

***Design Science Research* no projeto de malha *spacer* de trama para usuários com genodermatoses**

*Design Science Research of weft-knitting spacer project for
users with genodermatoses*

*Investigación Basada en el Diseño en el proyecto de malla
de tejido de espaciador para usuarios con genodermatosis*

DOI: 10.5965/25944630932025e7524

Ivis de Aguiar Souza
Universidade do Minho
ORCID: 0000-0003-4535-7989

Lais Kohan
Universidade de São Paulo
ORCID: 0000-0002-8274-0648

**Miguel Ângelo Fernandes
Carvalho**
Universidade do Minho
ORCID: 0000-0001-8010-6478



Licenciante: **Revista de Ensino em
Artes, Moda e Design**, Florianópolis,
Brasil.

Este trabalho está licenciado sob uma
licença **Creative Commons
Attribution 4.0 International
License**.

Publicado pela Universidade do
Estado de Santa Catarina



Copyright: © 2025 pelos autores.

Submetido em: 05/07/2025
Aprovado em: 16/10/2025
Publicado em: 17/10/2025

Resumo

O estudo visa propor uma metodologia baseada em Design Science Research (DSR) para sistematizar o desenvolvimento de malhas spacer de trama destinadas a aplicações biomédicas, com ênfase em vestuário para pacientes com Epidermólise Bolhosa (EB) e outras genodermatoses. Os objetivos específicos incluem: facilitar a compreensão técnica de designers sobre o processo produtivo e contribuir para o ensino de estruturas têxteis técnicas. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa de natureza aplicada, utilizando o modelo-DSR proposto por Pimentel, Filippo e Santos (2020). Foram utilizados softwares de design têxtil (Raynen) e teares retilíneos eletrônicos para prototipagem. Desenvolveram-se protótipos de malha spacer com base em parâmetros estruturais como densidade, inclinação dos fios, tensão e tipo de fibra. Duas estruturas foram criadas: uma malha jersey (controle) e uma derivada com poros e relevos superficiais para melhorar a permeabilidade e o conforto. A abordagem DSR mostrou-se eficaz para sistematizar o desenvolvimento dessas estruturas, promovendo a integração entre teoria e prática. Além disso, destacou-se a necessidade de incorporar ferramentas visuais (como simulações 3D) no ensino de design têxtil para melhorar a comunicação entre designers e técnicos.

Palavras-chave: Epidermólise Bolhosa. Estruturas têxteis. Malhas spacer. Design Science Research. Ensino.

Abstract

This study proposes a methodology based on Design Science Research (DSR) to systematize the development of spacer weave fabrics for biomedical applications, with an emphasis on apparel for patients with Epidermolysis Bullosa (EB) and other genodermatoses. The specific objectives include facilitating designers' technical understanding of the production process and contributing to the teaching of technical textile structures. The research adopts a qualitative, applied approach, utilizing the DSR model proposed by Pimentel, Filippo, and Santos (2020). Textile design software (Raynen) and electronic rectilinear looms were used for prototyping. Spacer weave prototypes were developed based on structural parameters such as density, yarn pitch, tension, and fiber type. Two structures were created: a plain jersey fabric (control) and a derivative with pores and surface reliefs to improve permeability and comfort. The DSR approach proved effective in systematizing the development of these structures, promoting the integration of theory and practice. Furthermore, the need to incorporate visual tools (such as 3D simulations) into textile design teaching was highlighted to improve communication between designers and technicians.

¹ Ivis de Aguiar Souza - Doutorando em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho, Portugal, em parceria com a Spin-off eDynamics e a Empa - Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Suíça), onde desempenha a função de bolsista de doutoramento em Ambiente Não Acadêmico da Fundação de Ciência e Tecnologia (FCT). Possui mestrado em Design e Marketing de Produto Têxtil, Vestuário e Acessórios pela Universidade do Minho e bacharelado em Economia Doméstica pela Universidade Federal de Viçosa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4535-7989>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0938522048973770>. Cienciavitaes: <https://www.cienciavitaes.pt/A11A-CDB6-837A>. E-mail: aguiarivis@gmail.com ou ivis.aguiar@2c2t.uminho.pt.

² Lais Kohan - Doutorado com Duplo Diploma em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho e em Engenharia e Ciências dos Materiais pela Universidade de São Paulo. Sua produção acadêmica inclui publicações em temas como têxteis para reforço de compósitos cimentícios, compósitos poliméricos, têxteis técnicos, fibras naturais e sustentabilidade. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4023405959608243>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8274-0648>. E-mail: laiskohan@usp.br.

³ Miguel Ângelo Fernandes Carvalho - Licenciatura em Engenharia Têxtil (1991), Mestrado em Design e Marketing (1996) e Doutorado em Engenharia Têxtil – Tecnologia do Vestuário (2003). Desde 1993, desenvolve atividade de investigação no Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil (2C2T) da Universidade do Minho. Fundador e Diretor de I&D da spin-off da Universidade do Minho, Weadapt - Soluções de Design e Engenharia Inclusivas, desde novembro de 2008, esteve envolvido na rede UTEN - University Technology Enterprise Network com a Universidade do Texas e o IC2Institute em Austin (EUA). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8010-6478>. Cienciavitaes: <https://www.cienciavitaes.pt/portal/2D1D-1237-4C56>.

Keywords: Epidermolysis Bullosa. Textile structures. Spacer knitting. Design Science Research. Education.

Resumen

Este estudio propone una metodología basada en la Investigación en Ciencias del Diseño (Design Science Research, DSR) para sistematizar el desarrollo de ribs de punto de spacer (spacer weave fabrics) para aplicaciones biomédicas, con especial énfasis en indumentaria para pacientes con epidermolísis bullosa (EB) y otras genodermatosis. Los objetivos específicos incluyen facilitar la comprensión técnica de los diseñadores sobre el proceso de producción y contribuir a la enseñanza de estructuras textiles técnicas. La investigación adopta un enfoque aplicado y cualitativo, empleando el modelo DSR propuesto por Pimentel, Filippo y Santos (2020). Para la prototipación, se utilizaron software de diseño textil (Raynen) y telares rectilíneos electrónicos. Los prototipos de tejido de spacer se desarrollaron a partir de parámetros estructurales como la densidad, el paso de hilo, la tensión y el tipo de fibra. Se crearon dos estructuras: una felpa plana o jersey (muestra de control) y una derivada con poros y relieves superficiales para mejorar la permeabilidad y la comodidad. El enfoque DSR demostró ser eficaz para sistematizar el desarrollo de estas estructuras, fomentando la integración entre la teoría y la práctica. Asimismo, se subrayó la necesidad de incorporar herramientas visuales (como las simulaciones 3D) en la enseñanza del diseño textil para optimizar la comunicación entre diseñadores y técnicos.

Palabras clave: Epidermolísis Bullosa. Estructuras textiles. Tejidos de malla espaciadora. Investigación en Ciencia del Diseño. Educación

1 Introdução

No atual contexto de grande e significativas mudanças tecnológicas em todas as áreas do desenvolvimento humano, as universidades e centros de ensino e formação carecem de especialistas em design de malhas. O problema se intensifica com a lacuna existente entre os *designers* e a indústria de malharia, destacando diversos níveis de complexidade da comunicação entre *designers* e os técnicos da indústria (Bettencourt; Catarino; Black, 2023).

Eckert (1999), em seu artigo “Managing Effective Communication in Knitwear Design”, apresenta algumas discussões que servem como ponto de partida para a refletir sobre as lacunas no campo do *design*, principalmente no desenvolvimento de malhas, sendo as seguintes, conforme os pressupostos que baseiam o estudo elaborado pelo autor: I. dificuldades inerentes à comunicação – os *designers* usam esboços técnicos e descrições que podem ocultar detalhes críticos; estão voltados fortemente à dimensão estética e apresentam pouco conhecimento técnico do processo de construção das estruturas, ao passo que os técnicos possuem pouca sensibilidade estética, o que pode dificultar a comunicação, ou seja, não há um sistema eficiente para descrever estruturas de malha de forma completa e precisa. II. fatores culturais e organizacionais – as empresas têm dificuldade de identificar falhas na comunicação, o que algumas vezes acarreta erros que recaem, predominantemente, na questão técnica.

O conhecimento de *designers* e técnicos raramente encontram uma intersecção harmônica; o tempo para o desenvolvimento e refinamento entre equipes de técnicos e *designers* é escasso. Ademais, algumas propostas são possíveis para contornar as dificuldades elencadas: I. sistemas de apoio: uso de ferramentas CAD avançadas para traduzir especificações incompletas em instruções técnicas claras; II. treinamento cruzado: capacitação de *designers* em “aspectos técnicos” e técnicos, em “aspectos estéticos”. III. modificações no ensino: a reorganização do processo de design, inspirada em princípios de engenharia pode reduzir significativamente os problemas atuais (Stacey; Eckert; Wiley, 2002).

No contexto da atividade em *design*, têm emergido diversos projetos sob a ótica do *design* que projetam e aplicam estruturas têxteis na produção de produtos para saúde, os chamados, têxteis biomédicos. Esses projetos destacam-se pela versatilidade

em combinar características e propriedades desejadas, seja como implantes (*scaffolds*), suturas, fraldas, gazes, curativos, entre outros. As estruturas têxteis, em especial, apresentam biocompatibilidade, e sua arquitetura engloba: I. propriedades físico-mecânicas adequadas; II. porosidade e permeabilidade – critérios passíveis de otimização.

As genodermatoses compreendem um grupo de doenças genéticas que afetam a pele e se caracterizam, principalmente, pela heterogeneidade na manifestação dos casos clínicos. No grupo das genodermatoses, podem ser listados os seguintes casos: I. Epidermólise Bolhosa (EB) – caracterizada por gerar fragilidade cutânea e a formação de bolhas após mínimo trauma; II. Síndrome de Buscke-Ollendorff – elastomas cutâneos e osteopoiquilose; III. Síndrome de Darier Segmentar – lesões verrucosas e papulares localizadas, dentre outras (Salik; Richert; Smits, 2023). A doença EB gera na pele uma anomalia estrutural que reduz drasticamente sua resiliência ao estresse mecânico e, dependendo do local em que o defeito molecular e estrutural ocorra, acarreta manifestações clínicas como: descamação, bolhas, erosões, ulcerações, feridas ou cicatrizes (Retrosi *et al.*, 2022).

A ausência de uma cura para a EB obriga os pacientes a permanentes tratamentos da pele. Contudo, nenhum dos tratamentos tem substituído o cuidado diário das feridas e nem o uso de curativos, que buscam melhorar a integridade do tecido e evitar infecções. O atrito causado pelas roupas merece uma especial atenção, dada capacidade de ela poder causar desconforto, feridas e bolhas, que resultam em maior necessidade de cuidados (Lam; Luo; Li, 2022; Wu; Jiao, 2024).

As estruturas têxteis, sobretudo as malhas *spacer*, têm sido aplicadas como proteção do corpo humano contra impactos e, se forem projetadas com os parâmetros estruturais adequados para EB – como, por exemplo, inclinação, dimensões, tipos de fibra, espessura, estrutura e composição –; podem ser aplicadas para o tratamento de problemas de pele. Além disso, há outros requisitos que podem ser acrescentados, como absorção de energia e absorção de líquidos (Rudy; Wardiningsih, 2021).

