaridade Suporta soluções existentes e evita redundâncias desnecessárias?		

Figura 3. Avaliação retrospectiva da solução 1 por meio do DfSS Framework (Fonte: CORSINI, MOULTRIE, 2019).

No nível de paradigma, pode-se considerar com parcialmente positivo o empoderamento da comunidade de colaboradores (15) em utilizar uma tecnologia aberta de impressão 3D, seja nos equipamentos de impressão, nos softwares de código aberto ou mesmo no uso de modelos abertos disponibilizados pela comunidade aberta internacional, reduzindo a dependência de fornecedores externos, ainda que de forma temporária. No entanto, não se trata de uma solução que chega a transformar o contexto econômico, criando novos negócios e postos de trabalho (15), embora tenha utilizado habilidades existentes na comunidade *maker* da cidade, e até mesmo ajudado a desenvolver algumas novas habilidades, incluindo a articulação rápida e orgânica (a rede cresceu em tamanho a cada semana) da própria rede. Também parece precoce afirmar que tal ação desencadeia uma mudança social e sistêmica mais ampla (16), mas a rápida reação da rede de colaboradores indicou que havia já um potencial colaborativo e técnico latente pronto para ser utilizado, e que quando foi acionado respondeu de forma apropriada. Tal fato pode apontar indícios de uma mudança social maior caso este potencial seja bem aproveitado e incentivado no futuro.

7.2 Solução 02: Conector para sistema fechado de aspiração de fluidos

Esta solução foi desenvolvida graças a uma parceria entre os autores, ambos docentes da UEL, do departamento de Design e Fisioterapia, a fim de solucionar o problema da falta de acesso a equipamento adequado para aspiração de fluidos (secreção pulmonar), sem expor a via aérea de pacientes infectados com conseqüente disseminação do vírus no ambiente.

A escassez, a alta procura no cenário mundial e o aumento substancial de preço de um equipamento de aspiração fechada foram os motivadores para se buscar uma solução que pudesse ser desenvolvida e produzida localmente. A solução foi desenvolvida no período de abril a junho de 2020 utilizando-se um processo de caráter altamente experimental com base em design com tecnologias de modelagem 3D digital (Figura 4a) e impressão 3D (Figura 4b), e encontra-se atualmente em fase final de validação junto ao HU/UEL, devendo ser divulgada e implantada em breve.

Estimativas preliminares apontaram uma redução significativa de custo para o equipamento produzido localmente, ficando em torno de 35% do preço de venda do equipamento importado. A adoção emergencial destas duas soluções por parte do HU reforça a viabilidade técnica e econômica da fabricação digital para o uso em hospitais públicos e, portanto, a relevância e potencial de implementação do projeto aqui proposto.

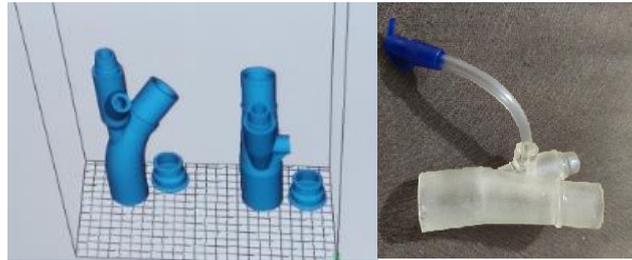


Figura 4 (a) e (b) - Protótipo do conector.
Fonte: elaborado pelos autores.

Análise da solução 02 com base no DfSS Framework

Considerando-se o DfSS (Figura 5), a solução 2 apresenta no nível do produto aspectos positivos, pois trata-se de um equipamento: extremamente necessário e adequado para o atendimento dos pacientes e proteção dos profissionais de saúde (1, 2); acessível desde que seja feita a aquisição do equipamento e insumos necessários e treinamento do pessoal para o desenvolvimento e produção (3); com uma usabilidade e qualidade ligeiramente inferior ao equipamento de mercado, mas suficiente para a tarefa (4); flexível e adaptável em termos de design devido ao próprio processo de desenvolvimento e produção adotado, em pequena escala (6); inclusivo, ao possibilitar adaptações de design para grupos específicos, como crianças ou idosos (7); que aproveita de forma complementar componentes disponíveis no mercado nacional combinando-os com a impressão 3D (8); replicável devido ao processo utilizado (13), embora com algumas limitações de escala inerentes à tecnologia, mas que se mostra adequado à necessidade de pequenos lotes por parte do hospital. A transparência da informação é ainda um aspecto a ser melhorado, com a elaboração de documentação técnica adequada (12).

