

Modelagem virtual de roupas e simulação de tecidos: Uma revisão sistemática

Beatriz Martins Frasnelli

Mestranda, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS / beatrizfreewil@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-7058-1970> / Lattes: lattes.cnpq.br/2055284795520484

Clariana Fischer Brendler

Doutora, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS / clariana.brendler@ufrgs.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4472-8338> / Lattes: lattes.cnpq.br/9364101267905447

Enviado: 07/07/2024 | Aceito: 07/05/2025



Modelagem virtual de roupas e simulação de tecidos: Uma revisão sistemática

RESUMO

Este artigo tem como objetivo analisar os principais avanços da modelagem na moda dentro dos mundos físico e semântico, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A RSL foi conduzida utilizando a ferramenta Parsifal, seguindo as diretrizes de Claes (2012). Após a seleção dos artigos, o método PRISMA (2020) foi empregado para organizar os dados, enquanto a plataforma Mendeley© foi utilizada para leitura e gestão das referências. Como parte da análise, foram estabelecidos dois conceitos principais: Mundo Semântico, relacionado ao ambiente virtual, e Mundo Físico, vinculado ao mundo real e atual. Os artigos analisados foram distribuídos entre esses dois campos, destacando as interseções e aplicações práticas. Os resultados evidenciaram que, de forma geral, os estudos tendem a priorizar o Mundo Semântico, utilizando o Mundo Físico principalmente como suporte para alcançar os objetivos propostos nos projetos.

Palavras-chave: Revisão Sistemática; Virtual; Modelagem 3D; Modelagem de Roupas.

Virtual Garment Modeling and Fabric Simulation: A Systematic Review

ABSTRACT

This article aims to analyze the main advances in fashion modeling within the physical and semantic worlds through a Systematic Literature Review (SLR). The SLR was conducted using the Parsifal tool, following the guidelines of Claes (2012). After selecting the articles, the PRISMA (2020) method was employed to organize the data, while the Mendeley© platform was used for reading and managing references. As part of the analysis, two main concepts were established: the Semantic World, related to the virtual environment, and the Physical World, linked to the real and tangible world. The analyzed articles were categorized into these two fields, highlighting intersections and practical applications. The results revealed that, in general, studies tend to prioritize the Semantic World, using the Physical World mainly as a support to achieve the proposed project objectives.

Keywords: Systematic Review; Virtual; 3D Modeling; Clothing Modeling.

Modelado virtual de ropa y simulación de tejidos: Una revisión sistemática

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo analizar los principales avances en la modelización de la moda dentro de los mundos físico y semántico mediante una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL). La RSL se llevó a cabo utilizando la herramienta Parsifal, siguiendo las directrices de Claes (2012). Tras la selección de los artículos, se empleó el método PRISMA (2020) para organizar los datos, mientras que la plataforma Mendeley© se utilizó para la lectura y gestión de las referencias. Como parte del análisis, se establecieron dos conceptos principales: el Mundo Semántico, relacionado con el entorno virtual, y el Mundo Físico, vinculado al mundo real y tangible. Los artículos analizados se distribuyeron entre estos dos campos, destacando las intersecciones y aplicaciones prácticas. Los resultados evidenciaron que, en general, los estudios tienden a priorizar el Mundo Semántico, utilizando el Mundo Físico principalmente como soporte para alcanzar los objetivos propuestos en los proyectos.

Palabras-clave: *Revisión Sistemática; Virtual; Modelado 3D; Modelado de Ropa.*

1. INTRODUÇÃO

A moda é uma indústria que está constantemente se reinventando, mas, apesar do avanço da tecnologia, ainda mantém um olhar conservador em relação às práticas de modelagem. Mesmo em ateliês de alta costura, técnicas manuais que demandam um alto tempo e investimento ainda são vistas como as práticas adequadas.