É neste contexto que se propõe o desenvolvimento de malhas *spacer* de trama, a partir de uma metodologia baseada em *Design Science Research* (DSR) para sistematizar a construção de estruturas em malhas destinadas a aplicações biomédicas

no vestuário, especialmente para usuários com genodermatoses. Com efeito, dado o exposto, além de estruturar e ilustrar o processo de produção, o estudo busca:

1. **Facilitar a compreensão técnica do *designer*** por meio do detalhamento do processo produtivo e ilustração das etapas;
2. **Contribuir para o ensino de estruturas têxteis técnicas**, preenchendo uma lacuna entre teoria e prática.
3. **Gerar protótipos de malhas *spacer* com base na literatura, com foco em vestuário para pacientes com EB**, visando assegurar sua funcionalidade e conforto.

2 Conceitos elementares sobre estruturas têxteis em malha de trama

As malhas são estruturas produzidas pelo processo de formação de laçadas. As estruturas são classificadas em dois grandes tipos: malhas de trama (Figura 1 – A) e malhas de urdume ou teia⁴ (Figura 1 – B). Na Figura 1 – A, observa-se a ilustração esquemática das estruturas (ponto esquerdo, rib, jersey e interlock) e a presença da laçada principal utilizada para construção estrutural. Por outro lado, na Figura 1 – B, é apresentado o gráfico de volta utilizado na construção de malhas de urdume, que apresentam dois tipos de laçadas mais comuns (laçada aberta e laçada fechada), que, ao serem combinadas, resultam na construção de diversas estruturas.

⁴ O termo “malha de teia” é utilizado principalmente em Portugal, mas será adotado neste texto o termo em português brasileiro “urdume”.

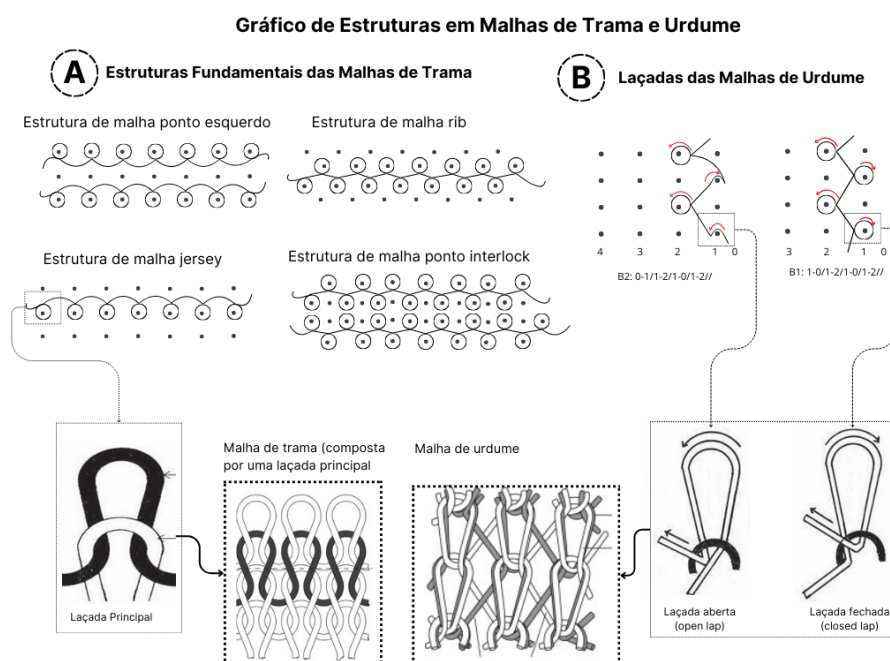


Figura 1. **A.** Estruturas fundamentais das malhas de trama e seus respectivos ligamentos (estruturas de malha jersey, rib, ponto esquerdo e interlock) **B.** Representação da laçada aberta e fechada em gráfico de voltas. Fonte: (A) Adaptado de Araújo, (1988); Francis; Sparkes, (2011), (B) Adaptado de (El Mogahzy (2009).

Quanto à produção, as malhas de trama são produzidas horizontalmente e as laçadas formam uma estrutura na posição vertical (sentido da trama); já o segundo tipo, as malhas de urdume, são produzidas longitudinalmente por um conjunto de fios. A laçada, como ponto central da produção das malhas ocorre por flexão, exemplificado na Figura 2– D⁵ (Araújo, 1988).

A formação de uma estrutura de malha de trama ocorre a partir da passagem de um fio através da frontura (Figura 2 – A e C), onde as agulhas selecionadas são acionadas de acordo com a programação previamente definida. As agulhas em repouso sobem para agarrar o fio, e a laçada é formada no corpo do gancho. A agulha sobe e transporta a laçada para além da lingueta. As agulhas retêm a laçada até a recepção de um novo fio, que dará origem a uma nova laçada (Figura 2 – B e D). O fio é depositado no gancho da agulha a partir da abertura da lingueta. A agulha realiza movimento descendente, transmite a laçada originalmente retida e fecha a lingueta, liberando a laçada anteriormente formada, que fica suspensa nas pernas da nova laçada. As laçadas

⁵ A formação de uma laçada é parte fundamental na produção das estruturas em malha. O processo de formação da laçada ocorre por flexão, tanto na malharia de trama (*weft knitting*) na malharia de urdume (*Warp knitting*) (Ray, 2012a; Spencer, 1983).

no sentido horizontal da malha são chamadas de carreira/fileiras, enquanto as do sentido vertical são chamadas de colunas (Figura 2 – B e D) (Araújo, 1988; Francis; Sparkes, 2011).

Na Figura 2 – A, é apresentada a representação de um tear retilíneo com duplafrontura em “V”; na Figura 2 – B, tem-se o movimento ascendente e descendente das agulhas na passagem das comes e a influência do movimento na formação da laçada; sendo em (A) a movimentação individual da das agulhas (movimento ascendente) – 1. agulha na posição de norma (laçada no gancho), 2. agulha iniciando o movimento ascendente (descida da laçada para lingueta). Na Figura 2 – C, observa-se a representação do sistema, das estruturas produzidas no tear e do sentido do movimento, com a presença de estruturas sendo formadas na frontura da frente e de trás, além da movimentação das agulhas no sentido ascendente e descendente em uma vista técnica no sentido longitudinal da máquina. Por fim, na Figura 2 – D apreendem-se o processo de formação da laçada e a ilustração da flexão do fio na agulha. De modo geral, as máquinas de produção de malhas são construídas com uma ou duas fronturas de agulhas, permitindo a criação de diversos tipos de estruturas.

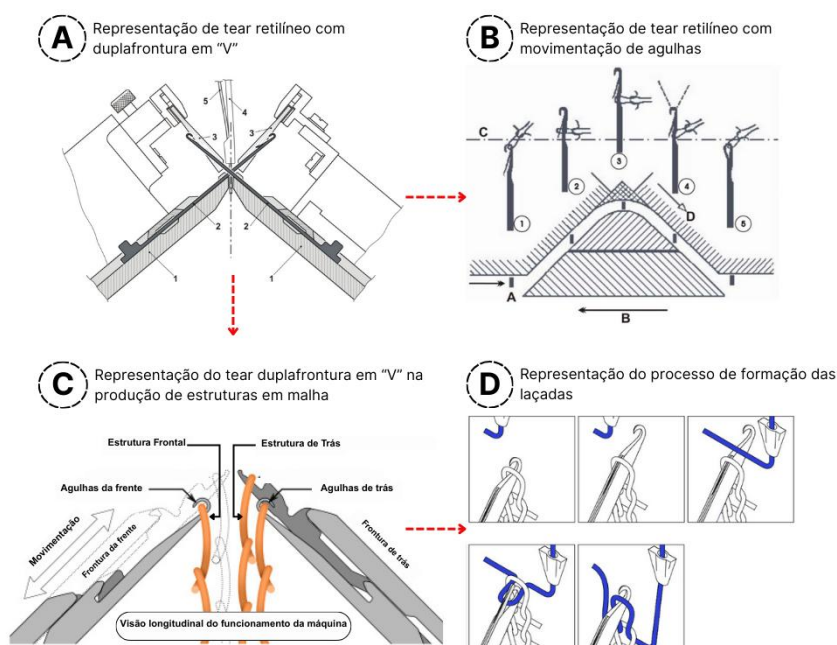


Figura 2. A. Representação de um tear retilíneo com duplafrontura em “V”. **B.** Representação do processo de movimentação das comes de um tear (seleção individual da agulha). 1-3. Movimento de subida da agulha, cujo ponto 3 é onde a agulha está movimento ascendente completo (laçada para além da lingueta). 4. Movimento descendente, agulha recebe fio (retém a laçada até a recepção de novo fio), 5. o fio é depositado no gancho da agulha a partir da abertura da lingueta (formação de nova laçada e descarregamento da laçada anterior). **C.** Representação das fronturas em “V” na produção de uma malha

com duas fronturas (frontura da frente e frontura de trás e suas respectivas agulhas). **D.** Representação do processo de formação da laçada na agulha. Fonte: Adaptado de Stoll, ([s. d.]); Yu; McCann, (2020);Albaugh; Hudson; Yao, (2019).

Na Figura 3, observa-se a formação de uma malha de trama e a representação das laçadas (normais, não trabalha e fang) (Figura 3 – A, B, C). Também visualizam-se a representação de cada uma das laçadas (Figura 3 – D, E, F) e sua representação técnica do ligamento ou desenho estrutural (Figura 3 – G, H, I).

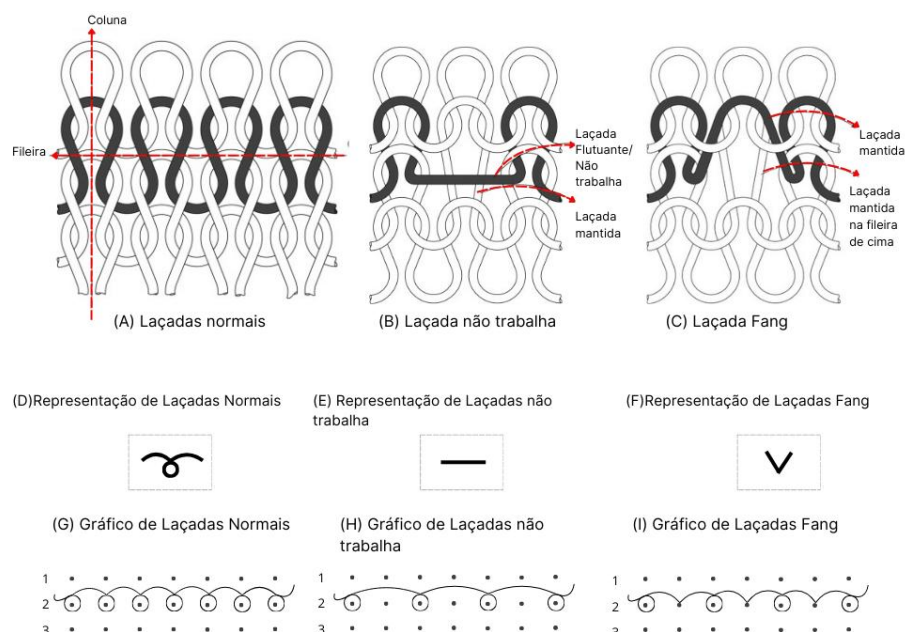


Figura 3. (a) Representação de malha com laçadas normais, **(b)** laçada não trabalha e **(c)** laçada fang, **(d)** Representação técnica de uma laçada normal, **(e)** Representação técnica de uma laçada não trabalha, **(f)** Representação técnica de uma laçada fang, **(g)** Ligamento com laçadas normais, **(h)** Ligamento com laçadas não trabalha e, **(i)** Ligamento com laçadas fang. Fonte: Adaptado de Francis; Sparkes (2011).