No nível do processo, foram identificadas vantagens significativas quanto à possibilidade de produção local e próxima ao hospital (9), bem como o controle e reparo (10), embora a colaboração (11), principalmente na prototipagem e produção, não seja um aspecto tão relevante como no caso da solução 1 (*face shields*) devido ao processo de impressão adotado, *Digital Light Processing* (DLP), que limita a quantidade de colaboradores que tenham esse tipo de equipamento; mesmo assim foi possível contar com a ajuda de um profissional de odontologia, externo ao hospital, que tinha o equipamento adequado.

Paradigma	14) Avanço Cria postos de trabalho no país? Aproveita as habilidades existentes? Desenvolve novas habilidades?		15) Empoderamento Reduz a dependência? Empodera pessoas para desenvolver suas próprias soluções?	
	9) Produção local Pode ser produzido localmente?	10) Controle e reparo local Pode ser controlado, mantido e reparado localmente?	11) Colaboração Considera e engaja todos os stakeholders?	
Produto	1) Necessidade	5) Qualidade É robusta e duradoura? Atende aos requisitos e normas?	12) Transparência	16) Sistemicidade

	O usuário ou comunidade precisam da solução? Respeita a dignidade humana?		Há documentação de suporte? A informação é compartilhada?	A solução é isolada ou desencadeia uma mudança social mais ampla?
	2) Adequação É social, cultural e ambientalmente apropriada?	6) Ajustabilidade É flexível e adaptativo às mudanças do contexto?		
	3) Acesso É acessível agora e no futuro?	7) Inclusividade É inclusiva para grupos marginalizados ou prioriza grupos específicos de usuários?	13) Escalabilidade O processo produtivo é replicável e escalável?	
	4) Usabilidade É compreensível e fácil de usar?	8) Complementaridade Suporta soluções existentes e evita redundâncias desnecessárias?		

Figura 5. Avaliação retrospectiva da solução 2 por meio do DfSS Framework (Fonte: CORSINI, MOULTRIE, 2019).

No nível de paradigma ainda não há condições de responder se a solução promove avanço efetivo na criação de oportunidades de trabalho (14), embora o projeto tenha se beneficiado de habilidades técnicas existentes (e até mesmo desenvolvido algumas novas), tanto de pesquisadores quanto de parceiros privados, pois o consultório odontológico parceiro do projeto já utiliza a impressora DLP em seu processo de trabalho. A redução da dependência de fornecedores externos é um dos pontos altos esperados com a implementação da solução (15), embora a autonomia de desenvolvimento pelos *stakeholders* seja ainda limitada pela falta de um sistema de capacitação adequado à solução desenvolvida. Em termos sistêmicos (16), não se pode ainda afirmar que a solução provoca ou não uma mudança social maior, por exemplo em termos de maior acesso pela população, embora esta seja uma das expectativas dos pesquisadores ao se implementar esta solução no hospital.

7.3 Solução 03: Núcleo de fabricação digital e inovação do HU/UEL

Descrição da solução 03

A partir do desenvolvimento dos projetos anteriores mencionados e da crise provocada pela pandemia de COVID-19, que vem afetando a área da saúde, vislumbramos a necessidade e a possibilidade de criar e implementar um espaço de fabricação digital e inovação junto ao Hospital Universitário de Londrina (Figura 6a e 6b). CARSTEN et al. afirmam a importância de estabelecer o núcleo de fabricação na área física do hospital, para fornecer projetos específicos às necessidades dos pacientes e dos profissionais da área, de forma rápida e sob demanda, a um baixo custo. Neste contexto, acreditamos que este núcleo de fabricação, habilitado e interdisciplinar, apresenta grande potencial, pois tem por objetivo pesquisar, desenvolver, produzir e fornecer, soluções e equipamentos hospitalares personalizados, para os profissionais da saúde e para os diversos setores do hospital, em quantidade suficiente e no tempo correto, a fim de evitar contaminação pela COVID-19.