O surgimento de ferramentas como o CAD (*computer-aided design and drafting*) e programas de edição de imagens, que prometiam revolucionar o processo de modelagem, não se concretizou como o esperado. Em vez de serem amplamente adotadas, essas ferramentas foram deixadas de lado em favor de métodos mais tradicionais. Noronha (2015) comenta que apenas em 1960 o Brasil passou a receber destaque no setor da moda, mas ainda assim com pouco sucesso no *prêt-à-porter*, técnica que viria a ser utilizada em larga escala até os dias de hoje. Rui Spohr se mostra muito importante ao longo da história para a popularização do *moulage* e do *prêt-à-porter* lançando sua primeira linha de roupas seguindo esses padrões em 1970 (Noronha, 2015).

Ainda em 1970, a indústria da moda começou a adotar tecnologias CAD para criar croquis, desenvolver padrões e planificar desenhos, reduzindo desperdícios de materiais à medida que os produtos avançavam na linha de produção. Essas ferramentas trouxeram maior precisão à manufatura e orientaram a escolha de costuras e acabamentos. No entanto, conforme relatado em *The History of Fashion Design* (2023), essas tecnologias foram gradualmente deixadas de lado em favor de métodos tradicionais, refletindo a resistência da indústria a mudanças tecnológicas.

Nos últimos anos, entretanto, a evolução de ferramentas digitais, como modelagem 3D, inteligência artificial e simulação têxtil, trouxe uma nova oportunidade de transformação. Essas tecnologias oferecem potencial para otimizar processos, reduzir desperdícios e atender à demanda

crescente por personalização, preenchendo lacunas deixadas pelas ferramentas CAD. No entanto, grande parte dessas inovações permanece restrita ao campo virtual, sem aplicação prática no mundo físico. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo analisar os principais avanços da modelagem na moda dentro dos mundos físico e semântico, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). A pesquisa foi estruturada em duas macro áreas — o mundo semântico e o mundo físico — para explorar como essas ferramentas estão sendo utilizadas e quais desafios precisam ser superados para integrar melhor o ambiente virtual à produção real.

O mundo semântico refere-se a uma área de pesquisa voltada para o desenvolvimento de técnicas que permitam criar modelos 3D de roupas com alto nível de realismo e precisão. Esses modelos podem ser aplicados em diversas finalidades, como *design*, prototipagem, *marketing* e vendas, mantendo, no entanto, o foco no ambiente virtual, não realizando um modelo no mundo físico.

O mundo físico, por sua vez, refere-se aos trabalhos que vão além da criação de modelos virtuais no mundo semântico, estendendo-se à construção de modelos físicos baseados nesses projetos virtuais. Trata-se da materialização dos resultados obtidos no ambiente virtual, transformando ideias e conceitos digitais em objetos concretos no mundo físico.

2. MÉTODO

Seguindo as orientações de Claes (2012) e utilizando o site Parsifal para organizar os dados, o método foi estruturado em etapas sequenciais. Durante o processo de extração dos artigos selecionados, foi aplicado o método Prisma (2020) para a organização das informações, enquanto a plataforma Mendeley© para *desktop* foi empregada para a leitura e gestão dos artigos selecionados.

Seguindo o método de Claes (2012) primeiro foi estabelecido o objetivo da pesquisa sendo: Analisar os

principais avanços da área da modelagem na moda, com foco na tecnologia virtual.

No segundo momento, a estratégia PICOC foi aplicada como ferramenta fundamental para estruturar e delimitar o escopo da pesquisa. Essa abordagem sistemática permitiu identificar os principais elementos do problema de estudo, facilitando a organização das informações e o direcionamento das etapas seguintes. O modelo PICOC, ao dividir o problema em cinco componentes principais – População (*Population*), Intervenção (*Intervention*), Comparação (*Comparison*), Resultado (*Outcome*) e Contexto (*Context*) (Claes, 2012).

1. Problema (*Problem*) - modelagem de roupa 3D;
2. Intervenção (*Intervention*) - Através da RSL;
3. Comparação (*Comparison*) - Comparar os artigos e as diferentes soluções encontradas;
4. Resultado (*Outcome*) - Identificar as razões que levam a sua produção e como são feitas.

No terceiro momento, após a definição do problema utilizando a estratégia PICOC, foram formuladas questões norteadoras para direcionar o desenvolvimento do projeto (Claes, 2012).