A laçada, elemento fundamental na formação das malhas de trama, classifica-se em três tipos básicos: normal, não trabalha (ou flutuante) e fang (ou carregado). A combinação desses três tipos de laçada permite ao *designer* conferir propriedades específicas à malha, sem recorrer necessariamente às propriedades dos fios. A laçada “não trabalha” forma-se quando uma agulha que já segura uma laçada tricotada retida na agulha permanece enquanto outras, no mesmo percurso, são formadas. A combinação entre uma laçada retida com uma laçada normal produz um ponto flutuante (Figura 3 – B, E e H). A laçada fang origina-se quando uma agulha que já possui uma laçada retida recebe outra laçada adicionalmente; assim, a laçada adicional é embutida atrás do ponto retido (Figura 3 – C, F e I). A laçada normal – formam-se laçadas contínuas (Figura 3 – A, D e G) (Francis; Sparkes, 2011).

3 Definição e características das malhas *spacer*/sanduíche de trama e de urdume

A estrutura das malhas *spacer* consiste em duas camadas de malha, cujo espaçamento é garantido por um fio resiliente, normalmente um monofilamento inserido na direção perpendicular⁶ (Benvenuti *et al.*, 2021).

A produção de estruturas em malha do tipo *spacer* surge primeiro nas malhas de urdume, sendo posteriormente também aplicada a malhas de trama. A principal vantagem do processo de produção de um *spacer* de trama é que ele é relativamente simples, já que as duas faces externas e o fio que as une são tricotados juntos simultaneamente. O processo consiste no seguinte: na primeira passada, após a seleção do guia-fios, as cames realizam a seleção individual das agulhas que receberam o fio em uma das duas fronturas. Na segunda passada, o processo ocorrerá na frontura oposta, dando origem a uma estrutura de tipo tubular. Subsequentemente, numa terceira passada, o guia-fios com o fio espaçador realizará o processo de união das faces (Figura 4– B). Contudo, a espessura das estruturas apresenta limitação e varia entre 2 e 10 mm.(Benvenuti *et al.*, 2021)

Por outro lado, as malhas *spacer* de urdume possuem uma construção distinta, sendo estruturas formadas por camadas produzidas e unidas por um fio espaçador. Os fios que unem as faces podem fixar as camadas diretamente ou distanciá-las, criando um espaçamento. É precisamente este espaço tridimensional formado entre as camadas que constitui a característica distintiva destas estruturas, as quais podem apresentar diversas conformações. Ocorre também a possibilidade de obter uma vasta gama de espessuras, dependendo do maquinário, dos fios e das estruturas empregadas, o que representa um diferencial fundamental nestas estruturas. Geralmente, as suas espessuras variam entre 1 e 15 mm (Figura 4– A)(Anand, 2016; Benvenuti *et al.*, 2021).

Na produção dos dois tipos de *spacer*, utilizam-se máquinas com duplafrontura. No *spacer* de urdume, a alimentação do fio é realizada por, no mínimo, seis passadores (Chang; Hu, 2022); na malha *spacer* de trama, a alimentação das agulhas pode ser realizada por pelo menos dois ou mais guia-fios (Ray, 2012b). Na

⁶ Destaca-se que a estrutura *spacer* é, por natureza, tridimensional. Contudo, é relevante notar que as suas camadas individuais podem ser constituídas por estruturas que não são tridimensionais, como a malha jersey.

Figura 4, identifica-se o modelo de fabricação das estruturas de malha spacer. Na Figura 4 – A, é possível identificar o modelo ilustrativo de uma máquina duplafrontura do tipo *Raschel* utilizada na produção de malhas de urdume. Na Figura 4 – B, observa-se o modelo ilustrativo de uma máquina retilínea duplafrontura em “V” utilizada na produção de malha de trama.

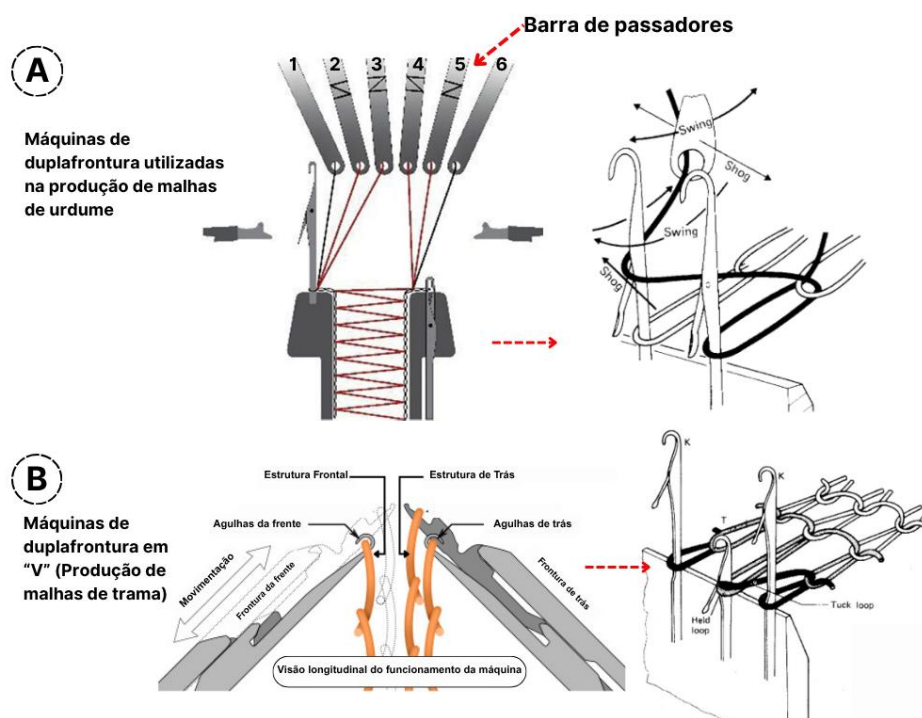


Figura 4. Desenho esquemático das máquinas utilizadas para a produção de malha spacer de trama e urdume. **A.** Máquina de duplafrontura de produção de malha de urdume (à esquerda). Dupla barra de agulhas (à direita).na realização de movimento (subida e descida), a barra de passadores e a direção dos movimentos realizados pela barra (movimento balouçante/swing e lateral). **B.** Máquina de dupla frontura de agulhas (à esquerda) para realização de movimento (subida e descida), a inserção de fios é realizada pelos guia-fios (à direita). Fontes: Adaptado de Chang; Hu (2022); Spencer (2001); Yu; McCann (2020).

Para a produção do *spacer* em malha do tipo urdume, o processo necessita que duas barras de passadores dianteiras (1, 2) formem a estrutura da superfície em um dos lados, enquanto as duas barras de passadores traseiras (5, 6) formem a estrutura da superfície no lado oposto. Com efeito, as barras de passadores centrais (3 e 4) devem unir as duas faces externas para dar origem à camada de fios *spacer*, como vimos, na Figura 4 – A (Ye; Hu; Feng, 2008). Nas máquinas de produção de malha de trama com frontura dupla em “V”, o modelo de produção pode ser realizado com um ou dois guia-fios que alimentam as agulhas nas fronturas e são interligadas por um terceiro guia-fios Figura 4 – B.

Um ponto importante reside no fato de que ambas as faces externas podem ser produzidas com uso de materiais distintos e fios de monofilamento e multifilamentos, podendo apresentar geometrias diferentes (Figura 5). Além disso, o *design* da camada interna da estrutura pode ser projetado com vista a assumir variadas formas, incluir outras estruturas como tubos e pregas o que confere versatilidade ao projeto das estruturas (Ray, 2012b).

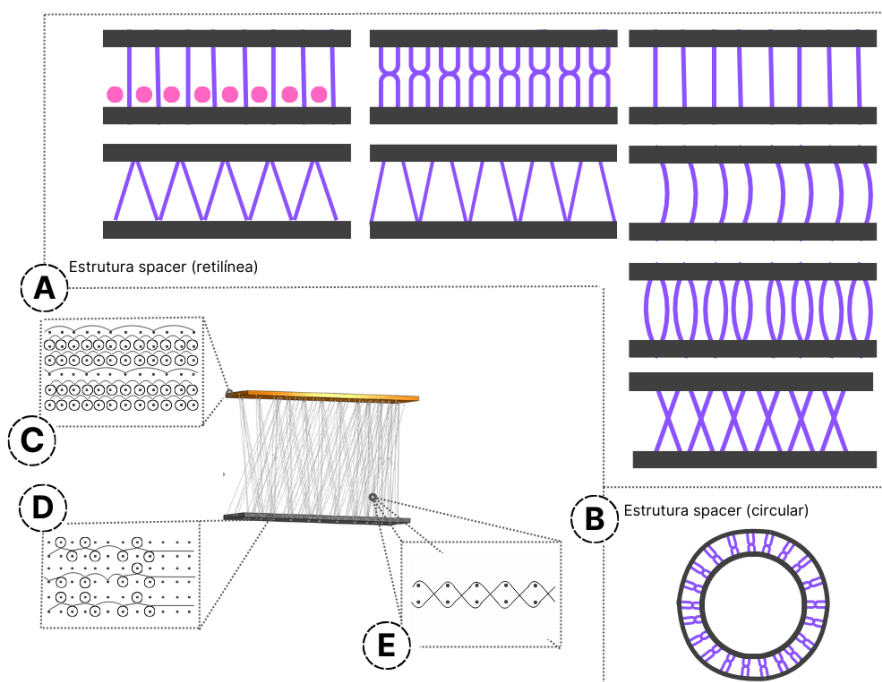


Figura 5. **A.** Reprodução gráfica da diferentes dos fios espaçadores em malhas spacer (retilínea) arranjos do fio de ligação. **B.** Estrutura têxtil em malha spacer (circular). **C, D.** Exemplos de ligamentos que podem ser aplicados em uma das faces externas da malha. **E.** Representação dos fios espaçadores da malha no formato zig-zag Fonte: Adaptado de Dejene et al. (2024).

A Figura 5 apresenta algumas das formas presentes na literatura no que diz respeito ao arranjo estrutural do *spacer*. Na Figura 5 – A, são mostradas reproduções gráficas de arranjos estruturais de malhas retilíneas com fios espaçadores dispostos em formato “X”, “I” “V” e “zigue-zague”, e tal geometria do fio de ligação influencia as características mecânicas das malhas; . Na Figura 5 – B, apresenta-se um arranjo circular, quando o maquinário já tem esse formato. Na Figura 5 – C e D, tem-se uma ilustração representante de ligamento das faces externas. Por fim, na Figura 5 – E, apreende-se a representação do fio espaçador unindo as faces externas da malha no formato zigue-zague. Os fios espaçadores, neste contexto, atuam como “molas” quando sujeitos ao processo de compressão (Rudy; Wardiningsih, 2021).