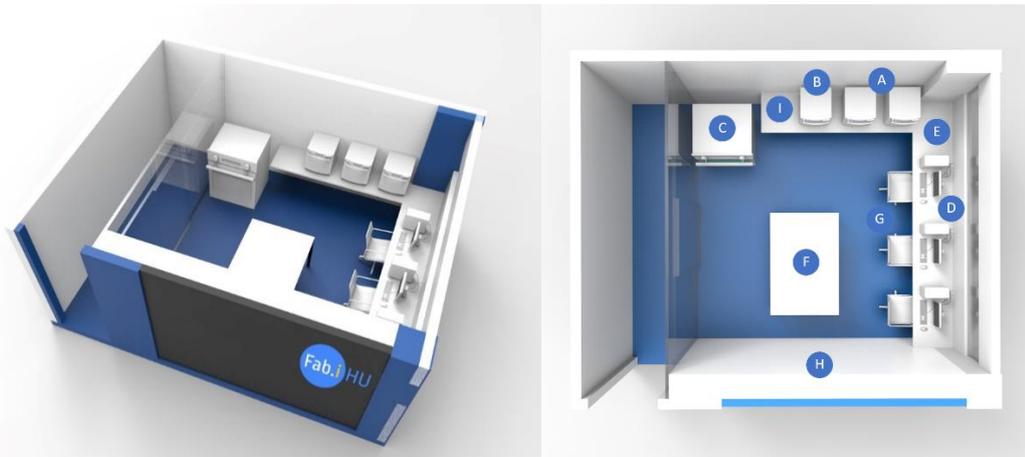


Figura 6 (a) e (b). Proposta de layout para o núcleo de fabricação digital do HU (Fonte: Sampaio, 2019).

Análise da solução 03 com base no DfSS Framework

A solução 3 apresenta características distintas das soluções 1 e 2, pois enquanto as duas primeiras referem-se a produtos ela se baseia em um sistema, o qual inclui produtos, processos, serviços e uma estratégia de organização e operação. Além disso, enquanto os produtos analisados já foram ou estão em desenvolvimento, a solução 3 encontra-se ainda em fase de projeto, e portanto só pode ser avaliada de forma prospectiva. Feita esta observação, pode-se considerar que os requisitos de sustentabilidade social do framework DfSS (Figura 7) deverão funcionar como diretrizes, tanto projetuais quanto de avaliação, para o desenvolvimento de qualquer produto que venha a ser desenvolvido no núcleo de fabricação digital. Isso vale para também o nível de processo e paradigma. A avaliação destes requisitos foi feita, neste caso, considerando-se as potenciais dificuldades de atendimento para cada um deles.

No nível de produto, deve-se considerar que: o núcleo de fabricação digital deverá desenvolver produtos para diversas necessidades do hospital (1), dependendo da demanda e urgência, e que sejam apropriadas ao contexto da instituição (2), acessíveis para ela e para o público-alvo (3), e com usabilidade (4), qualidade (5), ajustabilidade (6), inclusividade (7) e complementaridade (8) adequadas. Destes, e com base no aprendizado obtido nas experiências com produtos (Soluções 1 e 2), pode-se inferir que poderão ser encontradas maiores dificuldades nas questões de usabilidade (4) e qualidade (5), principalmente ao se desenvolver e produzir produtos com maior complexidade, e devido a limitações tecnológicas próprias dos processos de impressão 3D. A transparência (12) por meio de documentação adequada, aberta e compartilhada, representa outro desafio para o sucesso do sistema, assim como a escalabilidade (13), que deve ser prevista com atenção para cada tipo de solução demandada pelo hospital.

No nível de processo, a possibilidade de produção (9), controle e reparo local (10) são relativamente fáceis de se atender pelas próprias características intrínsecas à fabricação digital; a colaboração (11), no entanto, apresenta um nível maior de dificuldade de implementação, pois exige uma capacidade de articulação de atores que precisa ser construída cuidadosamente.

Finalmente, no nível de paradigma deve-se considerar com atenção alternativas que permitam ao sistema criar novas fontes de trabalho e renda (14), seja no próprio sistema ou a partir de novos negócios que possam ser criados ou aprimorados a partir dele. Tanto a

identificação das habilidades já existentes no sistema quanto a criação de novas devem ser consideradas, uma vez que se trata de um tipo de sistema que requer um alto nível de conhecimento técnico e científico.

