

CAPOTE PNEUMOLÓGICO: Design para Saúde e Manufatura Distribuída Através de Processos Produtivos Adaptados

PNEUMOLOGIC GOWN: design for healthcare and distributed manufacturing through adapted production processes

CORRÊA, Pedro Themoteo Alves; MSC.; Biodesignlab/DASA/PUC Rio

pedrothemoteo@gmail.com

SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; Ph.D.; Biodesignlab/DASA/PUC Rio, INT

jorge.lopes@puc-rio.br

CORREIA DE MELO, João Victor A. de Menezes; Ph.D.; Biodesignlab/DASA/PUC Rio

jvictor@puc-rio.br

Resumo

O presente artigo relata o desenvolvimento da pesquisa de um EPI têxtil para proteger os profissionais de saúde de contaminação por patógenos aéreos e torná-lo mais especializado e específico para cumprir esta função. A partir da pesquisa através do design (RTD – Research Through Design), da aplicação de ferramentas de projeto e métodos de prototipagem o capote foi produzido. Foram também desenvolvidas formas de produção através de soldagem de TNT por meio de prensas de sublimação e máquinas de costura, cujos resultados obtidos foram amadurecidos em feedbacks de equipe do Biodesignlab da PUC Rio. Os resultados apresentam contribuições para o campo e demonstram um avanço no design de EPIs têxteis, ao fornecer um modelo adaptável para futuras crises de saúde pública.

Palavras-Chave: COVID-19; design para saúde; EPI têxtil; capote descartável.

Abstract

This article reports on the development of a textile PPE to protect healthcare professionals from contamination by airborne pathogens and make it more specialized and specific to fulfill this function. Based on research through design (RTD), the application of design tools and prototyping methods, the gown was produced. Production methods were also developed through SMS welding using sublimation presses or sewed with sewing machines, the results obtained were matured with feedback from the Biodesignlab team at PUC Rio. The results present contributions to the field and demonstrate an advance in design of textile PPE, while providing an adaptable model for future public health crises.

Keywords: COVID-19; design for healthcare; textile PPE; disposable cape.

1 Objetivos:

O objetivo principal deste artigo é documentar o desenvolvimento de um novo modelo de capote baseado nas lições aprendidas sobre como lidar com a pandemia da COVID-19, cujo projeto encontra-se no final de execução. O interesse do artigo é entender quais melhorias esse EPI têxtil poderia receber para se tornar capaz de proteger os profissionais de saúde em casos de pandemias de aerossóis e o que o torna especializado para cumprir esta função.

Como objetivo secundário, pretende-se descrever o processo produtivo de prensagem a quente a partir de prensas de sublimação adaptadas. Também descrever a metodologia de desenvolvimento aplicada e como ela se aplica à pesquisa através do design para inovação social.

2 Introdução

Devido à transmissão acelerada, a Organização Mundial da Saúde classificou o contexto de contaminação da COVID-19 como uma pandemia - propagação continental ou global com alto poder de propagação (Broering, 2021). Com base no conhecimento prévio sobre ameaças de epidemias e no que era conhecido até agora, a OMS sugeriu aos governos mundiais a aplicação de políticas de distanciamento social, o uso de máscaras filtrantes para toda a sociedade e o uso de EPI completos pelo pessoal médico e pelas ocupações envolvidas. no combate à doença.

O equipamento de proteção individual (EPI) protege a vida diária nas funções ocupacionais dos usuários com risco de insalubridade. Não existe uma diretriz única sobre qual o conjunto de EPIs a serem utilizados por profissionais de saúde. É sugerido por cientistas que “em qualquer ambiente ou cenário clínico devem usar os seguintes EPIs: Proteção respiratória: máscaras respiratórias N95 ou FFP2/3; proteção ocular: óculos de proteção ou protetor facial; Proteção corporal: capote de mangas compridas resistente à água; mãos proteção: Luvas cirúrgicas” ((Thomas, Srinivasan, *et al.*, 2020).

“As enfermeiras e outros profissionais de saúde, para além de médicos, ao longo do combate a COVID-19, ocuparam um lugar relevante e estratégico, “nunca se citou tanto a importância da enfermagem nas mídias nacionais e internacionais” (Broering, 2021). A alteração de rotina, a saturação do sistema de atendimento à população e a quantidade de profissionais acometidos com a doença, ou até os que vieram a falecer com ela, demonstram os grandes sacrifícios de profissionais de saúde ao longo do extenso combate ao novo coronavírus.

Das tarefas que geraram saturação na atuação de profissionais de saúde, como enfermeiros e assistentes de enfermagem, se destacam a gestão de aquisição, estoque, racionamento e implementação do uso dos EPIs, realização de pesquisas, levantamento de dados e campanhas educacionais. Pode-se entender que profissionais de enfermagem não só estão expostos a risco de

contágio em seu local de trabalho, como outros profissionais da área da saúde, que também realizam tarefas relevantes para minimizar o contágio de seus colegas, ao realizar o controle de insumos e seu estoque.

Ainda assim, a alta demanda por EPI por parte da equipe de profissionais de saúde em todo o mundo causou quebra na cadeia de suprimentos com demanda muito superior a capacidade de abastecimento de tais produtos. Tal escassez fez com que governos e órgãos reguladores diminuíssem as exigências técnicas de EPIs para proporcionar maior aumento produtivo dos mesmos pelas matrizes produtivas locais. Em alguns casos a equipe hospitalar precisava comprar seus equipamentos individualmente, reaproveitar materiais descartáveis e ampliar o tempo de uso sugerido do produto.

Além das características técnicas para proteção necessária minimizadas, questões de design deixaram profissionais expostos ao contágio por aerossóis. Ao confiar que está protegido, esses profissionais se colocam em risco de exposição a patógenos.

Para desenvolver um capote pneumológico para atender a necessidades urgentes dos profissionais de saúde, foi importante selecionar um conjunto de informações a respeito do estado da arte do campo, especialmente em torno de informações a respeito de filtrabilidade de materiais, formas de promover paramentação e desparamentação, soluções para problemas em torno da técnica, mais ainda, atendimento a exigências técnicas a partir de órgão reguladores e outros. Também foram definidos os parâmetros técnicos de gramatura, cor, classe de material, técnica construtiva para o produto, como também a adequação destes para órgãos reguladores e sugestões de flexibilização de parâmetros para casos de emergências sanitárias e escassez de EPIs.

Para entender tal risco de contágio, é necessário primeiro entender a forma de contaminação viral do COVID-19. A sobrevivência viral e seu consequente contágio em humanos é influenciada por fatores ambientais como umidade do ar, temperatura ambiente e superfícies contaminadas (Petrosino, Mukherjee, et al., 2021). De acordo com Petrosino (2021), a transmissão ocorre prioritariamente quando existe contato entre fluidos contaminados do paciente com indivíduo saudável ou através de contato com superfícies e objetos contaminados, mas também por outros fluidos como lesões da pele e feridas, fezes e urina dependendo do grau de infecção do paciente.

Estudos mostram que o vírus, ao permanecer vivo no ambiente por até 60 minutos de aerossolização, pode também atingir distâncias de até 3,5m e tem seu raio de maior contágio em 0,4 a 1,6m dependendo do grau de infecção do paciente (Petrosino, Mukherjee, et al., 2021). O vírus tem contaminação elevada em ambientes com maior umidade (50% ou mais) e, em baixa temperatura, pode ter sobrevivência de 1-2 dias (Petrosino, Mukherjee, et al., 2021).