3.1 Parâmetros geométricos

Faces externas são constituídas por duas superfícies de uma malha que são construídas de forma paralela, mas separadas, unidas por um fio espaçador. O *design* da estrutura exerce grande influência sobre as características e propriedades da malha *spacer*, podendo facilitar o processo de controle e amortecimento de impacto, além de contribuir com a promoção das trocas de gasosas (permeabilidade ao ar e absorção de umidade), sendo ideal para gerar conforto térmico (Tabela 1) (Chen *et al.*, 2018; Lotz *et al.*, 2019; Tekmedash; Ezazshahabi; Asayesh, 2025).

Tabela 1. Parâmetros para desenvolvimento das faces externas.

FIOS DA SUPERFÍCIE	CARACTERÍSTICAS
Fios elásticos	os usos de fios elásticos melhoram propriedades de resistência à compressão das estruturas superficiais.
Diferentes fios	os fios das faces externas podem ser diferentes e podem apresentar mais de um fio ou fios mistos; neste sentido, algumas propriedades do fio precisam de especial atenção.
Densidade das superfícies/arranjos	superfícies mais densas aumentam as propriedades de resistência à compressão; o contrário também é verdadeiro, isto é, arranjos menos densos possuem pouca resistência, mas melhoram a recuperação.
Tipo de estrutura das faces externas (geometria)	o <i>design</i> (geometria) da estrutura superficial afeta diretamente o arranjo dos fios de ligamento ou fio <i>spacer</i> .

Fonte: Adaptado de Albaugh *et al.* (2021); Tekmedash; Ezazshahabi; Asayesh (2025) .

Fios spacer/fios espaçadores – são elementos que também sofrem influência das propriedades do material. Contudo, além disso, algumas características da organização espacial dos fios interferem diretamente nas propriedades e aplicações (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros para escolha e arranjo dos fios espaçadores/internos.

FIOS SPACER	CARACTERÍSTICAS
Padrões de inclinação dos fios	padrões em grade, losango ou hexagonal com aberturas maiores resultam em módulo compressão baixo; os arranjos mais comuns são as configurações I, X ou IXI, esta última γ sendo a mais comumente utilizada devido à sua estabilidade.
Altura dos fios	a altura apresenta influência direta em características da malha (volume, amortecimento e compressão, por exemplo); a altura dos fios interfere diretamente no fluxo de ar, pois fios mais altos facilitam o fluxo. de ar enquanto fios mais baixos o reduzem; esta característica permitirá a inferência no gerenciamento de umidade e realizará um controle térmico.

Inclinação do fio	a inclinação diretamente na elasticidade, na flexibilidade e nas propriedades mecânicas possibilitam também o controle da própria elasticidade, drapeabilidade e resistência direcional; ela proporciona um importante e crucial controle na absorção de energia e na dissipação da energia de modo que permite a dissipação por igual das forças de impacto.
Densidade	a densidade se constrói a partir do número de fios que se ligam as duas faces externas por centímetro; assim, uma quantidade alta de fio por centímetro produzirá uma malha mais rígida e com propriedades de compressão regular, ao contrário de uma menor quantidade de fios por centímetro que resultará em uma malha com maior variação nas propriedades de compressão.
Ângulo da inclinação	a angulação é responsável por interferir em propriedades de compressão; o ângulo refere-se à inclinação mínima e máxima entre faces externas: I. ângulos máximos permitem a sobreposição mínima entre as trajetórias dos fios. II. ângulos mínimos dependem da densidade dos fios e da espessura do tecido – e eles ainda permitem que os vãos entre as superfícies se fechem; com efeito, compreende-se a angulação interfere no comportamento de curvatura dos fios internos.
Tipo de fio	os tipos de fio espaçadores são importantes na produção das estruturas: I. monofilamento tende a ter maior resistência à compressão; II. multifilamento tende a ter menor resistência.
Diâmetro do fio	o diâmetro relaciona-se à resistência: I. fios com maior diâmetro tendem a melhorar as propriedades de resistência à compressão. II. fios com menor diâmetro reduz a resistência à compressão.

Fonte: Adaptado de Dejene; Gudayu, (2024); Halbrecht et al. (2023); Tekmedash; Ezazshahabi; Asayesh, (2025).

Espaçamento da laçada carregada refere-se a distâncias entre os pontos de ligação em uma mesma camada da malha. É importante a garantia de que os pontos não se sobreponham durante o processo (Figura 6 - A) (Kurbak, 2017).

Deslocamento do padrão de carregamento está relacionado à inclinação ou curvatura dos pontos carregados (*tuck stitches*) entre as faces externas da malha. As laçadas carregadas são inclinadas em direção ao interior da malha, apresentando curvatura elíptica, que se ajusta para acomodar o diâmetro do fio *spacer*/fios espaçadores (Figura 6 - B) (Kurbak, 2017).

Ordem de fabricação das faces externas concerne à sequência em que as faces externas são tricotadas e à ordem em que este processo ocorre (Figura 6 - C) (Albaugh *et al.*, 2021).

Os tipos sistematizados dos parâmetros apresentados podem ser apreendidos na Figura 6:

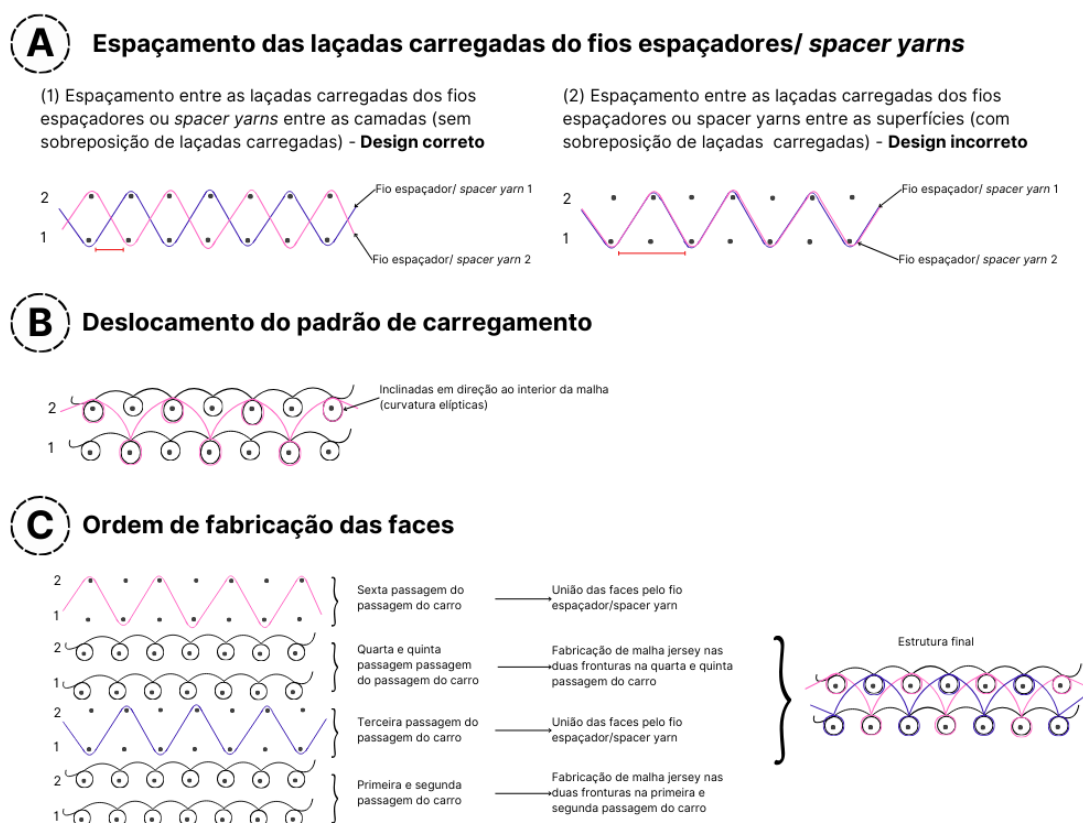


Figura 6. **A. 1.** Demonstração do ligamento correto do fio espaçador entre sem sobreposição laçadas carregadas. **2.** Demonstração do ligamento incorreto do fio espaçador a e presença das laçadas carregadas nas faces externas. **B.** Formação de um deslocamento e surgimento de curvatura elíptica. **C.** Ordem de fabricação das faces externas – primeira e segunda passagens do carro na produção de uma estrutura jersey, posteriormente unidas pelo fio espaçador. A cada passagem de união das faces externas, o fio espaçador faz uma laçada carregada no sentido aposto à carregada anterior, de modo a gerar uma disposição por igual e evitar áreas irregulares na malha.

Tensão do fio é um aspecto que pode ser controlado pelas máquinas durante a entrada dos fios, o que implica na formação da estrutura da malha e no fator de cobertura. Para a maioria dos materiais, o ideal é uma tensão baixa, reduzindo defeitos e encolhimento. Contudo, fios elásticos são tricotados sob tensão em malhas *spacer*; sendo que a força induzida por tensão causa contração das estruturas das faces externas (Albaugh *et al.*, 2021).

Tamanho do ponto é produzido por um conjunto de fatores, incluindo a tensão de entrada do fio, que se refere à quantidade de fio utilizada para produzir a laçada à medida que é formada, conforme determinada pela programação de acionamento das cames. Assim, o tamanho do ponto interfere na densidade e rigidez da estrutura tricotada. No *spacer*, a densidade das faces externas pode afetar a contração em virtude da densidade das estruturas (Albaugh *et al.*, 2021). Além disso, a adição de

mais pontos com elástico e maior tensão melhoram as propriedades de amortecimento das estruturas (Tekmedash; Ezazshahabi; Asayesh, 2025).

3.2 Estruturas têxteis em aplicações biomédicas e de higiene

Alguns subtipos de EB podem levar a complicações como estenoses, estricaduras, sinequias e pseudossindactilia. Também pode haver a formação de mília, distúrbios pigmentares, superinfecção microbiana, distrofia ungueal e alopecia (cicatricial ou atrófica), que são sinais de outras características de vários subtipos de EB (Laimer; Prodinger; Bauer, 2015). A fragilidade da pele e consecutiva lesão ocorrem principalmente em áreas mais sujeitas à pressão traumática, nomeadamente nas superfícies extensoras das regiões acrais (mãos, pés, cotovelos, joelhos) (Miyamoto *et al.*, 2022).

Os recém-nascidos e as crianças com EB são também conhecidas como “*butterfly children*” ou crianças-borboleta (*tradução nossa*), dado que sua pele apresenta grave fragilidade, como são as asas desse inseto. Para esses casos de EB, tem-se priorizada a resolução de problemas cotidianos baseados em vestuário, em termos de atrito das roupas ou da capacidade de melhoria da performance durante o uso por essas pessoas.

As aplicações biomédicas das estruturas têxteis não têm estado circunscritas ao vestuário; tem havido forte inserção das malhas *spacer* em aplicações biomédicas com direcionamentos para a higiene e para a prevenção de doenças, a exemplo: I. a absorção e a gestão de líquidos surgem da necessidade de se absorver e transportar líquidos para longe da pele, reduzindo irritações e infecções; II. a prevenção de úlcera por pressão é realizada pela estrutura 3D que dissipa a pressão corporal, mantendo a pele seca e permitindo a troca de gases e estabilizando o microclima da pele; III. a construção de curativos e bandagens cuja estrutura promove a respirabilidade e a cicatrização da pele, proporcionando a ela a absorção do exsudato, de modo a evitar o acúmulo de umidade; IV. o desenvolvimento ortoses e próteses é necessário para a construção de joelheiras e coletes ortopédicos, objetivando a promoção de compressão e ventilação, promovendo conforto e adaptabilidade da estrutura (Ahmed *et al.*, 2023; Davies, 2011).