1. O artigo trabalha com geração de malhas tridimensionais?
2. O artigo relaciona os temas da moda e modelagem 3D?
3. O artigo traz novidades na área da modelagem de roupas?

No quarto momento a *string* de busca utilizada foi construída com base em palavras-chave de três grandes áreas relacionadas ao problema sendo: Modelagem 3D, Moda e suas ferramentas e Tecnologias. Após os testes, a melhor *string* (Figura 1) foi definida considerando as expressões "3D", "open source" para modelagem 3D e a contribuição da tecnologia; "cloth" e "moulage" para o enfoque na produção profissional de roupas com modelagem 3D, "fashion" foi adicionado posteriormente pela necessidade de melhor filtrar os resultados encontrados na área de moda e produção de

roupas. Posteriormente, foi retirada a palavra “open source” por limitar demais a pesquisa em si, conforme figura 1. Depois da construção da *string* a ser utilizada foi feito o uso dela na base de dados de periódicos *ScienceDirect* (Claes, 2012).

Figura 1. *String* final de busca utilizada

(“3d” OR “open source”) AND (“cloth” OR “moulage”) AND “fashion”

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Após a aplicação da *string* de busca no *ScienceDirect*, foram identificados 2.355 artigos, que foram filtrados de acordo com os critérios estabelecidos, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. *String* final de busca utilizada

Delimitações		Science direct
Ano	• 2023	59
	• 2022	44
	• 2021	27
	• 2020	25
	• 2019	17
Tipo de artigo	• Revisão	59
	• Pesquisa	113
Língua	• Inglês	172
	• Portugues	0
Acesso aberto	• Aberto	172
Total		172

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

A seleção e organização dos registros foram realizadas de forma sistemática, com o objetivo de garantir a correta indexação dos artigos para análise. Essa etapa envolveu a triagem cuidadosa dos estudos encontrados, com base

nos critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Todo o processo foi documentado no diagrama de fluxo PRISMA (2020), permitindo rastrear cada etapa da revisão sistemática. Essa abordagem assegurou a transparência e a reprodutibilidade da metodologia, facilitando a identificação das fontes utilizadas e o entendimento do percurso metodológico adotado na pesquisa conforme na figura 3.

Figura 3. Relação dos projetos e estudos de caso encontrados na revisão

Identificação dos artigos estruturados				
Incluídos			Excluídos	
Identificação				
Número de registros identificados pelos bancos de dados		>	Registros removidos antes da triagem	
Science Direct	172		Removidos após leitura dos títulos	159
			Registros duplicados removidos	0
v				
Triagem				
Registros selecionados (após leitura de títulos)		>	Registros excluídos	
Quantidade	13		Quantidade	0
v				
Número de artigos em texto completos avaliados (Após leitura dos resumos)		>	Número de artigos em texto completo excluídos com justificativa	
Quantidade	10		Fora do escopo	2
			Retratados	1
			Artigos de revisão Sistemática	0
v				
Número de estudos incluídos em síntese qualitativa (Após leitura na íntegra)				
Quantidade	10			
v				
Inclusos				
Número de estudos incluídos em síntese qualitativa				

Quantidade	10		
------------	----	--	--

Fonte: baseado no fluxo PRISMA (2020).

Após a revisão, um total de 10 (dez) artigos foram selecionados para a leitura completa, para então realizar a análise descritiva e uma síntese trazendo os resultados da análise. A figura 2 apresenta o processo de exclusão dos artigos até a seleção final, a seguir, o quadro 1 traz a seleção de artigos finais com seu título, país onde foram escritos, autores, ano e quantidade de citações por artigo.