Em ambientes hospitalares em cenário de pandemia, o risco de contaminação ambiental é muito grande e agrava-se em países tropicais, onde a umidade do ar é maior e, devido ao uso de EPI

em alta temperatura, aumenta a sudorese, gerando desconforto que pode ocasionar o profissional a levar as mãos contaminadas ao rosto possibilitando contágio (Totong, Soetisna, *et al.*, 2024).

No início da pandemia, na China, “a infecção dos profissionais de saúde chegava a 29%, e diminuiu drasticamente a partir de então. Esta diminuição na taxa de infecção é provavelmente um reflexo das medidas de EPI implementadas para proteger adequadamente os profissionais de saúde” (Stewart, Thornblade, *et al.*, 2020). Porém em locais onde houve falta de EPIs ou má gestão governamental do sistema de saúde, como foi o caso do Brasil, tais números foram maiores.

Capotes “overall” oferecem maior proteção que capotes cirúrgicos normais por proteger melhor o rosto e as extremidades de máscaras, que são uma forma de contágio por não filtrar adequadamente o ar e, “não conseguem impedir de forma fiável a inalação de todas as partículas transportadas pelo ar” (Stewart, Thornblade, *et al.*, 2020).

A pesquisa propôs modificar e refinar os capotes cirúrgicos atuais para adaptá-los a funções específicas, protegendo os profissionais de doenças respiratórias transmitidas por fluidos e aerossóis em situações como as descritas acima. Segundo Beltagui, “A ressignificação de produtos e processos tecnológicos pode ser caminho fértil para alcançar inovação acelerada” (Liu, Beltagui, *et al.*, 2021). Nesse caso, ao adaptar um produto pré-existente projetado para pandemias de contaminação por fluidos para também proteger de aerossóis, o capote aqui proposto passa a acumular outras funções, tornando-se um novo produto baseado em uma versão anterior.

Para a pesquisa, foi determinado que o cenário de utilização do produto desenvolvido seriam centros de terapia intensiva respiratória, mais ainda, poderia também ser utilizado em emergências e outros setores no caso de futuras pandemias respiratórias, pois o produto seria mais bem adaptado a ambientes com contaminação por aerossóis no cotidiano hospitalar.

Tal experiência da sociedade, especialmente desses profissionais de saúde ao atravessar a pandemia da COVID, gerou diversos aprendizados quanto à possibilidade de modificação e evolução de EPIs mais adaptados à contaminação aérea. O produto desenvolvido e apresentado neste artigo faz parte desse processo acelerado de inovação desenvolvido dentro do laboratório de Biodesign da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC Rio) a partir da bolsa do edital 09/2020 – Epidemias, da Capes.

3 Inovação Social na Saúde e Pesquisa através do Design

Para desenvolvimento do projeto do capote, foi planejado uma abordagem projetual cujo passo a passo está baseado em métodos tradicionais de design de produto como descritos por Mike Baxter e revisitados posteriormente por teóricos do design e do design centrado no humano. A pesquisa buscou ferramentas que possibilitassem o projeto do produto, concomitante à constante necessidade de atualização, de levantamento de dados, documentação de projeto e retorno em

fases anteriores para redesign.

O design centrado no humano pode ser entendido como um conjunto de práticas de projeto que permitam a “inserção do usuário como um elemento-chave no processo de design” e “representa uma mudança de ênfase na progressão do paradigma do design” (Manzanares, *et al.*, 2019). Esta mudança de paradigma muda o foco do designer e sua intenção criativa pessoal para o foco orientado no usuário e problemas complexos em seu entorno, estabelece assim uma ruptura com a visão anterior que ignora características humanas em benefício a fatores objetivos (Manzanares, *et al.*, 2019).

A inovação social (IS) “surgiu como uma abordagem para as pessoas colaborarem na resolução de um problema social, onde o valor da solução é para o grupo social que contribui para ela” (Chamorro-Koc, Caldwell, 2018). Pode variar desde um objeto resultante até um novo conhecimento ou cultura se resolver um problema para melhorar uma situação.

O design requer mais do que apenas a criação de novos objetos; envolve (...) a criação de novas possibilidades culturais (Chamorro-Koc, Caldwell, 2018). Manzini (2015) propõe estruturas para organizar a inovação social com designers e não designers, por exemplo, usuários envolvidos no tema da pesquisa. Não designers se tornam os catalisadores da mudança, e designers assumem uma atitude mais orientada para a investigação e um papel facilitador.

Segundo Manzini, tais habilidades de facilitação do design aplicadas ao desenvolvimento da inovação social e científica, e permitem abordar problemas estruturais e complexos. Para Zimmerman, a pesquisa através do design se mostra como uma atividade separada da prática de design, a partir da necessidade de abordar formalmente a crescente complexidade enfrentada por projetistas (2011).

Pode-se entender eu o uso desta habilidade e um olhar clínico para falhas (Bonsiepe, 2012) como uma ferramenta para apontar falhas de projeto, que podem ser entendidas como “interrupções que aparecem “no uso de produtos e informações””. (Moreno, 2016). Tais falhas podem ser percebidas no próprio objeto físico, observadas ao mostrar erros iniciais de configuração, fabricação, escolha de materiais etc., mas outras se observa ao mau uso em consequência de seu contacto com o usuário final.

Bonsiepe argumenta que “o ofício do designer é projetar interfaces para que usuários se apropriem do mundo material, e tal olhar clínico é prioritariamente orientado para apontar falhas de interfaces entre usuário e produto. Desta forma o design se apresenta como uma disciplina integrativa, orientada para a solução de problemas, que uma vez apropriada pela pesquisa em outros campos se torna uma ferramenta de geração de conhecimento par além da solução em si.

Ao designer é incumbida tal atuação, pois, segundo Bonsiepe, ele se encontra no cruzamento entre a cultura da vida cotidiana, indústria e economia. O seu enfoque holístico o permite agir de

forma a “integrar ciências e tecnologias na vida cotidiana de uma sociedade (...) e fazer mais habitável o mundo dos artefatos materiais e simbólicos” (Bonsiepe, 2012).

Em 2004 o ministério da saúde elaborou um documento de base para gestores e trabalhadores do SUS com propostas para instituir a “Política Nacional de Humanização”. Nele, tais atores eram convocados a participar e se responsabilizar pela implementação de tal política que tinha como objetivo “a valorização dos diferentes sujeitos implicados no processo de produção de saúde” (Mourão, *et al.*, 2021).

Diante da dificuldade de integrar sociedade e diferentes atores à complexa e técnica atuação do SUS, o design pode se apresentar como uma “abordagem multidisciplinar, dotada de visão sistêmica, tem efetiva condição de reunir e articular todas as peças (...) que se converteu o hospital” (Manzanares, *et al.*, 2019).

Manzanares e Bragança (2019) apontam também para o potencial de pesquisa de design para saúde no Brasil, uma vez que observaram “discrepância do volume de produções científicas brasileiras em comparação com a contribuição internacional” (Manzanares, *et al.*, 2019). As autoras apontam também a potencialidade que o design e pesquisa podem trazer para o campo em termos de inovação, mas também de humanização apoiada na metodologia de design aplicada como o open source design e o design humano centrado.