4 Design Science e Modelo Design Science Research

Os processos de pesquisa em ciências, como a Engenharia, Computação, Design e Educação, assemelham-se e podem compor o grupo de ciências que trabalham atualmente sobre a lógica do projeto – tanto que são denominadas, na literatura especializada, *Design Science* (DS). O foco paradigmático das áreas que integram essa prática é o da produção do conhecimento sobre o design de artefatos: se nas ciências naturais estuda-se o que as coisas são, o *design define o deve ser* para atender a um propósito, conforme Pimentel; Filippo; dos Santos (2020). A origem do paradigma da *Design Science Research* (DSR) remonta à obra *The Sciences of the Artificial*, na qual Herbert A. Simon (1916) destaca o papel das ciências artificiais produzidas nas áreas de Engenharias, Computação, Educação e Design. A ênfase é dada ao papel dessas “ciências” na construção de conhecimentos sobre o próprio processo de concepção de artefatos, garantindo que se adequem e atendam a objetivos específicos, aprimorando a capacidade de inovação Simon (1916).

Peppers et al. (2007), com o objetivo de melhorar a produção, a análise dos dados e apresentação dos resultados no campo da DSR, de modo consonante às pesquisas e diretrizes anteriormente estabelecidas em *Design Science Research*; desenvolveram a *Design Science Research Methodology* (DSRM) que utiliza o método abdução, próprio do pensamento projetual dos *designers*. A DSRM apresenta seis etapas, conforme apresentado na Figura 7.

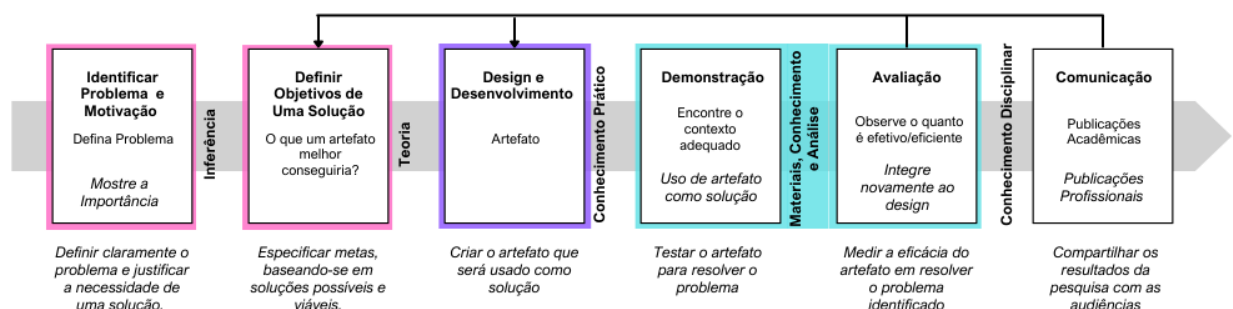


Figura 7. Design Science Research Methodology.

O principal objetivo é a caracterização os artefatos por métodos quantitativos, sendo esses artefatos: constructo, modelo, método, instanciação (Peppers et al., 2007;

Pimentel; Filippo; Santos, 2020). Destaca-se que o foco do artefato pode se concentrar nos seguintes aspectos: técnico, organizacional e estratégico Cleven et al. (2009).

Pimentel; Filippo; Santos (2020) apresentam de modo ampliado o Design Science Research Model (modelo-DSR). Para os autores, o modelo sugere uma integração entre a produção do artefato e a produção do conhecimento científico – e ela se dá pelo desenvolvimento dos ciclos do design e do conhecimento. O modelo, então, enfatiza a importância das conjecturas comportamentais durante o processo de projeto do artefato. Além disso, o modelo-DSR estrutura a pesquisa em elementos interrelacionados, como revisão de literatura, estado da técnica, avaliação empírica e critérios de aceitação, de modo a assegurar o rigor metodológico e relevância prática (Figura 8).

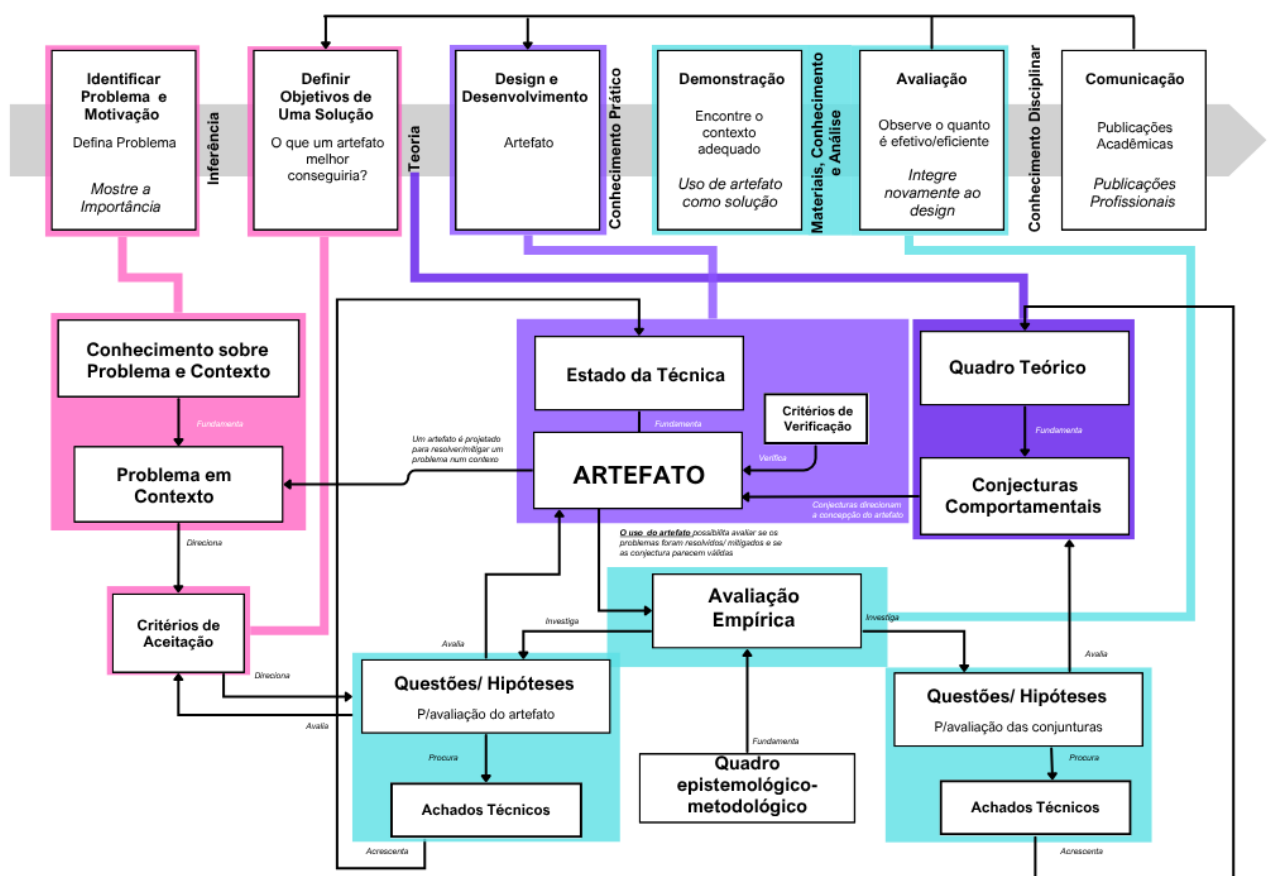


Figura 8. Modelo de metodologia a ser aplicado para o desenvolvimento de malhas spacer e geração de conhecimento em design e para o design de estruturas têxteis. Fonte: Extraído e adaptado de Pimentel; Filippo; Santos (2020).

A utilização do modelo-DSR permite conjugar alguns pontos, com base em (Pimentel; Filippo; Santos, 2020):

I. Fundamentação teórica: as teorias que orientam o *design* dos artefatos, mas sem uma etapa dedicada à sistematização, são superadas com a explicitação da necessidade de construção de um quadro teórico que garanta o rigor entre teoria e prática.

II. Avaliação empírica: cria-se um ambiente de flexibilidade em trabalhar com abordagens quantitativas e qualitativas; nele, incluem-se a avaliação das conjecturas teóricas e a busca de achados teóricos, ampliando a contribuição científica.

III. Estrutura e flexibilidade: tais fatores alicerçam a produção de explicitação de etapas sequenciais e a orientação do que deve ser feito, sem a necessidade de uma ordem rígida; além disso, abrem caminhos para a adaptação a diferentes paradigmas e metodologias.

IV. Ênfase na produção do conhecimento sobre o artefato: estimula-se uma cultura de valorização do desenvolvimento técnico e do conhecimento científico (Pimentel; Filippo; Santos (2020)).

5 Aplicação do Modelo *Design Science Research*

A aplicação do Modelo-DSR apresentada por Pimentel; Filippo; Santos (2020) oferece importantes *insights* para o desenvolvimento de artefatos pelo *design* têxtil, com especial ênfase, neste caso, nas malhas técnicas tipo *spacer*, que atendam a problemas reais, como o caso de usuários com epidermólise bolhosa. A metodologia tem uma aplicação precisa nas etapas (Figura 9).