Quadro 1. Relação dos projetos e estudos de caso encontrados na revisão

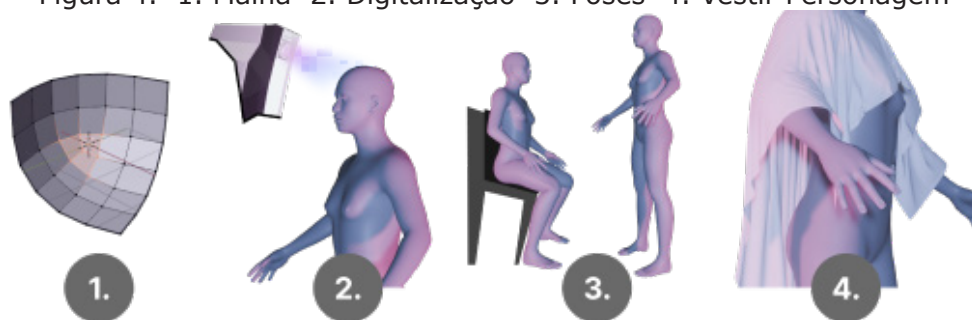
Artigos		
2017	1.1	<i>A new design concept: 3D to 2D textile pattern design for garments</i>
	1.2	<i>Scanning and animating characters dressed in multiple-layer garments</i>
2019	2.1	<i>From 2D to 3D geodesic-based garment matching</i>
2020	3.1	<i>FashionFit: Analysis of Mapping 3D Pose and Neural Body Fit for Custom Virtual Try-On</i>
	3.2	<i>Estimating Cloth Simulation Parameters From a Static Drape Using Neural Networks</i>
2021	4.1	<i>Fashion Transfer: Dressing 3D Characters from Stylized Fashion Sketches</i>
	4.2	<i>CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON</i>
2023	5.1	<i>GIM3D plus: A labeled 3D dataset to design data-driven solutions for dressed humans</i>
	5.2	<i>Human-pose estimation based on weak supervision</i>
	5.3	<i>ImplicitPCA: Implicitly-proxied parametric encoding for collision-aware garment reconstruction</i>

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Os artigos selecionados estão inseridos no campo da moda e da modelagem 3D, abordando uma ampla gama de frentes tecnológicas e metodológicas. Entre os temas trabalhados, destacam-se o uso de redes neurais para otimização de processos, o desenvolvimento de novos bancos de dados específicos para a área e avanços na reconstrução de malhas tridimensionais.

Os modelos digitais resultantes desses estudos abrangem diferentes aplicações, incluindo a geração de malhas detalhadas, digitalização de objetos e corpos, simulação de poses e a funcionalidade de vestir personagens virtuais com alta precisão. Essas contribuições reforçam a diversidade de possibilidades proporcionadas pela modelagem 3D, aplicável tanto no *design* de moda quanto na indústria do entretenimento, como animações e jogos digitais conforme na figura 4.

Figura 4. 1. Malha 2. Digitalização 3. Poses 4. Vestir Personagem



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

No segundo quadro, são feitas as relações dos assuntos gerais dos artigos selecionados. O enfoque foi em:

1. Objetivo, para entender o que cada artigo propunha trabalhar;
2. Palavras-Chaves, para realizar uma relação dos trabalhos em áreas específicas, visando simplificar a compreensão de cada um dos assuntos;
3. Resultados, finalmente aqui foi buscado compreender os resultados de cada um dos trabalhos entendendo os pontos fracos e fortes de cada e tendo a relação de possíveis trabalhos futuros (Quadro 2).