Voltada para uma atuação mútua e concomitante entre design e pesquisa, buscando gerar novas soluções e insights, a metodologia de pesquisa através do design (ou *research through design* - RTD) foi utilizada como principal forma de explorar o tema proposto. RTD “é baseado nas pesquisas de Frayling, que por meio do design, enfatiza como os designers de interação podem enfrentar “problemas complexos” (*wicked problems*)” (Zimmerman, Forlizzi, 2011). A contribuição para ciência está centrada em estudos sobre como os designers trabalham ou como aplicam conhecimentos e métodos científicos em uma prática racional de design (Zimmerman, Forlizzi, 2011).

Muito se tem estudado a respeito do contexto histórico e socioambiental humano e não à toa o design está presente. “Nas últimas (...) décadas, o design tem abordado cada vez mais questões complexas e sociais” (Sleeswijk Visser, 2018). Conforme o design expande sua atuação em direção à maior complexidade dos problemas, expande-se a prática do designer, exigindo novos métodos, práticas e funções e novas redes para colaborar (Sleeswijk Visser, 2018).

Koskinen propõe que a pesquisa através do design seja dividida em três diferentes abordagens: ‘laboratório’, ‘campo’ e ‘showroom’, cada uma com uma diferente fundamentação histórica. A abordagem “laboratório” é baseada no uso de protótipos de desenvolvimento laboratorial de design como forma de gerar conhecimento e resultados que podem transformar a realidade do seu estado atual para um estado preferido.

Para o projeto de capote, foram buscadas diferentes formas de inserção do usuário como

foco do projeto. As fases do projeto consistiram na busca de referencial teórico não só no campo do design, mas também na literatura do campo da medicina e enfermagem. Cursos e dinâmicas foram realizados com profissionais dessas áreas para demonstrar as atividades realizadas por médicos em CTIs respiratórios, os riscos de contaminação ambiental, as formas de paramentação e desparamentação e riscos de contágio durante o procedimento.

Durante a fase de desenvolvimento do projeto, as reuniões de laboratório contaram com a participação de colegas pesquisadores do campo da medicina no design. Os comentários sobre a pesquisa e a realização de protótipos ampliaram a visão orientada no usuário. O dia a dia do laboratório de costura do departamento junto aos profissionais de modelagem permitiu observar os aspectos construtivos na produção de EPIs têxteis. O olhar de profissionais de moda e confecção permitem considerar a mão de obra humana envolvida, muitas vezes ignoradas no processo de desenvolvimento de um produto têxtil para a saúde.

As necessidades do campo da saúde foram identificadas com a devida base científica, focadas nos recursos industriais disponíveis e na viabilidade comercial na pesquisa bibliográfica realizada e por outros processos como imersão em atividades do público-alvo, engenharia reversa de produtos pré-existentes, estudo de modelagem, costura e diálogo com profissionais de confecção.

Foram realizados diversos modelos pelo time criativo e de prototipagem em busca de uma solução satisfatória para a necessidade encontrada, ou seja, produzir um capote cirúrgico mais eficiente e confortável para o profissional de saúde que possa ser utilizado em um ambiente hospitalar. O caminho foi o uso de ferramentas como modelos em escala, transposição de modelagem de produtos análogos improvisados como EPI, estudos de materiais e processos a serem aplicados e técnicas de projeto digital, manufatura aditiva e prototipagem rápida como descritos no capítulo 3 Desenvolvimento.

O encontro do design com o processo de pesquisa científica, permite a utilização de tais competências de inovação e a formação de possibilidades culturais para a ciência e pode apresentar-se como modelo para o desenvolvimento do conhecimento científico.

Os exemplares de design desenvolvidos são a principal forma de responder perguntas de pesquisa (Giaccardi, 2019) e se mostram como um canal para que os resultados da pesquisa sejam facilmente observados pelas comunidades científicas (Zimmerman, Forlizzi, 2011). Eles não devem ser entendidos como produtos direcionados a consumidores (Zimmerman, Forlizzi, 2011), mas como ferramentas de desdobramento da RTD (Giaccardi, 2019) e materialização de ideias, habilidades e conhecimento (Giaccardi, 2019).

Em projetos e pesquisas que fazem uso de RTD e que fazem uso de processos participativos de codesign, o artefato possui um carácter estabilizador, “expresso na forma como o protótipo ajuda a alcançar uma espécie de consenso entre designers e não-designers” (Boon, Baha, *et al.*,

2020). Não designers são permitidos imaginar, discutir e projetar futuros possíveis com esses artefatos de RTD e por isso, conforme Odom (2016), devem ser entendidos como produtos de pesquisa (Giaccardi, 2019).

Através de intensa documentação processual e catalogação do passo a passo do desenvolvimento do próprio produto, vinculado à escrita crítica, é permitido ao pesquisador retornar em seu desenvolvimento. Desta forma, ao poder reinterpretar observações anteriores de forma crítica, se o autor se apresenta não apenas como designer, mas também como pesquisador (Yamaki, Correia de Melo, *et al.*, 2023).

A aplicação de tecnologias digitais (desenho vetorial, corte a laser e manufatura aditiva) e artesanais (costura e modelagem de moda, processos gráficos) permite visualizar o estado do objeto e sua evolução através de vários modelos e intercâmbio com outros pesquisadores e técnicos no laboratório e oficinas da universidade. Tais processos permitem a rápida obtenção de protótipos e consequente interação crítica entre investigadores e profissionais de saúde presentes nas reuniões laboratoriais. Esses encontros facilitaram a troca de ideias, insights e críticas, que revelaram quais aspectos dos protótipos foram positivos ou necessitavam correção.

Tal conteúdo deve ser suprido em pesquisa bibliográfica, vivência de campo, troca de experiência com profissionais do campo de estudo e em processo investigativo e empírico de design descrito acima no tópico sobre RTD. A partir deste processo investigativo do olhar, os dados recolhidos devem ser documentados de forma a gerar elementos de pesquisa que possam ser utilizados no projeto orientado para uma determinada solução (Moreno, 2016).

4 Desenvolvimento do EPI têxtil “Capote Pneumológico”

4.1 Análise de Fraqueza

Como ponto de partida para o projeto atender à premissa da área de atendimento hospitalar selecionada, foram mapeados os pontos fracos do capote cirúrgico atual, observando vídeos de trajes médicos exibidos na internet durante a pandemia de COVID-19 para atendimento em CTI respiratório e embasado pela pesquisa bibliográfica.

O vídeo mais promissor e provido de informações dentre as fontes acadêmicas foi “Paramentação e Desparamentação dos Profissionais de Saúde em tempos da Pandemia de COVID-19”, disponibilizado no canal “TeleSaudeUERJ”.

Outros vídeos fornecidos por outros hospitais também foram utilizados para obter diferentes direcionamentos sobre Paramentação naquele período. Produtos similares, como a vestimenta chamada de *overall*, também foram pesquisados.

Figura 1: Frames de vídeos de tutoriais sobre paramentação disponibilizados na pandemia demonstrando falhas de design nos capotes atuais.