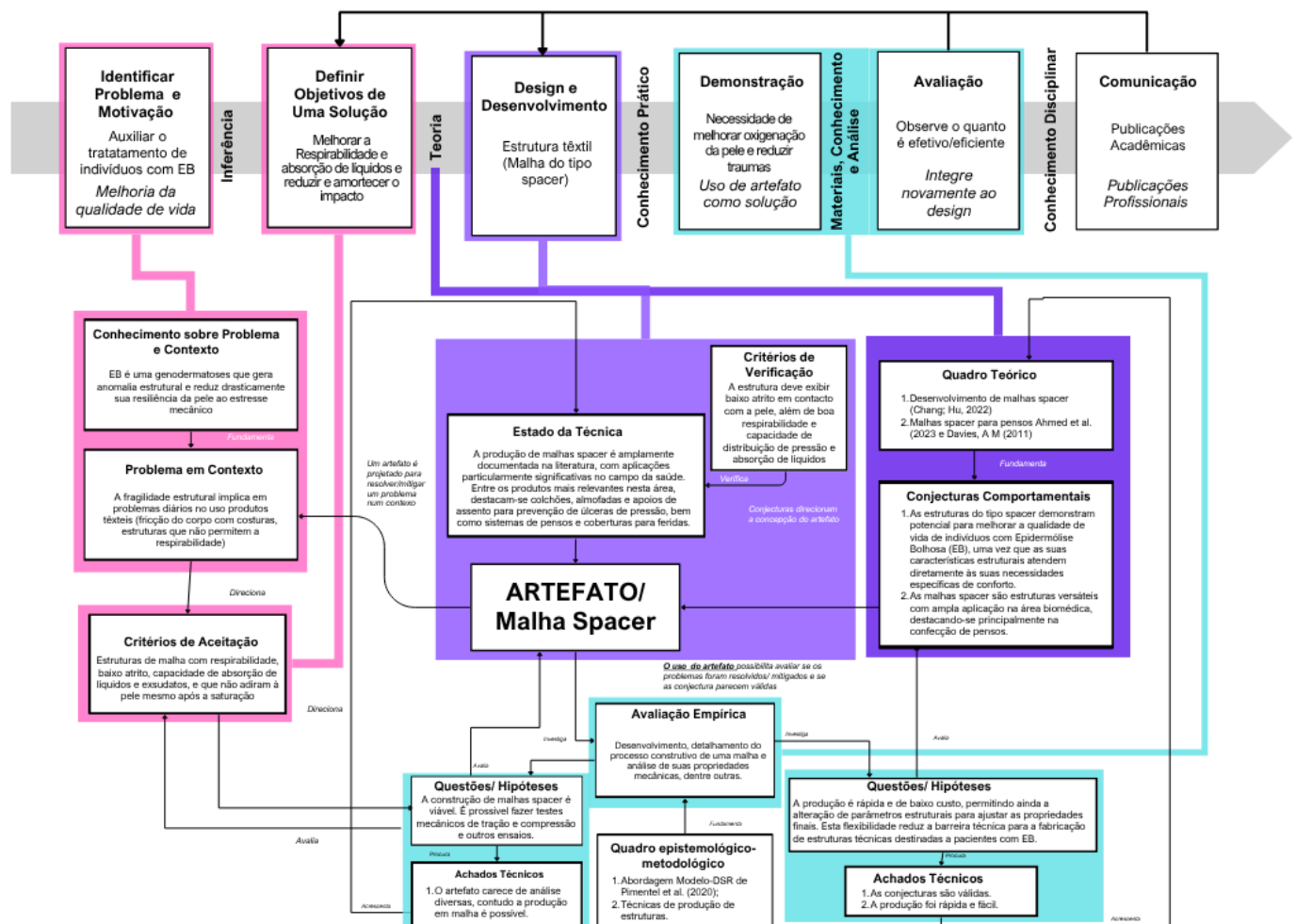


Figura 9. Modelo-DSR aplicado ao desenvolvimento de malha spacer de trama para o desenvolvimento de têxteis biomédicos. Fonte: elaborado pelo autor.

1. Identificação do problema: o problema em questão é identificado como a Epidermólise Bolhosa (EB) – genodermatoses – que causa fragilidade cutânea e demanda um vestuário que minimize atrito e outras complicações físicas, como infecções e desconforto, melhorando a qualidade de vida dos indivíduos. Neste sentido, o modelo-DSR sistematiza essa demanda em requisitos técnicos (como, por exemplo, conforto termo fisiológico, redução de atrito, dentre outros). Nessa etapa, desenvolve-se uma extensão do problema, com: I. conhecimento sobre o problema e contexto, que pode ser obtido com uma revisão de literatura sobre a doença, suas causas, consequências e necessidades dos indivíduos com EB; II. organização dos dados/informação de modo a fundamentar uma objetiva definição do problema e suas possíveis soluções aceitáveis.

2. Definição dos objetivos da solução: que, no caso em questão, é orientada para a construção de uma estrutura têxtil tridimensional (*malha spacer*) que ofereça baixo

atrito com a pele, distribuição eficiente de pressão, capacidade de absorção de líquidos, respirabilidade e conforto. Para tanto, os critérios de aceitação dos objetivos são: I. estabelecidos com base no quadro teórico, tanto da literatura sobre malhas como da aplicação delas em saúde.

3. Design e desenvolvimento do artefato: nessa etapa, eles mobilizam e integram todo o conhecimento sumarizado no quadro teórico, bem como as conjecturas e os objetivos previamente delineados, a partir de: I. estado da técnica – com base no quadro teórico sobre as estruturas em malha, desenvolvem-se alternativas viáveis, articuladas ao conhecimento prático, para o ajuste de parâmetros de produção e a consequente modificação na estrutura da malha. Isso permite alterações rápidas e de baixo custo em parâmetros como densidade, espessura e tipos de fio, de modo a aperfeiçoar suas propriedades físico-mecânicas para dar origem ao artefato que melhor se adeque aos indivíduos. II. o desenvolvimento do estado da técnica gera parâmetros para a elaboração de critérios de verificação (ensaios de tração e compressão, teste de absorção de líquidos, de respirabilidade, medição do coeficiente de atrito etc.)

4. Demonstração: a aplicação do artefato em contexto real ou simulado.

5. Avaliação: é realizada mediante critérios de verificação preestabelecidos. I. avaliação empírica – o artefato é testado em contexto real ou simulado de modo a validar sua eficácia (ou não). A avaliação empírica permite tanto questionar se os *achados técnicos* permitem a aplicação das estruturas em malha ao grupo, como também estabelece perspectivas para validar ou rejeitar as *hipóteses e questões*. O processo de avaliação é, principalmente, suportado pelo *quadro teórico e epistemológico-metodológico* do estudo, que trata, portanto, das teorias sobre conforto, materiais e saúde. Além disso, a escolha metodológica – abordagem quantitativa ou qualitativa, ou ambas – tem papel central para nortear os achados do estudo. No modelo-DSR, as etapas de demonstração e avaliação consistem na apresentação da construção estrutural e do processo de produção do *design*. A avaliação será realizada sob a ótica da identificação e ilustração dos parâmetros fundamentais para o desenvolvimento das estruturas em malhas, uma vez que a pesquisa trata de um projeto “em andamento” para o desenvolvimento de estruturas de malhas *spacer*.

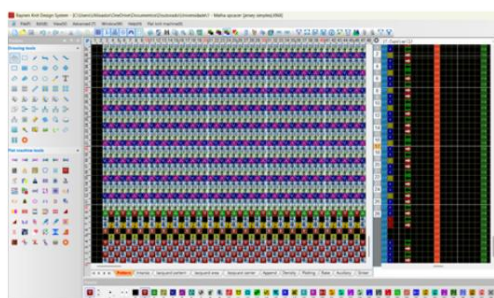
6. Comunicação: uma publicação sobre o processo de desenvolvimento do artefato e de seus testes e resultados tem papel importante na validação dos achados,

ampliando o alcance deles dentro da comunidade científica.

5.1 Caracterização do maquinário

O maquinário utilizado (Figura 10 – B) consiste em um tear retilíneo eletrônico, com tecnologia para peça pronta (*full garment*). O sistema opera com um único carro com três sistemas de came. O tear apresenta um comprimento de frontura de 72 polegadas e está configurado com 16 guia-fios, os quais são acionados por um sistema de correia de avanço e retorno. A máquina possui uma tiragem principal e uma segunda tiragem com 19 setores, cada um controlado individualmente por motores de passo programáveis e um terceiro sistema de tiragem, denominado *draw down*, composto por dois painéis (frontal e traseiro), posicionados abaixo da primeira tiragem. O equipamento utilizado é da marca Mandarin, modelo Full Garment série FG372 SYF (Smart Yarn Feeders).

A Interface do software Raynen



B tear retilíneo eletrônico - Mandarin, Full Garment Serie (FG372 SYF - Smart Yarn Feeders)

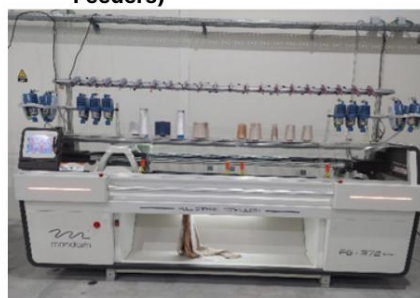


Figura 10. Programa e maquinário aplicados no projeto e a prototipação de malhas do tipo spacer de trama. **A.** Observa-se a interface do sistema Raynen da empresa Raynen Technology Co., Ltd. **B.** Tear retilíneo eletrônico Mandarin, modelo Full Garment série FG372 SYF.

O software utilizado para o desenvolvimento das estruturas em malha Raynen é desenvolvido pela empresa chinesa Raynen Technology Co. Ltd. O *software* consiste em um sistema CAD para o desenvolvimento de malhas de trama. Na Figura 10 - A, observa-se a interface do *software*.

6 Resultados e Discussão

6.1 Desenvolvimento e *design* das malhas de trama

As estruturas têxteis têm ganhado espaço na produção de curativos, com inovações estruturais nesse campo. Alguns produtos, como Siltape (Advancis, 2025), são utilizados em substituição à fita adesiva normal, graças as suas propriedades: microaderência, porosidade e aplicação simples. Apesar de ser utilizado em casos como EB, alguns estudos apontam que podem representar risco para recém-nascidos ou indivíduos com pele muito frágil (Denyer; Pillay, 2012).

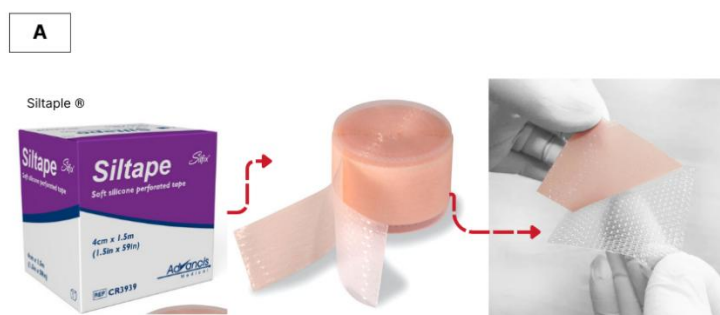


Figura 11. A. Fita microporosa para aplicação em curativos.

A estrutura do Siltape® (Figura 11) é pensada para apresentar uma porosidade estrutural que permite que tenha respirabilidade (melhora a ventilação e permite a passagem de umidade ou vapor da pele). A estrutura da malha desenvolvida no projeto se baseou em parâmetros aplicados nos curativos, como no exemplo apresentado acima (Figura 11). Foi desenvolvida uma estrutura *spacer* em jersey, conforme a Figura 12, na qual são exibidos os aspectos fundamentais para o desenvolvimento da estrutura, que neste caso, serve como uma estrutura controle, sem modificações estruturais no ponto. É importante destacar que a estrutura não apresenta intervenções estruturais e apresenta fator de cobertura “característico” da estrutura jersey, sem a presença de relevos ou de união das faces (Figura 12). Ressalta-se que a estrutura jersey serve de base para o desenvolvimento de outras estruturas em malha de trama (derivados de jersey), que é constituída em laçadas simples, dispostas na mesma direção no sentido horizontal (fileiras) ou vertical (colunas). Na malha de jersey, cada ponto é formado quando a nova laçada passa por trás da laçada anteriormente

formada (Araújo, 1988).