Quadro 2. Informações gerais dos artigos selecionados

1.1	Objetivo	Propor um novo conceito de <i>design</i> de impressão, de peças de vestuário 3D a tecidos 2D.
	Palavras-Chaves	Estampas de vestuário; <i>Design</i> de padrão têxtil; Pintura digital 3D; Projeção de textura.
	Resultados	Um método inovador para <i>design</i> de estampas em roupas foi proposto. O processo de <i>design</i> começa com roupas em 3D e termina com peças de padrão em 2D com estampas alinhadas. Trata-se de um processo reverso ao método tradicional de confecção de roupas.
1.2	Objetivo	O objetivo proposto é uma solução inovadora baseada na digitalização para a modificação e animação de personagens com várias camadas de roupa.
	Palavras-Chaves	Animação do tecido; Digitalização 3D; Personagem vestido.
	Resultados	Os testes do modelo proposto foram realizados em camisas, calças, saias e casacos. As roupas se dobraram de tal maneira que mantiveram a aparência, mas seguindo as leis da física de acordo com o movimento realizado. Além do movimento, vestir o personagem com várias camadas de roupa se tornou um processo muito mais simples através do escaneamento corporal.
2.1	Objetivo	Propor uma nova abordagem para a reconstrução da malha de peças de vestuário 2D para 3D com base em modelos de mistura gaussiana e em splines de placa fina (TPS).
	Palavras-Chaves	Correspondência de formas; Distância geodésica; Processamento de imagens RGBD; Modelo de mistura gaussiana.
	Resultados	O método proposto pode ser utilizado para segmentar as roupas vestidas por uma pessoa e retexturizar com outra peça de roupa semelhante.
3.1	Objetivo	Propor uma nova arquitetura que facilite a combinação de roupas fornecidas pelos retalhistas e visualizá-las no próprio usuário usando o <i>Neural Body Fit</i> .
	Palavras-Chaves	Adaptação neural do corpo; Redes adversariais generativas; Experiência do cliente; Pose; Segmentação.
	Resultados	O modelo <i>Deep Fashion</i> alcançou uma precisão de 80% na base de dados LIP (<i>Look into Person</i>). Os outros métodos de estado da arte encontrados em 2020, são completamente diferentes do apresentado aqui, definindo uma nova referência na completa virtualização customizada de vestimentas carregadas no corpo humano.
3.2	Objetivo	Apresentar uma abordagem de aprendizado de rede neural para estimar um conjunto de parâmetros de simulação de tecido a partir de um drapeado estático de um determinado tecido.
	Palavras-Chaves	Tecidos; Simulação informática; Estimativa de parâmetros; Redes neurais artificiais; <i>Cusicks Drape</i> .
	Resultados	Neste estudo foi apresentada uma abordagem de aprendizado supervisionada, buscando estimular os parâmetros da simulação através de uma modificação da <i>Cusicks Drape</i> .
	Objetivo	Propor uma abordagem para vestir automaticamente personagens virtuais a partir dessa entrada, previamente complementada com anotações do usuário.

4.1	Palavras-Chaves	Metodologias de computação, Gráficos de computador; Modelagem de formas.
	Resultados	É apresentado um método para vestir personagens virtuais de diversas morfologias e poses a partir de um único croqui.
4.2	Objetivo	Propor o CloTH-VTON+ para integrar perfeitamente os métodos de aprendizagem profunda baseados em imagens e a força do modelo 3D na deformação de formas.
	Palavras-Chaves	Moda on-line; Prova virtual; Abordagem híbrida; Reconstrução de roupas em 3D; Modelo de rede generativo.
	Resultados	Primariamente foi desenvolvido uma linha completa de reconstrução de roupa 3D, utilizando uma simples imagem.
5.1	Objetivo	Apresentar o GIM3D plus (Garments In Motion 3D plus), um conjunto de dados sintéticos de personagens humanos 3D vestidos em diferentes poses.
	Palavras-Chaves	Conjunto de dados 3D; Classificação 3D; Segmentação 3D; Humanos vestidos.
	Resultados	O banco de dados do GIM3D plus contém 5000 modelos de malhas de variados sujeitos de diferentes formas e diversas poses, oferecendo uma grande variedade de detalhes de dobras de roupas de diferentes tipos de roupas.
5.2	Objetivo	Propor um método de supervisão fraca de vários estágios que faz uso total dos dados com menos informações rotuladas para aprender a estimar a forma do corpo humano, a pose e a deformação da roupa.
	Palavras-Chaves	Estimativa de pose humana; Estimativa de roupas; Supervisão fraca.
	Resultados	Utilizando o SMPL (<i>human-body model parameters</i>) e o modelo PCA-based de peças de roupa que permitiu ao método representar qualquer corpo humano, pose e roupas comuns bastante gerais.
5.3	Objetivo	Apresentar o <i>ImplicitPCA</i> , uma estrutura para reconstrução de vestuário de alta fidelidade em uma única visualização que une os pontos positivos das representações explícitas e implícitas.
	Palavras-Chaves	Reconstrução de vestuário; Representação implícita e explícita; Reconhecimento de colisão; Geração parametrizada; Otimização.
	Resultados	Integrando métodos baseados na parametrização do modelo e incorporando a consciência da colisão, o modelo alcançou o estado da arte em termos de desempenho, proporcionando reconstruções realistas e de alta fidelidade das roupas.