Fonte TeleSSaúdeUERJ

Frames dos vídeos destas fontes foram selecionados a fim de demonstrar as falhas observadas (Figura 1). As falhas de design que promovem exposição a contaminantes mapeados nos capotes cirúrgicas foram:

- **Definição de tamanhos de capotes a serem comprados:** Para fins de controle de estoque, os hospitais geralmente compram um número limitado de tamanhos de capotes cirúrgicos, ou apenas um tamanho, que não se adaptam a diferentes medidas e corpos.
- **Modelagem - pulsos:** Uma das reclamações de profissionais de saúde ouvidas em reuniões de laboratório foi que, com o uso da paramentação completa de EPIs, as mangas de capotes correm por baixo das luvas quando há elevação dos braços do profissional. Para evitar que as luvas rolem pelas mangas do avental, estas precisam ser fixadas na mão ou luva do médico.
- **Modelagem - pescoço:** O pescoço do médico e as laterais do rosto demonstraram serem áreas de maior risco para os profissionais de saúde. As bordas da máscara cirúrgica

revelaram pontos frágeis, mais expostos em procedimentos médicos específicos, como intubação e extubação.

- **Modelagem - laço e abertura nas costas:** Embora o jaleco sob o capote já cubra as costas, a abertura pode ser considerada um ponto fraco. O médico pode contaminar o uniforme ou tocar o rosto enquanto se desparamenta, é necessário facilitar o despirmo com segurança.

4.2 Engenharia Reversa

Ao longo da pesquisa, foram buscadas diversas referências de capotes, de outros EPIs têxteis ou produtos similares utilizados como EPIs em momentos de escassez. As referências que pontualmente ou completamente atendiam aos pontos observados na análise de fraqueza, e que forneciam modelagem de costura foram selecionadas.

A partir da seleção e análise destas referências, elas foram catalogadas em planilhas, vetorizadas e modeladas em escala, inicialmente em 1:10 e em seguida 1:3. Ao longo deste processo, foi possível idealizar novas alternativas, identificar problemas nos produtos, entender seu sistema construtivo, buscar soluções específicas, que pudessem ser utilizadas, e conhecer o que já havia sido posto em prática nesse EPI têxtil, vide Figura 2.

Figura 2: Imagens de modelos resultantes das duas fases de engenharia reversa e desenvolvimento de soldas a partir de modelos de EPIs pré-existentes.



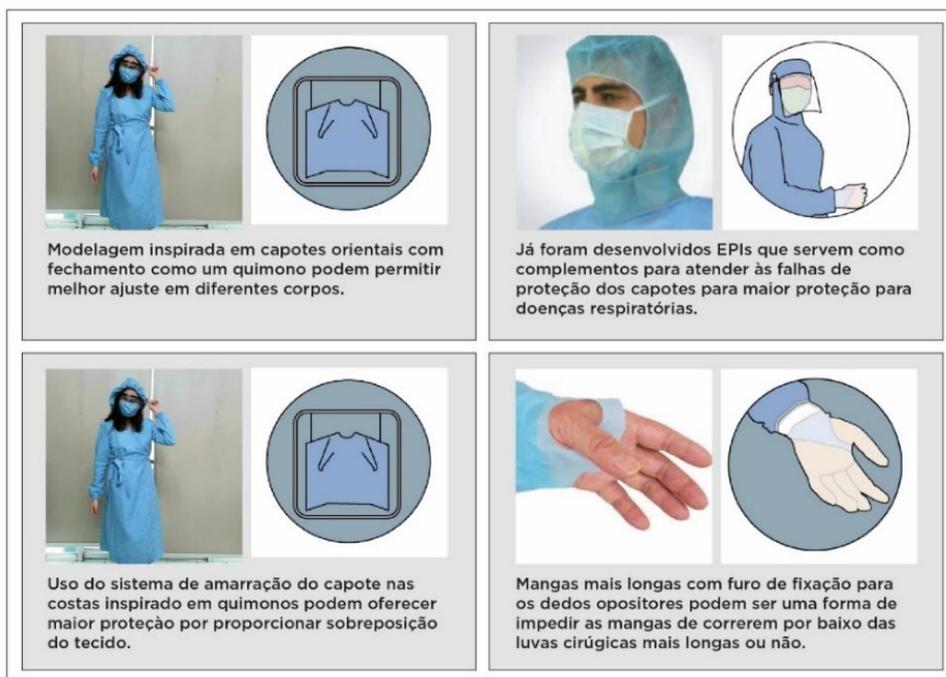
Fonte Autor

Ao final do processo, que se repetiu duas vezes ao longo do desenvolvimento da modelagem da peça e de forma contínua no desenvolvimento de soluções pontuais, foram idealizados 4 modelos de capote que foram modelados em protótipos em escala e 1:1.

4.3 Desenvolvimento de Conceito

A partir da busca de referências e do processo de engenharia reversa, modelos conceituais foram projetados para responder separadamente à cada ponto de exposição identificado e outras questões de projeto apontadas (Figura 3).

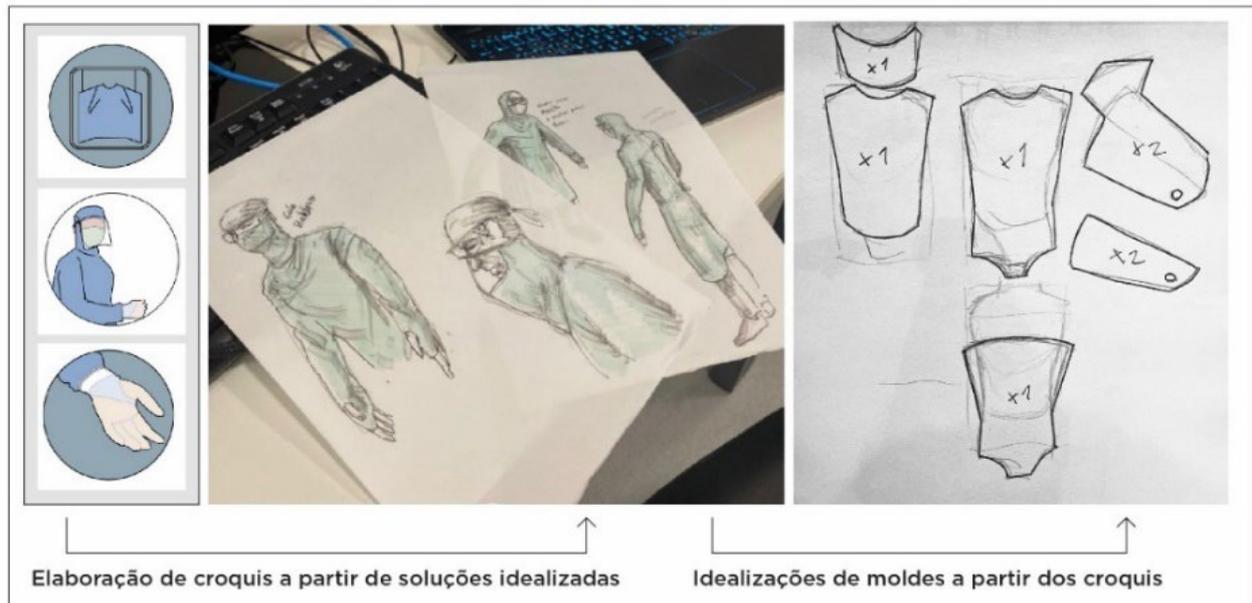
Figura 3: Idealização de soluções a partir de aprendizados colhidos durante a fase de engenharia reversa e representados em ícones vetoriais.



Fonte Autor

Este processo foi dividido em idealização vetorial, esboço conceitual e esboço de modelagem. Esses modelos foram unidos em um modelo inicial a ser confeccionado para testes físicos (Figura 4).