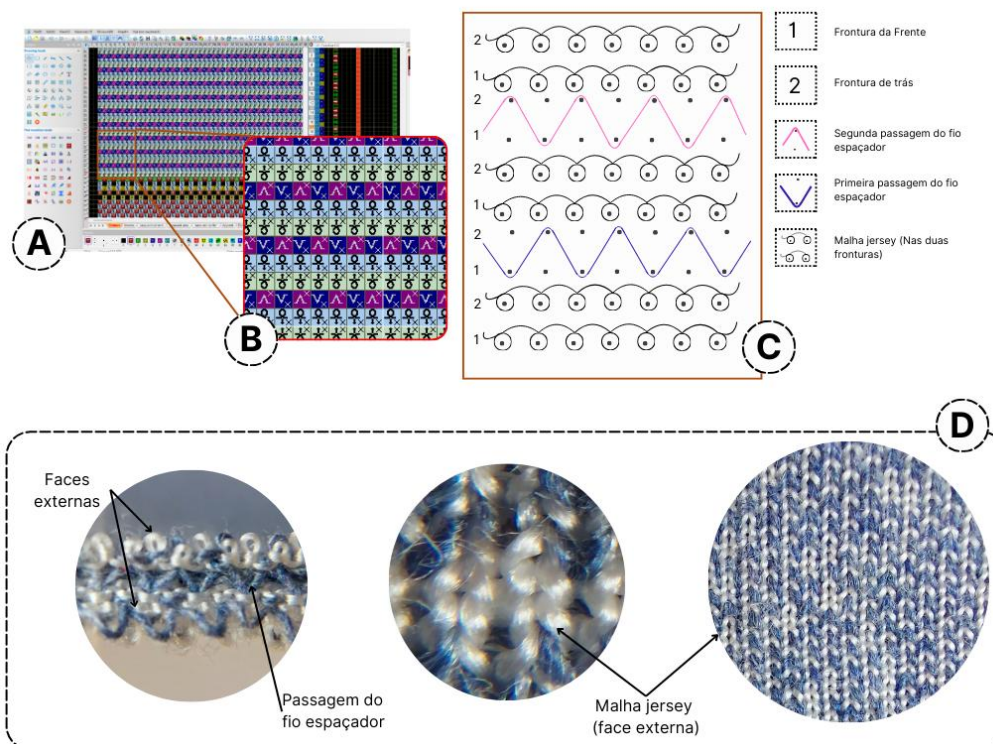


Figura 12. Processo de desenvolvimento de uma estrutura spacer em jersey. **A.** Imagem da interface do software Raynen. **B.** Estrutura esquemática da construção da malha no software. **C.** Representação do ligamento da construção da estrutura. **D.** Malha obtida após a execução do programa: visão superior ampliada (figura central) e sem ampliação (à direita) e visão perpendicular identificam-se as faces externas (laçadas em branco) e a passagem do fio espaçador (fio em azul).

No desenvolvimento da segunda estrutura (Figura 13), o objetivo principal consistiu-se na criação de uma estrutura com texturas e com presença de interstícios na junção entre as faces, além da produção de um relevo superficial em uma das faces externas da malha. Tais modificações implicaram em projetar esse ligamento, conforme observa-se na Figura 13 – B – além das laçadas jersey e da passagem dos fios espaçadores; a presença de programação de movimentação de laçadas para frontura de trás e depois transferência para a frente, recolocando a laçada 1 agulha para a esquerda ou direita (símbolo na cor rosa e bege claro com a presença de inscrição “1P” e um símbolo similar a uma “seta torcida para a esquerda e direita”).

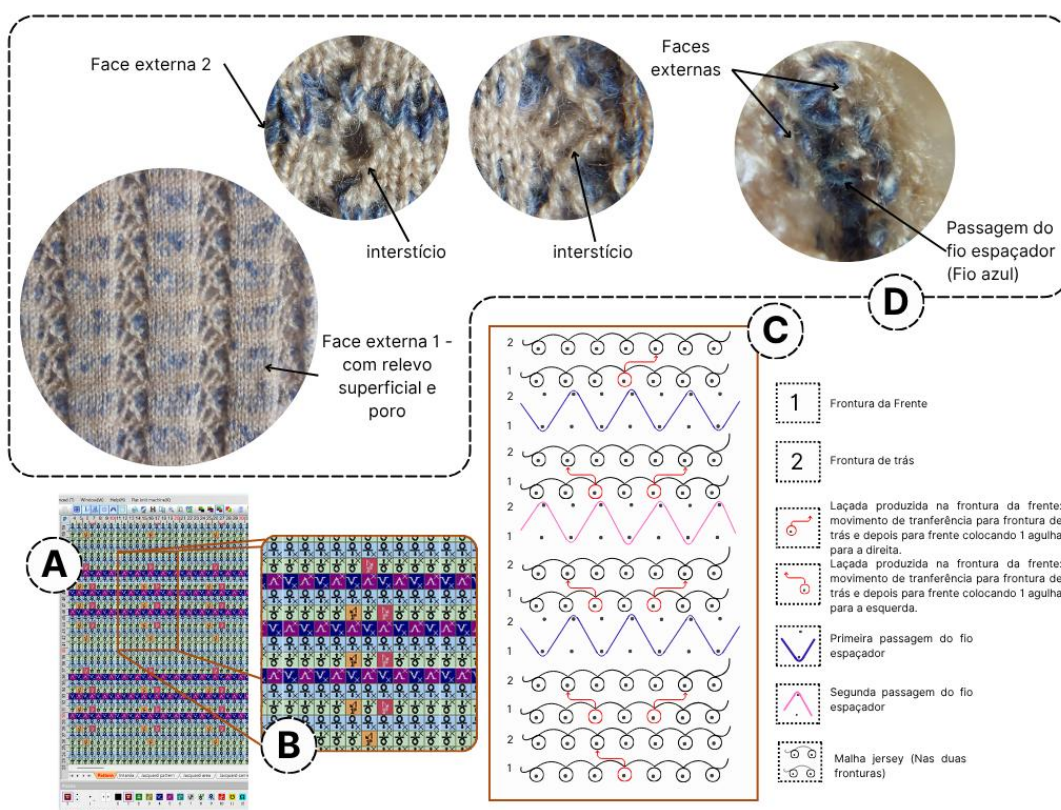


Figura 13. Processo de desenvolvimento de uma estrutura spacer com interstícios e relevo superficial (derivado de jersey). A. Imagem da interface do software Raynen. B. Estrutura esquemática da construção da malha no software. C. Ligamento da malha. D. Malha obtida após a execução do programa: face direita (figura maior) possui colunas de relevo e de poros; poros ampliados (duas figuras centrais) e visão perpendicular (à direita) identificam-se as faces externas (laçadas em branco) e a passagem do fio espaçador (fio em azul). Fonte: Elaborado pelos autores.

As transferências de laçadas demonstradas na Figura 13 – A, B e C permitem ao *designer* a possibilidade de criar relevos, texturas e formas (Francis; Sparkes, 2011). No contexto da criação de texturas, destaca-se principalmente a ação de transferências de laçadas, que, neste contexto, dará origem a partes da malha com interstícios.

O projeto de *design* de estrutura têxtil, quando objetiva que a estrutura apresente maior permeabilidade ao vapor de água (evaporação do suor e gases da pele), deve levar em consideração os aspectos: tipos de fibras empregados, espessura do tecido, porosidade, absorção de umidade, *design* estrutural do têxtil e as condições ambientais. A permeabilidade ao vapor de água possui dois mecanismos distintos: presença de um poro na estrutura, que, por sua vez, é capaz de colaborar nas trocas gasosas, ou por meio de absorção de líquidos e posterior evaporação da superfície (Barbari; Asayesh, 2025).

A arquitetura e o comportamento dos *spacers* têm características que

promovem a respirabilidade e o conforto, pontos importantes no *design* de estruturas têxteis médicas. Além disso, a personalização da estrutura ocupa papel importante no aumento do conforto e da funcionalidade dos *spacers*. A personalização da camada espaçadora (diâmetro dos fios, tipo de fios e a dimensão da camada) altera a condutividade térmica (Dejene; Gudayu, 2024).

Ao compararmos as estruturas presentes nas Figuras 12 e 13, observa-se uma modificação da morfologia superficial, apresentando uma estrutura com relevo em uma das faces e interstícios. Os interstícios podem facilitar a permeabilidade ao ar e à água. Cabe destacar que o fluxo de ar transita predominantemente pelos interstícios e entre os fios, sendo diretamente influenciado pelas características construtivas das malhas, como o fator de cobertura. Neste sentido, tais características construtivas destacam-se como um ponto crucial para o desempenho final da malha (Guru *et al.*, 2024).

6.2 Correlação do ensino de design têxteis e aplicação de produtos biomédicos

O ensino em *design* e no *design* de têxteis pode ser atrelado à construção do projeto e no desenvolvimento de um conteúdo, incluindo a explicação da dimensão técnica dos processos das malhas e de seus componentes para seu desenvolvimento. Aguiar Souza e Kohan (2024) apresentam o desenvolvimento de elementos visuais (simulações 3D) no ensino da construção de estruturas têxteis complexas em aplicações biomédicas *scaffold*. Isso se alinha ao modelo-DSR através da integração de Métodos Visuais: representações técnicas, a exemplo de ilustrações do processo de formação de laçadas, podem facilitar o ensino sobre a construção e aplicação das estruturas.

Numa sociedade que valoriza sobremaneira a aplicação da inteligência visual e a comunicação por meio de códigos visuais, ensinar a partir deste desses princípios podem ser um mecanismo extremamente efetivo, focando-se em: I. valorização da inteligência visual, priorizando formas de comunicação que utilizam elementos visuais (imagens, gráficos, símbolos e vídeos) para estruturar informações (Dunlap; Lowenthal, 2016; Zhang; Zhao, 2023). II. códigos visuais como facilitadores, pois eles podem organizar a aquisição e retenção de conhecimento, além de orientar a aprendizagem (Fragou & Papadopoulou, 2020).

7 Conclusão

O objetivo central deste trabalho de pesquisa consistiu em propor o desenvolvimento de malhas *spacer* de trama, a partir de uma metodologia baseada em *Design Science Research* (DSR), utilizando o *modelo-DSR* de Pimentel, Filippo e Santos (2020), para sistematizar a construção de estruturas em malhas destinadas a aplicações biomédicas no vestuário, especialmente para usuários com genodermatoses, bem como estruturar e ilustrar os passos do processo de produção.

O estudo apresentou detalhadamente a formação da malha e máquinas de trama e urdume. Além disso, detalhou parâmetros, dentre os quais se destacam o tipo de fio, densidade, inclinação, tensão e ordem de fabricação. E ainda, apresentou dados gerados em software (*Raynen*) para prototipagem, fundamental para programação das estruturas, e finalizou demonstrando o processo de criação das malhas e sua execução no tear.

Em suma, o estudo aportou uma contribuição para o ensino de estruturas têxteis técnicas, correlacionando o desenvolvimento de um produto biomédico – a estrutura de malha *spacer* para Epidermólise Bolhosa (EB) – com o design têxtil, destacando a importância de ferramentas visuais (imagens e ilustrações) no ensino de estruturas têxteis complexas. Para tanto, baseou-se na aplicação de um modelo metodológico guia para a sistematização do processo de desenvolvimento das estruturas nele tratadas. O trabalho evidenciou o desenvolvimento e o design das malhas de trama, descrevendo a criação de dois protótipos: uma estrutura *spacer* em jersey (Figura 12) e uma estrutura derivada de jersey com poros e relevos superficiais (Figura 13), visando melhorar a permeabilidade e o conforto.