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Após a análise dos 10 artigos selecionados na RSL, os projetos também estimularam reflexões sobre a interação entre o mundo físico e o mundo semântico, aprofundando a compreensão e categorização dos trabalhos examinados. Esse processo permitiu uma visão mais estruturada sobre as diferentes abordagens utilizadas e suas implicações dentro

do contexto estudado.

Para organizar os projetos, foram definidos critérios de qualidade com base em duas macro áreas principais: a que traduz o físico para o virtual e a que compara o virtual com o físico. Essas categorias serviram para estruturar a análise e contextualizar cada projeto dentro de sua área de aplicação. Com isso, foram estabelecidos os seguintes critérios:

1. O projeto teve foco apenas no semântico?

- 1.1 Caso sim, possui planos de aplicar o processo no mundo real?

2. O projeto teve enfoque em projeção?

3. O projeto teve enfoque em simulação?

Os três critérios analisam diferentes enfoques dos projetos, cada um com perguntas específicas para orientar a avaliação. O primeiro critério verifica se o foco foi exclusivamente semântico, avaliando se houve planos para aplicação no mundo real. O segundo examina se o projeto priorizou a projeção, antecipando resultados ou representações futuras com precisão. O terceiro critério analisa se houve ênfase na simulação, reproduzindo virtualmente condições reais para validar hipóteses ou modelar processos. Essas perguntas permitem uma análise abrangente, identificando o campo de aplicação e as intenções práticas de cada trabalho.

Além disso, a combinação desses critérios possibilita uma visão mais estruturada do impacto dos projetos, diferenciando abordagens conceituais daquelas voltadas para aplicações diretas. Dessa forma, torna-se viável mapear tendências e lacunas na pesquisa, contribuindo para futuras investigações na área.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo aplicado para organizar os dados adquiridos foi o Diagrama de Venn, estruturado em três áreas principais com base nos trabalhos analisados: Simulação, Projeção e Usuário. A partir dessas áreas, foram estabelecidas interseções que representam diferentes abordagens e contribuições dos projetos:

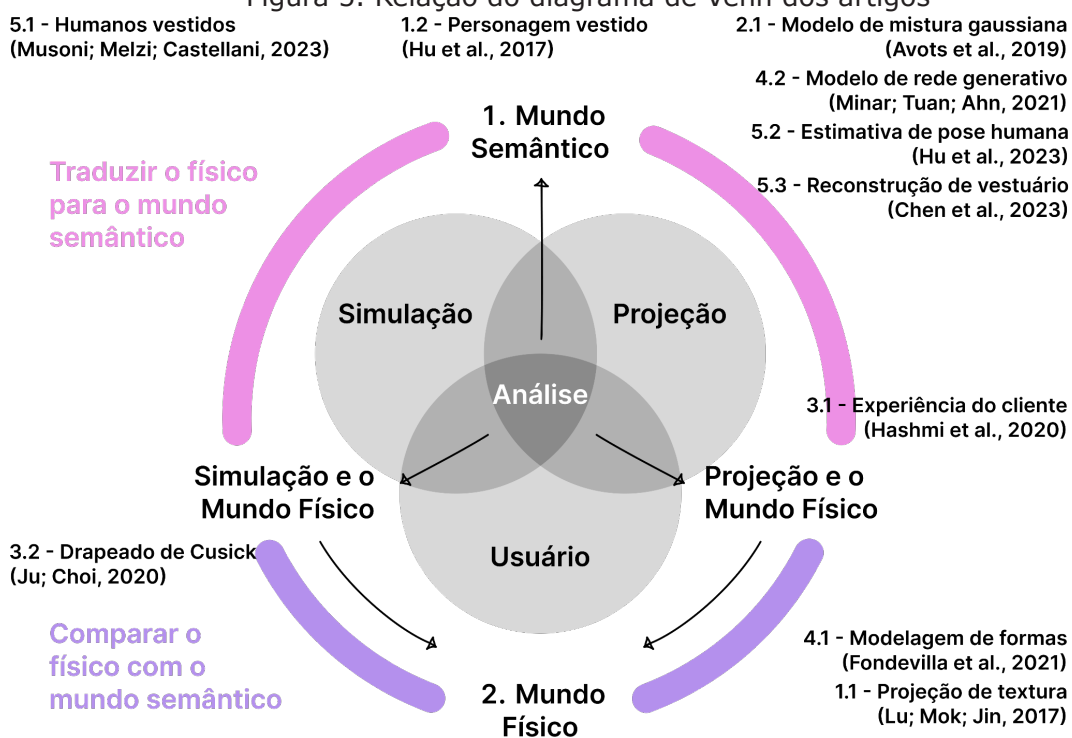
Simulação e Projeção: Esta interseção, denominada Mundo Semântico, inclui trabalhos que exploram novas tecnologias digitais, mas com pouca aplicação prática no mundo real. Esses projetos priorizam a inovação tecnológica, focando mais na representação simbólica e teórica.