Figura 4: Fluxo de amadurecimento de conceito a partir dos ícones vetoriais, sendo desenhados *sketches* conceituais e posteriormente esboços da modelagem da peça.



Fonte Autor

O modelo inicial serviu de ponto de partida para um constante processo de modelagem, colhendo aprendizados que foram registrados seguindo metodologia da pesquisa através do design, e por isso foi chamado de modelo zero. Foram realizados também testes de costura e fusão de materiais para auxiliar no andamento da confecção dos modelos.

4.4 Seleção de Materiais e Processos

Ao realizar a escolha de material para um capote, é importante escolher tecidos que “devem minimizar a penetração de bactérias” (Rogina-Car, 2018), de preferência resistentes à abrasão e perfuração. Pode ser necessária o uso de aditivos e impermeabilização na peça toda ou em áreas localizadas para “alcançar a barreira microbiana necessária em áreas críticas” (Rogina-Car, 2018).

Para capotes reutilizáveis são usados tecidos em trama de materiais sintéticos como polipropileno (PP) ou poliestireno (PE), para os descartáveis se usa materiais sem trama, formados por livre deposição de fibras sintéticas, os chamados tecidos não tecidos (TNT ou em inglês SMS). Em TNT, “o polipropileno apresentou a menor transferência” (Pranav N. Vora, 2021), quando comparado com poliestireno ou Rayon viscoso. Em ambas as situações a escolha do material deve considerar que o “tamanho dos poros nos tecidos é um fator importante na transmissão microbiana, assim como a repelência à água do tecido” (Pranav N. Vora, 2021).

Um recurso para aumentar proteção microbiana é aplicar duas ou mais camadas de material em pontos de maior necessidade de proteção, uma vez que “A penetração de microrganismos será

menor através de várias camadas do mesmo tecido (Rogina-Car, 2018). Mesmo assim é relatado em pesquisas de química de tais materiais que a hidrofobicidade das superfícies dos materiais é “determinada principalmente pelos seus componentes poliméricos primários” (Xue, Ball, *et al.*, 2020), sendo apenas otimizada pela adição de aditivos químicos ou dupla camada de material.

O uso de capotes descartáveis é muito convencional, especialmente em casos de maior contaminação biológica, como em centros de tratamento intensivo, cenários de pandemia ou outras emergências coletivas. Desta forma TNT é o material mais utilizado para tal produto, e “a maioria dos capotes cirúrgicos são feitas de tecido usando uma única camada” (Pranav N. Vora, 2021).

Para fins de melhor performance do EPI produzido, o TNT deve ser processado em máquinas de costura ultrassônicas para a produção de máscaras cirúrgicas, nos quais o material é derretido sem abrir poros e furos de costura. Porém EPIs têxteis de maior formato podem ser encontrados comercialmente em versões costuradas.

O TNT também já é utilizado para testes de modelagem no setor têxtil por ser um material de costura acessível, motivo pelo qual se apresenta como um bom material para desenvolvimento de modelos de capote. Optou-se, então, por trabalhar com TNT costurado com acabamento overlock conforme outros EPIs Têxteis de grande formato encontrados à venda no Brasil.

Os buracos e poros abertos pelo processamento de TNT em máquinas de costura convencionais podem ser portas de entrada para infecções por aerossol. Por esse motivo, testes de costura e soldagem em TNT foram realizados com ferramentas adaptadas: ferro de soldar, ferro, cola quente, prensas para soldas de banner e prensa quente de sublimação.

O uso de maquinário adaptado para realizar tais soldas não foi apenas um recurso de pesquisa e prototipagem, mas uma forma de estudar como tais adaptações poderiam se apresentar como recursos alternativos para fabricação distribuída em diferentes locais distantes de grandes centros urbanos. Máquinas de costura ultrassônica são caras e de difícil acesso, mais presentes em confecções de EPI. Em situações de escassez do produto, um recurso adaptado como este pode ser uma forma de manter a eficiência dos EPIs superior à da costura convencional.

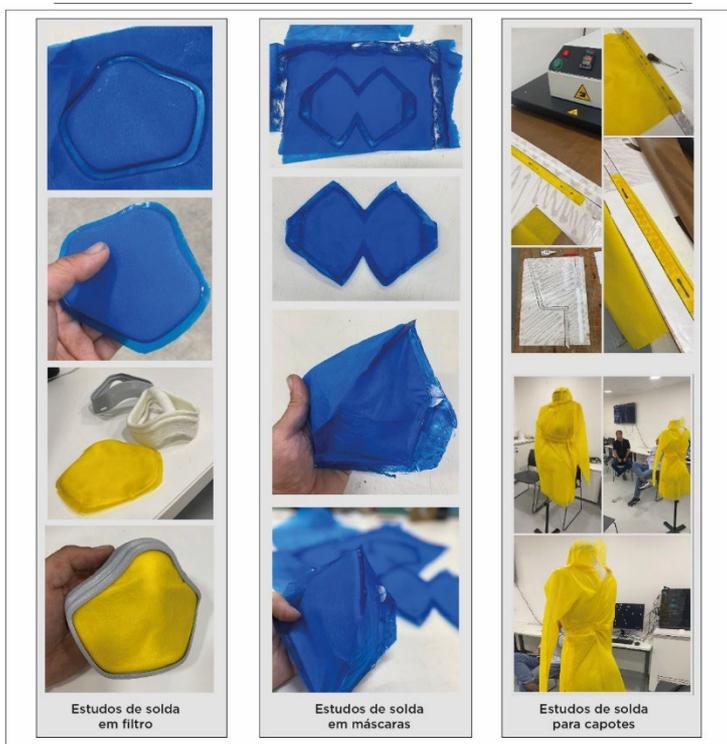
Prensa a quente de sublimação é um maquinário de custo inferior e mais comum em confecções espalhadas por cidades de diferentes portes e localidades. Utilizadas para impressão de tecido de forma customizada, tais prensas são utilizadas para fabricar produtos promocionais, esportivos, para eventos e moda.

Figura 5: Estudos de costura e solda em TNT em diferentes fases da pesquisa.



Fonte Autor

Figura 6: Estudos de solda a partir de prensas a quente de sublimação realizadas em diferentes equipamentos de proteção individual com necessidade filtrante



Fonte Autor

Esse maquinário também proporciona controle preciso de tempo e temperatura, necessários para realizar soldas em TNT com precisão sem gerar furos ou outras falhas no material. Dos maquinários experimentados (Figura 5), é o que melhor se adaptou ao processo de fusão. Para chegar a tal resultado foram feitos diversos testes de soldagem em diferentes EPIs têxteis (Figura 6), como máscaras em formato do padrão N95, filtros para máscaras impressas em 3D no laboratório e, posteriormente, em capotes cirúrgicos.

Após os testes, para todos os tipos de produto testados foram observados que o sucesso do processo de solda depende de seis parâmetros principais:

- **Quantidade de camadas de material:** O TNT é um material fino e poroso, ao ser aquecido e suas fibras fundidas, os poros se abrem em furos maiores, formando uma espécie de trama disforme. Para minimizar este efeito, deve-se aumentar a quantidade de camadas de material na peça toda ou localizada na área de solda.