Paradigma	14) Avanço Cria postos de trabalho no país? Aproveita as habilidades existentes? Desenvolve novas habilidades?		15) Empoderamento Reduz a dependência? Empodera pessoas para desenvolver suas próprias soluções?	
	9) Produção local Pode ser produzido localmente?	10) Controle e reparo local Pode ser controlado, mantido e reparado localmente?	11) Colaboração Considera e engaja todos os stakeholders?	
Produto	1) Necessidade O usuário ou comunidade precisam da solução? Respeita a dignidade humana?	5) Qualidade É robusta e duradoura? Atende aos requisitos e normas?	12) Transparência Há documentação de suporte? A informação é compartilhada?	16) Sistemicidade A solução é isolada ou desencadeia uma mudança social mais ampla?
	2) Adequação É social, cultural e ambientalmente apropriada?	6) Ajustabilidade É flexível e adaptativo às mudanças do contexto?		
	3) Acesso É acessível agora e no futuro?	7) Inclusividade É inclusiva para grupos marginalizados ou prioriza grupos específicos de usuários?	13) Escalabilidade O processo produtivo é replicável e escalável?	
	4) Usabilidade É compreensível e fácil de usar?	8) Complementaridade Suporta soluções existentes e evita redundâncias desnecessárias?		

Figura 7. Avaliação prospectiva da solução 3 por meio do DfSS framework (Fonte: CORSINI, MOULTRIE, 2019).

A capacitação dos diversos atores do sistema é outro aspecto que merece atenção, a fim de criar maior autonomia e capacidade de ação (15), reduzindo a necessidade de dependência externa. Uma vez que estes critérios de sustentabilidade social sejam considerados com profundidade no sistema, e buscando-se uma articulação mais ampla com outras redes de colaboração semelhantes em nível local, regional e nacional, a chance de se promover uma mudança social mais ampla, evitando assim que o sistema seja apenas uma solução isolada. Tal sistemicidade representa, portanto, um desafio significativo a ser enfrentado no desenvolvimento do sistema.

Discussão

O instrumento *DfSS framework* permitiu avaliar de forma clara e objetiva, ainda que qualitativa, o tripé produto, processo e paradigma, a fim de que seja possível criar soluções com foco não só no usuário, mas também no sistema. O *DfSS* permite ampliar o todo, baseado no design, na fabricação, no uso e na manutenção, entre outros, com consequente

expansão do impacto social (CORSINI E MOULTRIE, 2019). Esses autores afirmam ser este um instrumento capaz de fornecer diretrizes para o planejamento e avaliação de projetos. O presente instrumento vem de encontro às necessidades da solução 1, 2 e 3 expostas neste artigo, pois possibilita uma visão clara, ampla e transparente das etapas de planejamento e avaliação do processo do projeto. O quadro possibilitou uma análise mais profunda do impacto das intervenções, auxiliando na identificação de fatores que podem ser negligenciados durante o andamento do projeto, o que pode minimizar os erros.

Em relação ao nível de sustentabilidade das três soluções apresentadas, foi possível observar que as duas primeiras, embora sendo produtos, apresentaram características diferentes; o fato da primeira solução (suporte para face shield) ser baseada em um modelo aberto disponibilizado pela comunidade aberta para impressão e eventuais alterações implicou em algumas limitações de adequação, usabilidade, qualidade e complementaridade, as quais foram menos críticas na segunda solução (conector para sistema fechado), embora esta última ainda se encontre em desenvolvimento. Tal comparação evidencia também as possibilidades e limitações dos processos de impressão 3D por deposição, no caso da solução 1, e DLP, na solução 2, notadamente em termos de escalabilidade e envolvimento dos stakeholders. Ambas oferecem oportunidades de avanço econômico e social, mas este é um aspecto ainda a ser explorado, e um dos motivos pelos quais foi desenvolvida a solução 3 (núcleo de fabricação digital). Este núcleo foi pensado como uma resposta para melhor atender às questões em nível de processo e paradigma, ao mesmo tempo em que explora os aprendizados obtidos com as experiências em nível de produto anteriores. Além disso, a proposta sistêmica do núcleo tem sido reconhecida como valiosa por atores relevantes do sistema, o que resultou na aprovação recente deste projeto em um edital de fomento em nível estadual, o qual permitirá viabilizar a compra dos equipamentos e insumos necessários ao seu funcionamento.