A aplicação do *modelo-DSR* permite integrar, como se defende, teoria e prática, articulando ciclos criativos de desenvolvimento, teste e avaliação. No processo de ensino, a incorporação de elementos visuais no ensino de design têxtil – como imagens, ilustrações, simulações 3D, dentre outros – pode favorecer a fixação e melhorar a aprendizagem, sendo o modelo metodológico (Figuras 8 e 9) um fio condutor do ensino teórico-prático. A pesquisa configura-se como um projeto translacional; a utilização do modelo proposto possibilita a criação de um conhecimento teórico-prático aplicado não apenas aos têxteis, mas também à conversão de tecnologias para superar demandas

dos indivíduos e das sociedades. A partir do desenvolvimento do artefato, contribui-se tanto para a teoria e a prática do design como para a construção de literatura especializada que trata das ciências de modo integrado e complementar em seus saberes, técnicas e metodologias.⁷

⁷ Revisor: **Marcelo Machado Martins**, Bacharel e Licenciado em Letras UNIP-SP (1992), especialista em Língua Portuguesa pela USJT (1995), mestre (2000) e doutor (2005) em Semiótica e Linguística Geral pela USP: FFLCH, com doutorado sanduíche pela ENS: LSH de Lyon e Paris (2001-2002). Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco, no Centro Acadêmico do Agreste, lotado no núcleo de Design e Comunicação.

Referências:

- ADVANCIS. **Siltape**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://advancismedical.nl/products/siltape?shpxid=f2687936-83ba-47b0-86e6-04802ff12abd>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- AGUIAR SOUZA, Ivis; KOHAN, Lais. Construção e simulação de estruturas têxteis entrançadas: considerações para o ensino de design têxtil. **Revista de Ensino em Artes, Moda e Design**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1–31, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/25944630822024e5325>. Acesso em: 11 fev. 2025.
- AHMED, Usman; HUSSAIN, Tanveer; ABID, Sharjeel. Role of knitted techniques in recent developments of biomedical applications: A review. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, [s. l.], v. 18, p. 15589250231180292, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/15589250231180293>.
- ALBAUGH, Lea *et al.* Engineering multifunctional spacer fabrics through machine knitting. *In:* , 2021, New York, NY, USA. **Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. p. 1–12. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3411764.3445564>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- ALBAUGH, Lea; HUDSON, Scott; YAO, Lining. Digital Fabrication of Soft Actuated Objects by Machine Knitting. *In:* , 2019, New York, NY, USA. **Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. New York, NY, USA: ACM, 2019. p. 1–13.
- ARAÚJO, Mário de. **Manual das Malhas de Trama**. 1. ed. Coimbra: Diretoria Geral da Indústria - DGI, 1988. v. Volume I
- BETTENCOURT, Susana Lopes; CATARINO, André P; BLACK, Sandy. Bridging Fashion Design and the Knitwear Industry: A Literature Review. *In:* , 2023, Cham. (Ana Cristina Broega *et al.*, Org.) **Advances in Fashion and Design Research**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 373–383.
- CADENA, Renata Amorim; COUTINHO, Solange Galvão; ANDRADE, Bruna. A linguagem gráfica em artefatos educacionais gerados com ferramentas de TIC. **InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 33–44, 2013.
- CHANG, Yuping; HU, Hong. Warp knitting for preparation of high-performance apparels. *In:* MAITY, Subhankar *et al.* (org.). **Advanced Knitting Technology**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2022. p. 395–410. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323855341000076>.
- CHEN, Chaoyu *et al.* Analysis of physical properties and structure design of weft-knitted spacer fabric with high porosity. **Textile Research Journal**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 59–68, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0040517516676060>.
- CLEVEN, Anne; GUBLER, Philipp; HÜNER, Kai M. Design alternatives for the evaluation of design science research artifacts. *In:* , 2009, New York, NY, USA. **Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology**. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1555619.1555645>.

DAVIES, A M. Use of knitted spacer fabrics for hygiene applications. *In: MCCARTHY, Brian J (org.). Textiles for Hygiene and Infection Control*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2011. p. 27–47. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845696368500037>.

DEJENE, Bekinew Kitaw *et al.* Three-dimensional (3D) knitted spacer textile materials for advanced healthcare solutions: A comprehensive review. **Journal of Industrial Textiles**, [s. l.], v. 54, p. 15280837241290168, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/15280837241290169>.

DEJENE, Bekinew Kitaw; GUDAYU, Adane Dagnaw. Exploring the potential of 3D woven and knitted spacer fabrics in technical textiles: A critical review. **Journal of Industrial Textiles**, [s. l.], v. 54, p. 15280837241253614, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/15280837241253614>.

DENYER, Jacqueline; PILLAY, Elizabeth. **Best practice guidelines for skin and wound care in epidermolysis bullosa. International Consensus**. London: [s. n.], 2012.

DUNLAP, Joanna C; AND LOWENTHAL, Patrick R. Getting graphic about infographics: design lessons learned from popular infographics. **Journal of Visual Literacy**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 42–59, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1051144X.2016.1205832>.

ECKERT, Claudia. Managing Effective Communication in Knitwear Design. **The Design Journal**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 29–42, 1999.

EL MOGAHZY, Y E. Types of fabric for textile product design. *In: EL MOGAHZY, Y E (org.). Engineering Textiles*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2009. p. 271–299. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845690489500107>.

FRAGOU, Olga; AND PAPADOPOULOU, Maria. Exploring infographic design in higher education context: towards a modular evaluation framework. **Journal of Visual Literacy**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 1–22, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1051144X.2020.1737904>.

FRANCIS, N; SPARKES, B. Knitted textile design. *In: BRIGGS-GOODE, A; TOWNSEND, K (org.). Textile Design*. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2011. p. 55–87e. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845696467500032>.

HALBRECHT, Anat *et al.* 3D Printed Spacer Fabrics. **Additive Manufacturing**, [s. l.], v. 65, p. 103436, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860423000490>.

KURBAK, Arif. Geometrical models for weft-knitted spacer fabrics. **Textile Research Journal**, [s. l.], v. 87, n. 4, p. 409–423, 2017.

LAIMER, Martin; PRODINGER, Christine; BAUER, Johann W. Hereditary epidermolysis bullosa. **JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft**, [s. l.], v. 13, n. 11, p. 1125–1133, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ddg.12774>.

LAM, Ngan Yi Kitty; LUO, Xue; LI, Li. Investigation on skin-protective clothing that addresses needs of epidermolysis bullosa patients/children with epidermolysis bullosa and their parents. **The Journal of The Textile Institute**, [s. l.], v. 113, n. 6, p. 1185–1196, 2022.

LOTZ, Kevin *et al.* Structural analysis of three-dimensional mesh fabric by Micro X-ray computed tomography. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, [s. l.], v. 14, p. 1558925019896433, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1558925019896433>.

MIYAMOTO, Denise *et al.* Epidermolysis bullosa acquisita. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, [s. l.], v. 97, n. 4, p. 409–423, 2022.

PEFFERS, Ken *et al.* A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PIMENTEL, Mariano; FILIPPO, Denise; SANTOS, Thiago Marcondes dos. Design Science Research: pesquisa científica atrelada ao design de artefatos. **RE@D - Revista de Educação a Distância e eLearning**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 37–61, 2020. Disponível em: https://revistas.rcaap.pt/lead_read/article/view/21898. Acesso em: 28 nov. 2024.

RAY, Sadhan Chandra. **Fundamentals and Advances in Knitting Technology**. 1. ed. [S. l.]: Woodhead Publishing India, 2012a. v. 1 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780857091086/fundamentals-and-advances-in-knitting-technology>. Acesso em: 26 maio 2025.

RAY, Sadhan Chandra. Production of spacer fabrics in knitting. *In*: FUNDAMENTALS AND ADVANCES IN KNITTING TECHNOLOGY. [S. l.]: Elsevier, 2012b. p. 283–292.

RETROSI, Chiara *et al.* Multidisciplinary care for patients with epidermolysis bullosa from birth to adolescence: experience of one Italian reference center. **Italian Journal of Pediatrics**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 58, 2022.

RUDY, Ryan; WARDININGSIH, Wiah. Force attenuation capacity of weft-knitted spacer fabric in low-velocity impact. **International Journal of Clothing Science and Technology**, [s. l.], v. 33, n. 6, p. 942–952, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJCST-06-2020-0100>.

SALIK, Deborah; RICHERT, Bertrand; SMITS, Guillaume. Clinical and molecular diagnosis of genodermatoses: Review and perspectives. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 488–500, 2023.

SIMON, Herbert Alexander. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed. Cambridge, Massachusetts - England: Massachusetts Institute of Technology - MIT Press, 1916.

SPENCER, David J. A comprehensive handbook and practical guide. **Knitting Technology, 3rd Edition**, Woodhead Publishing Ltd, [s. l.], 2001.

SPENCER, David J. Comparison of Weft and Warp Knitting. **Knitting Technology**, [s. l.], p. 39–49, 1983. Disponível em: Acesso em: 9 set. 2025.

STACEY, Martin K; ECKERT, Claudia M; WILEY, Jennifer. Expertise and creativity in knitwear design. **International Journal of New Product Development and Innovation Management**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 49–64, 2002. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=7417058269820692478&btl=1&hl=pt-PT>. Acesso em: 5 maio 2025.

STOLL. **Stoll Training Manual Flat Knitting Machine**. Reutlingen, Germany: [s. n.], [s. d.]. Disponível em: https://nfc.stoll.com/faq/223788_01_train_learner_en.pdf. Acesso em: 30 jun.

2025.

TEKMEDASH, Mohadese Irani; EZAZSHAHABI, Nazanin; ASAYESH, Azita. The influence of fabric structure on the static and dynamic compressional performance of weft-knitted spacer fabrics. **Mechanics of Time-Dependent Materials**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 42, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11043-025-09778-9>.

WU, Chong; JIAO, Xin-He. Simple and affordable soft brace application in dystrophic epidermolysis bullosa patients. **Frontiers in Surgery**, [s. l.], v. 10, 2024.

YU, Tianhong Catherine; MCCANN, James. Coupling Programs and Visualization for Machine Knitting. In: , 2020, New York, NY, USA. **Symposium on Computational Fabrication**. New York, NY, USA: ACM, 2020. p. 1–10.

ZHANG, Chibo; ZHAO, Yongli. Design and Application of Multimedia Technology-Based Curriculum for Visual Communication Majors. **Advances in Multimedia**, [s. l.], v. 2023, n. 1, p. 5061929, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2023/5061929>.

Agência de pesquisa financiadora da pesquisa/Funding

Este trabalho foi apoiado pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., através da bolsa de referência 2024.05111.BDANA. Foi igualmente financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, através do Programa Operacional da Competitividade da FCT, no âmbito dos projetos UID/CTM/00264/2020 do Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil (2C2T), nas suas componentes base (<https://doi.org/10.54499/UIDB/00264/2020>) e programática (<https://doi.org/10.54499/UIDP/00264/2020>).

Declaração de conflito de Interesses/ Declaration of conflicting interests

Os autores declaram não ter conhecimento de conflitos de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

Declaração de Contribuição dos Autores e Colaboradores (CRediT - Contributor Roles Taxonomy)/ Contributions (CRediT - Contributor Roles Taxonomy)

Concepção do trabalho: Ivis de Aguiar Souza e Lais kohan. Preparação do rascunho original e visualização, Ivis de Aguiar Souza e Lais kohan. Supervisão: Miguel Ângelo Fernandes Carvalho.

Material suplementar/ Supplemental material

Todos os dados necessários para reproduzir os resultados estão contidos no próprio artigo.

Agradecimentos

Agradecemos o suporte e ajuda da empresa Mandarin Knitting Technology sediada em Barcelos Headquarters, Porto | Mandarin Italia - José Carrera Representation Rua António da Silva Rodrigues N48 4750-734 Tamel São Veríssimo, Barcelos, Porto, Portugal.