Durante os testes, foi observado que se tem mais controle do processo de solda uma vez empilhadas pelo menos 4 camadas do material utilizado para a solda, considerando o material testado sendo o TNT de 30g por metro quadrado. O aumento de camadas significa mais material, que gera maior controle do resultado da solda. Mas também gera menor maleabilidade e conseqüente quebra ou rachadura da solda realizada.

Para as soldas realizadas foram utilizadas prioritariamente 5 camadas, variando as camadas na peça toda ou com solda de duas camadas e outras 3 nos pontos de solda como vieses. Usar TNT de diferentes gramaturas pode também modificar a quantidade de camadas de material necessárias para realizar a solda sem imperfeições.

- **Temperatura:** A temperatura de fusão do polipropileno sem aditivos é de 170 graus celsius, mas os aditivos podem alterar essa temperatura para mais de 200 graus. Não é necessário para este processo atingir temperaturas como 210 a 270 graus, que é a temperatura de processamento do material para processos como extrusão e injeção.

Para as peças desenvolvidas foram testadas temperaturas entre 160 e 190 graus celsius e foi observado que a temperatura em que houve melhor controle de prensagem foi a de 175 graus. É relevante observar que existe variação da temperatura na superfície aquecida da prensa em sua área e que a intensidade e uniformidade de calor pode variar de equipamento para equipamento, então testes de calibragem devem ser realizados a partir da variação do modelo e equipamento utilizado.

- **Tempo de prensagem:** A partir da temperatura de prensagem estabelecida, deve-se

estabelecer o tempo de prensagem. O tempo de prensagem é relativo ao tempo necessário para que o calor atinja todas as camadas de material utilizadas para solda, quanto mais camadas mais tempo se toma para que o material entre em ponto de fusão e proporcione a solda.

É importante lembrar que existe uma razão inversa entre temperatura e tempo de prensagem. Dessa forma, ao aumentar a temperatura, deve-se diminuir o tempo de prensagem para não gerar falhas na solda. O tempo excessivo pode fazer com que o material da solda amoleça demais gerando furos e falhas na prensagem ou áreas adjacentes a ela, o tempo inferior pode fazer com que o calor não penetre totalmente na solda, não derretendo todas as camadas soldadas ou simplesmente não as unindo. O delicado acerto do tempo deve ser estabelecido na seleção do material e maquinário utilizados e do modelo de produto produzido. Para os testes realizados, em peças menores com soldas de menor área foi utilizado o tempo de 65 a 70 segundos, já em peças com maior dimensão de solda foi utilizado o tempo de 75 a 80 segundos para cada solda.

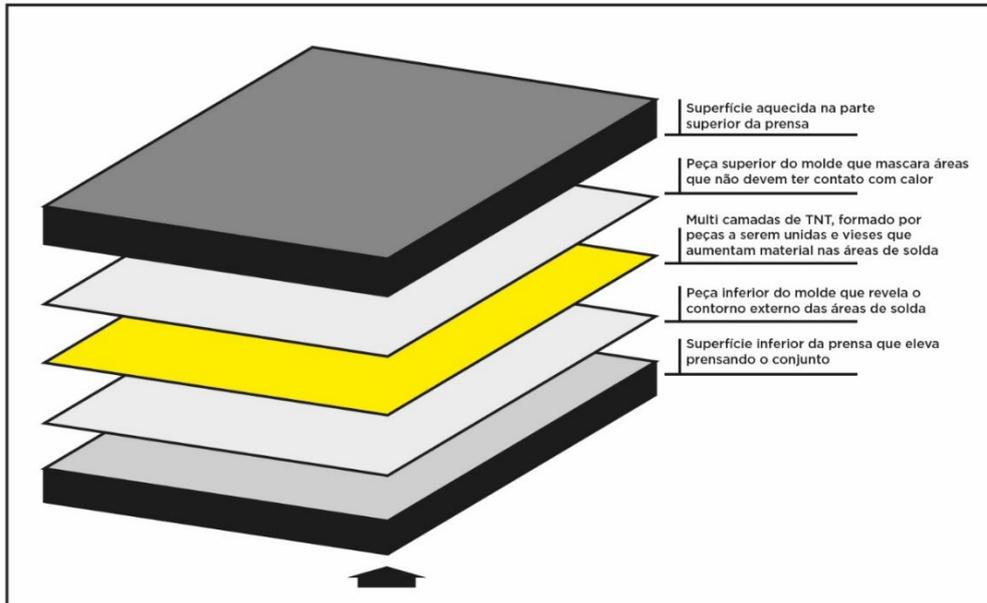
- **Moldes:** Para que haja controle de aplicação localizada de calor, que, no caso de prensas de sublimação é promovido pela superfície superior da prensa, é necessário desenvolver um molde. Este molde deve ser feito com material rígido que seja isolante térmico cortado de forma a revelar os pontos de calor desejados. Desta forma é preciso empilhar alternadamente o material a ser soldado, o molde e material que deve ser isolado do calor.

Para que o molde seja funcional é ideal que ele tenha uma área de sangramento para que sua área seja maior que a área de aplicação de calor. Os últimos moldes foram realizados com o sangramento foi de 2cm para cada lado da superfície de aplicação de calor. Para os moldes da prototipagem, foi utilizado MDF 3mm cortado a laser conforme projeto vetorial desenvolvido a partir dos moldes de corte.

O molde e as superfícies da prensa também devem ser revestidos de material não aderente para evitar que o TNT fundido grude na superfície de aplicação de calor ou moldes que sejam de materiais porosos. Para os experimentos realizados, foi usada folha de teflon para proteção das superfícies inferior e superior da prensa e os moldes foram revestidos de material isolante de adesivos reutilizado, uma vez que tal resíduo é abundante na oficina gráfica da PUC-Rio. Outros materiais desmoldantes, como cera e óleos foram testados, mas seu sucesso pode depender da quantidade demãos aplicadas, calor utilizado e porosidade do material do molde.

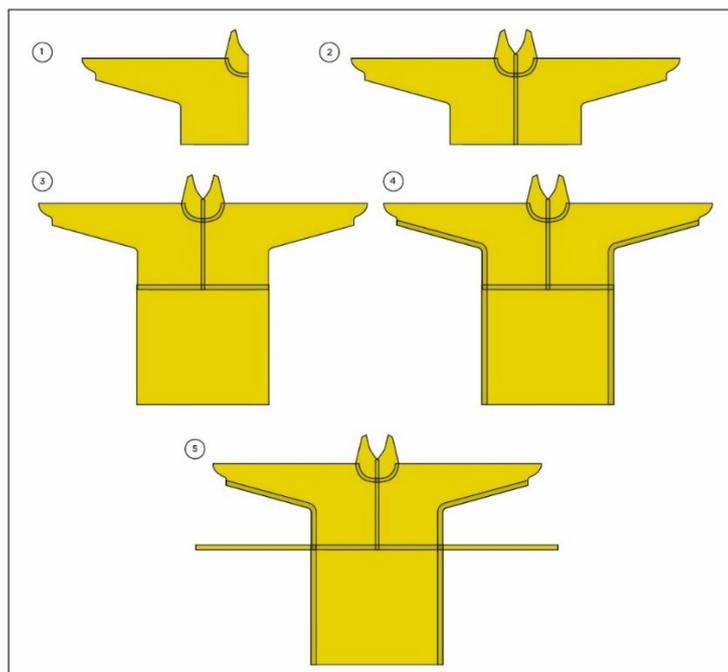
- **Prensagem:** Para fazer a solda de uma peça simples, o molde tende a ser simples e é necessário o simples empilhamento de camadas de TNT cortados no formato correto (Figura 7). Para peças complexas podem ser necessárias outras prensagens, no caso da máscara é necessária uma prensagem para compor uma camada com filtrabilidade adequada e soldas nas extremidades e outra para unir arestas superiores e inferiores e montar a máscara.