Referências

BROWN, T. **Design Thinking**: Uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Rio de Janeiro: Alta Books, 2010.

CRAVEN, M.; LIU, L.; MYSORE, M.; WILSON, M. COVID-19: Implications for business. **McKinsey & Company**. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/COVID-19-implications-for-business>. Acesso em: 8 fev. 2021.

CHOONG, Y.Y.C. *et al.* The global rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic. **Nature Reviews Materials**. V. 5, p. 637–639, 2020.

CORSINI, L.; DAMMICCO, V.; MOULTRIE, J. Frugal innovation in a crisis: the digital fabrication maker response to COVID-19. **R&D Management**, Cambridge, v. 51, n. 2, p. 195-210, 2021.

CORSINI, L.; MOULTRIE, J. Design for social sustainability: Using digital fabrication in the humanitarian and development sector. **Sustainability**, Suíça, v. 11, n. 13, 2019.

DA COSTA JUNIOR, J.; DIEHL, J. C.; SNELDERS, D. A framework for a systems design approach to complex societal problems. *Design Science*, v.5 e.2, Cambridge University Press, 2019.

ELLEN MCARTHUR FOUNDATION. Disponível em <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> Acesso em: 12 jan 2020.

GERSHENFELD, N. How to Make Almost Anything: The Digital Fabrication Revolution. **Foreign Affairs**, v. 91, n. 6, p. 43–57, 2012. Disponível em:

[http://access.library.unisa.edu.au/login?url=http://search.proquest.com/docview/1223498609?accountid=14649%5Cnhttp://www.library.unisa.edu.au/applications/findit/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-](http://access.library.unisa.edu.au/login?url=http://search.proquest.com/docview/1223498609?accountid=14649%5Cnhttp://www.library.unisa.edu.au/applications/findit/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&rft_id=info:sid/ProQ%3Aabiglobal&rft_val_fmt)

[8&rft_id=info:sid/ProQ%3Aabiglobal&rft_val_fmt](http://access.library.unisa.edu.au/login?url=http://search.proquest.com/docview/1223498609?accountid=14649%5Cnhttp://www.library.unisa.edu.au/applications/findit/?ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&rft_id=info:sid/ProQ%3Aabiglobal&rft_val_fmt). Acesso em: 08 jun 2020.

ISON, R. **Systems Practice: How to Act in a Climate-Change World**. Londres: Springer, 2010.

JOHANSSON, A.; KISCH, P.; MIRATA, M. Distributed economies - A new engine for innovation. **Journal of Cleaner Production**, v.13, n. 10/11, p. 971-979, 2005.

KOHTALA, C. Addressing sustainability in research on distributed production: an integrated literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 654-668, 2015.

MACEDO, G. M. Utilização de tecnologia de prototipagem rápida no processo de desenvolvimento de produto: um estudo de caso, 2011, VII Congresso Nacional de Excelência Em Gestão (eletrônico). Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

MANZINI, E.; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp – Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

NISHIMURA, P. L. Goulart; RODRIGUES, O. V.; BOTURA JÚNIOR, G.; SILVA, L. A. Prototipagem Rápida: Um comparativo entre uma tecnologia aditiva e uma subtrativa, 2016, Belo Horizonte, 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e desenvolvimento em design, p. 4481- 4491, 2016.

OSTERWALDER, A; PIGNEUR, Y. **Business Model Generation – Inovação em modelos de negócios: um manual para visionários, inovadores e revolucionários**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2011.

RITTEL, H.W.J.; WEBBER, M.M. Dilemmas in a general theory of planning. **Policy Sci**, n. 4, p. 155-169, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01405730>. Acesso em: 14 mar 2019.

SANTOS, A. **Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins**. Curitiba: Insight, 2018.

SNOWDEN, D. J. Multi-ontology sense making: A new simplicity in decision making. **Informatics in Primary Care**, v. 13, n. 1, p. 45–53, 2005.

VANDENBROECK, P. **Systems thinking and four forms of complexity**. Antuérpia: Shiftn, 2015.

VEZZOLI, Carlo. **Design de sistemas para sustentabilidade: teoria, métodos e ferramentas para o design sustentável de “sistemas de satisfação”**. Salvador: EDUFBA, 2010.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.