Figura 7: Imagem esquemática das camadas a serem organizadas para prensagens a quente na prensa de sublimação fim de realizar soldas no TNT.



Fonte Autor

Figura 8: Imagem da ordem de montagem e solda para fabricação do capote pneumológico: 1 – junção de metade de uma gola e de uma manga; 2 – junção de duas peças superiores compostas de metade de uma gola e de uma manga; 3 – junção das peças que compõem a saia do capote na face frontal e posterior; 4 – Fazer a solda das laterais da peça; 5 – fixação das faixas de amarração do capote ao vestir.



Fonte Autor

Para montar o capote desenvolvido na pesquisa com o equipamento disponível foram necessárias 11 prensagens de forma a compor o capote completo. Determinar a ordem adequada de montagem é um processo importante e paralelo a montagem de qualquer peça em confecções sejam elas fabricadas com solda ou não (figura 8). Peças costuradas com erro podem ser corrigidas, já as soldadas não, daí a importância deste processo para a montagem do capote desenvolvido.

Outro ponto relevante é a manobrabilidade para dispor a peça na mesa de prensagem de forma a proporcionar a solda de forma adequada na prensa sem que a manufatura possa gerar erros na aplicação do calor durante o processo. Como na prensa utilizada havia elevação da base inferior, para proporcionar contato com a área de calor (superior), tal movimentação fazia com que a peça mudasse de posição e gerasse erros de solda.

Foi fabricada uma mesa que aumentava a base inferior da prensa de forma a proporcionar melhor prensagem. Tais modificações na base e moldes desenvolvidos de forma improvisada abrem espaço para customização de maquinário, como prensas de sublimação, para desenvolver equipamento ideal para soldar tecidos sintéticos.

Porém, para desenvolver peças têxteis que façam uso desse processo de solda, também podem ser necessárias alterações de modelagem, uma vez que as soldas tendem a quebrar com dobra excessiva. A menor maleabilidade da solda pode gerar desconforto no movimento do usuário e para melhorar a vestibilidade pode ser necessário repensar os pontos de solda projetados. O capote desenvolvido foi inicialmente modelado para ser feito em costura. Assim, para obter melhor vestibilidade com solda, a modelagem ainda deve ser repensada de forma a posicionar as soldas nos pontos de menor desconforto para o usuário.

-Aviamentos: Outro ponto relevante para ser relatado é o uso de aviamentos plásticos para unir as camadas de tecido a serem soldadas em peças de maior dimensão. Máscaras e filtros podem ser soldados apenas por meio do empilhamento das camadas de tecido, já peças complexas, como capotes, precisam de artefatos para unir o tecido.

Para a pesquisa foram desenvolvidos alfinetes plásticos impressos em 3D, inicialmente em PLA e em um segundo momento foram impressos em PP (mesmo material que compõe o TNT). O alfinete une as partes a serem soldadas de forma que elas não mudem de posição durante a elevação da prensa. As soldas resultantes mantêm o alfinete como parte da solda e ele passa a fazer parte da composição final da peça.

O processo descrito ainda está em amadurecimento, os avanços serão descritos no final da tese. Tais avanços são relevantes, pois prometem proporcionar maquinário adaptado para atingir o grau similar de proteção ao de máquinas de costura ultrassônicas, uma vez que permite unir

materiais sintéticos, sendo eles TNT ou não, sem fazer furos gerados por máquina de costura.

4.5 Desenvolvimento de Moulage e Padrão de Costura

Para além da seleção de materiais e processos, o desenvolvimento do design da peça pode ser crucial para o sucesso do projeto. Propor um “design funcional do modelo utilizando uma combinação de dois materiais têxteis e barreira bacteriana” (Pranav N. Vora, 2021) pode ser um caminho, mas com uma camada só o produto já pode se mostrar eficiente.

O projeto foi desenvolvido em colaboração com professores, médicos e técnicos de oficinas da universidade. O desenvolvimento e amadurecimento dos protótipos foi um processo que, ao tempo que gerava avanço do projeto, também servia de ferramenta de visualização de debate científico sobre a pesquisa e literatura estudada.

O fluxo do projeto se deu na forma de levantamento de dados durante a pesquisa acadêmica, quando foram também realizadas as disciplinas e atividades no laboratório têxtil para aprender técnicas de modelagem e costura necessárias para o desenvolvimento dos trabalhos. Em seguida, foram realizadas as etapas de análise de fraquezas do produto, engenharia reversa, desenvolvimento de conceito, desenvolvimento de molde inicial de costura descrito abaixo.

O mais importante é que o produto tenha modelagem que apresente conforto no vestir e que responda aos problemas de proteção e riscos de contágio durante o uso. No primeiro momento foi desenvolvido um modelo que trouxesse vestibilidade para posteriormente serem projetadas as formas de proteção

Figura 9: Desenvolvimento da modelagem e prototipagem do capote modelo “zero” em aulas de design para moda com a professora Luciana Barbosa.



Fonte Autor.

Diversos moldes de costura de roupas foram apresentados nas aulas de “*moulage*” da PUC Rio. Foram selecionados como base para o desenvolvimento do modelo inicial do capote um molde de t-shirt e um de calça saruel. A professora Luciana Barbosa, da universidade, ajudou a desenvolver o primeiro molde de costura como exercício da disciplina cursada, o modelo “zero” do capote pneumológico (Figura 9).

Unindo o conhecimento desenvolvido a partir desse primeiro desenho de molde de costura, do processo de engenharia reversa e moldes de costura de produtos análogos utilizados como EPI durante a pandemia, como ponchos e quimonos, foram desenvolvidos diferentes moldes vetoriais de costura.

Tanto o modelo “zero” como todas as outras versões conceituais foram inicialmente prototipados em uma escala de 3:1. Porém para possibilitar testagem funcional, todos foram manufacturados em escala 1:1 do corpo inteiro.

Ao longo do processo de prototipagem todos os moldes vetoriais eram corrigidos gerando versionamentos, amadurecendo o modelo desenvolvido, e compilando o processo de aprendizagem empírica que emerge do fazer artesanal dos protótipos. Dessa forma, pode-se entender que, apesar de todas as alterações não estarem relatadas neste trabalho, todos aprendizados estão compilados nos moldes finais desenvolvidos e apresentados nos resultados deste documento e posteriormente da tese.

Figura 10 – Modelo desenvolvido fabricado através de costura e sendo testado junto à colegas de laboratório em reuniões de avaliação.



Fonte Autor

A partir do molde base, o projeto foi versionado em três caminhos conceituais, baseados em moldes de produtos pré-existent e adaptados como EPI durante a pandemia: moldes de quimono, poncho e uma referência de capote plástico encontrado durante pesquisa. Ao final, foi selecionado

o caminho do quimono para seguir em frente, mas com alterações: as mangas do modelo de capote plástico alterado e com a necessidade de modificações na forma de amarração, modelagem e pontos de costura. As modificações realizadas e desenvolvido o modelo de costura do capote desejado (Figura 10).

A partir desse ponto, iniciou-se o processo de implementação de técnicas de solda, no qual foram primeiro desenvolvidas soldas separadas para testes de possibilidades de unir o TNT. Em seguida, tais soluções foram aplicadas na construção de um capote. Houve diversas tentativas para montar a peça por inteiro, pois para tanto era necessário entender e desenvolver a ordem de montagem das soldas.

5 Resultados

O capote final chegou a resultado satisfatório como um protótipo experimental (Figura 11), uma proposta para o desenvolvimento de um capote pneumológico. Foram desenvolvidos e apresentados moldes de costura e solda, de forma a permitir reprodução do trabalho com maior engajamento para manufatura distribuída. A técnica de solda, alterações ferramentais e processos desenvolvidos, aqui apresentados podem ser aplicados em outras pesquisas.

Figura 11 – Conjunto de imagens demonstrando o processo de soldagem em TNT desenvolvido pelo pesquisador e o material soldado e impermeabilizado resultante.



Fonte Autor

O capote pneumológico foi desenvolvido com TNT 30g, mas modelos em outras gramaturas podem ser desenvolvidos, para que o produto resultante possa se adequar a exigências técnicas de agências reguladoras. Para promover manufatura distribuída do produto, encontram-se em anexo a este artigo modelagem vetorial de corte de tecido e desenhos vetoriais do molde.

6 Conclusão

O capote pneumológico desenvolvido representa um avanço em direção à inovação nessa classe de EPI têxtil, destacando-se o design, funcionalidades e proteção otimizadas. Além da descrição do processo de desenvolvimento, propõe a ampliação da capacidade produtiva do capote pela possibilidade de fabricação com costuras ou soldas.

Foram identificados alguns pontos ainda relevantes para serem desenvolvidos durante a pesquisa, como a definição de cores, aplicação de programação visual, alteração de pontos de solda, essenciais para a melhoria da interface do produto com o usuário. Mostra-se necessário também estudo de variação do produto conforme suas aplicações no campo. Futuras críticas por profissionais de saúde e pares científicos, visando atender questões científicas, como também de usabilidade do produto devem ser acolhidas. Um *checklist* de design poderá vir a ser elaborado, quando a pesquisa for definitivamente publicada, como contribuição para o campo, pois deve oferecerá um roteiro detalhado podendo ser replicado em novas pesquisa

A maior facilidade de projeto a partir da documentação das ferramentas de design aplicadas podem ser entendidos como incentivos para um processo contínuo de inovação para o campo, e podem permitir constante evolução do produto conforme novas necessidades ou tecnologias venham a emergir.

Referências

1. BONSIPE, Gui. "**Design e Crise**", 2012. Ano: IV Número: 44 ISSN: 1983-005X.
2. BOON, Boudewijn., BAHA, Ehsan, SINGH, Abhigyan, *et al.* "**Grappling with Diversity in Research Through Design**", DRS2020: Synergy, v. 1, p. 11–14, 2020. DOI: 10.21606/drs.2020.362.
3. BROERING, Loiza. "**A identidade profissional das enfermeiras a partir da pandemia da COVID-19 na mídia jornalística**", UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230971>.
4. CHAMORRO-KOC, Marianella, CALDWELL, Glenda. "**Viable futures through design:**

- Community engagement experiences in the creative industries"**, *Creativity Studies*, v. 11, n. 1, p. 213–229, 2018. DOI: 10.3846/cs.2018.857.
5. DASTRE MANZANARES, Raquel, LANA, Sebastiana Loiza Bragança. **"a Interface Entre Design E Saúde: Uma Revisão Bibliográfica"**, 2019. DOI: 10.17564/2316-3801.2019v8n2p39-52.
 6. GIACCARDI, Elisa. **"Histories and futures of research through design: From Prototypes to Connected things"**, *International Journal of Design*, v. 13, n. 3, p. 139–155, 2019.
 7. LIU, Wei, BELTAGUI, Ahmad, YE, Songhe. **"Accelerated innovation through repurposing: exaptation of design and manufacturing in response to COVID-19"**, *R and D Management*, v. 51, n. 4, p. 410–426, 2021. DOI: 10.1111/radm.12460.
 8. MORENO, Hugo Fernando Duran. **"Olhar Clínico Do Designer a Partir De Bonsiepe"**, p. 135–144, 2016. DOI: 10.5151/despro-ped2016-0012.
 9. MOURÃO, Nadja Maria. **"Tendências no Design de Ambientes: um breve estudo de práticas sustentáveis para o novo cotidiano "**, ENSUS 2021 - IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto, p. 245–255, 2021.
 10. PETROSINO, Francesco, MUKHERJEE, Debolina, COPPOLA, Gerardo, *et al.* **"Transmission of SARS-Cov-2 and other enveloped viruses to the environment through protective gear: a brief review"**, *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, v. 6, n. 2, p. 1–13, 2021. DOI: 10.1007/s41207-021-00251-w. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41207-021-00251-w>.
 11. VORA, Pranav N. **"Design & Development of Surgical Gowns To Enhance Its Performance"**, Maharaja Sayajirao University of Baroda, 2021.
 12. ROGINA-CAR, Beti. **"Functional Design and Construction of Reusable Surgical Gowns Considering Microbial Barrier"**, *Functional Design and Construction of Reusable Surgical Gowns Considering Microbial Barrier* v. 1, n. 2, 2018.
 13. SLEESWIJK, Froukje Visser. **"Structuring Roles in Research Through Design Collaboration"**, *DRS2018: Catalyst*, v. 1, p. 25–28, 2018. DOI: 10.21606/drs.2018.297.
 14. STEWART, Camille L., THORNBLADE, Lucas. W., DIAMOND, Don J., *et al.* **"Personal Protective Equipment and COVID-19: A Review for Surgeons"**, *Annals of Surgery*, v.

272, n. 2, p. E132–E138, 2020. DOI: 10.1097/SLA.0000000000003991.

15. THOMAS, John P., SRINIVASAN, Anand, WICKRAMARACHCHI, Chandu S., *et al.* "**Evaluating the national PPE guidance for NHS healthcare workers during the COVID-19 pandemic**", *Clinical Medicine, Journal of the Royal College of Physicians of London*, v. 20, n. 3, p. 242–247, 2020. DOI: 10.7861/clinmed.2020-0143.
16. TOTONG, Totong, SOETISNA, Herman R., WIJAYANTO, Titis, *et al.* "**applied sciences New Design of Personal Protective Equipment for Handling Contagious Viruses : Evaluation of Comfort and Physiological Responses**", 2024.
17. XUE, Xuan, BALL, Jonathan K., ALEXANDER, Camer, *et al.* "**All Surfaces Are Not Equal in Contact Transmission of SARS-CoV-2**", *Matter*, v. 3, n. 5, p. 1433–1441, 2020. DOI: 10.1016/j.matt.2020.10.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.10.006>.
18. YAMAKI, Roberto T., CORREIA DE MELO, João V., SANTOS, Jorge Roberto L. dos, *et al.* "**Desenvolvimento de máscara de proteção contra a COVID-19 utilizando manufatura aditiva**", p. 1866–1893, 2023. DOI: 10.5151/ped2022-7791844.
19. ZIMMERMAN, John, FORLIZZI, Jodi. "**Research through Design: Method for Interaction Design Research in HCI**", *Chi* 2011, p. 167–189, 2011.