Simulação e Usuário: Nesta interseção, chamada Simulação e o Mundo Físico, estão os trabalhos que desenvolveram ferramentas virtuais para o estudo de poses, animações e vestir personagens. Esses projetos têm uma forte conexão com a aplicação prática no contexto físico.

Projeção e Usuário: O terceiro quadrante, denominado Projeção e o Mundo Físico, agrupa trabalhos relacionados ao desenvolvimento de ferramentas para geração de malhas, novas formas de manipular malhas e a interpretação de múltiplos tipos de tecidos. Essa área está intimamente ligada à anterior, compartilhando o objetivo de criar soluções práticas e inovadoras.

A divisão inicial em três categorias resultou em um problema: enquanto alguns quadrantes continham um número excessivo de artigos, outros tinham poucos estudos disponíveis para análise. Diante dessa dificuldade, foi proposta uma reorganização em duas macroáreas mais abrangentes: o Físico e o Virtual, conforme a figura 5.

Figura 5. Relação do diagrama de Venn dos artigos



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Para compreender melhor as diferenças entre esses dois domínios, Lévy e Neves (2003) exploram a distinção entre real e virtual em seu livro *O que é o Virtual?*. Segundo Lévy, o virtual está intrinsecamente presente na realidade, associado à humanização e à capacidade de captar e transmitir informações entre as pessoas. Dessa forma, o virtual não se opõe ao real, mas funciona como uma extensão do atual, mantendo com ele uma relação de interdependência (Lévy; Neves, 2003).

Nesse contexto, os conceitos de mundo físico e mundo semântico são apresentados para auxiliar na compreensão. O mundo físico refere-se à existência concreta das coisas, que independem de significados atribuídos a elas. Por outro lado, o mundo semântico abrange o significado e a interpretação dessas coisas, destacando o papel do entendimento humano na atribuição de sentido ao que existe.

No contexto deste estudo, essa relação é essencial. O mundo físico corresponde às peças de roupa que serão

modeladas e produzidas, representando a materialidade e a existência concreta dos objetos. Por outro lado, o mundo semântico está associado às ferramentas digitais utilizadas no processo de modelagem, que conferem significado e funcionalidade às ações realizadas. Essa interação conecta ideias virtuais ao resultado tangível no mundo físico, exemplificando a interdependência entre o virtual e o atual, conforme discutido por Lévy e Neves (2003).

Durante a análise, observou-se que a maioria dos artigos se concentra em traduzir o mundo físico para o semântico, utilizando ferramentas digitais para representar e interpretar objetos concretos no ambiente virtual. Por outro lado, alguns artigos exploram o movimento inverso, trazendo os resultados do mundo semântico para o físico, materializando modelos digitais em objetos tangíveis. Essa dualidade reforça a interdependência entre os dois mundos, destacando a relevância de ambos no processo de modelagem e produção. Com base nessa distinção, os artigos foram agrupados em dois grandes temas para análise aprofundada:

1. Mundo Semântico;
2. Mundo Físico.

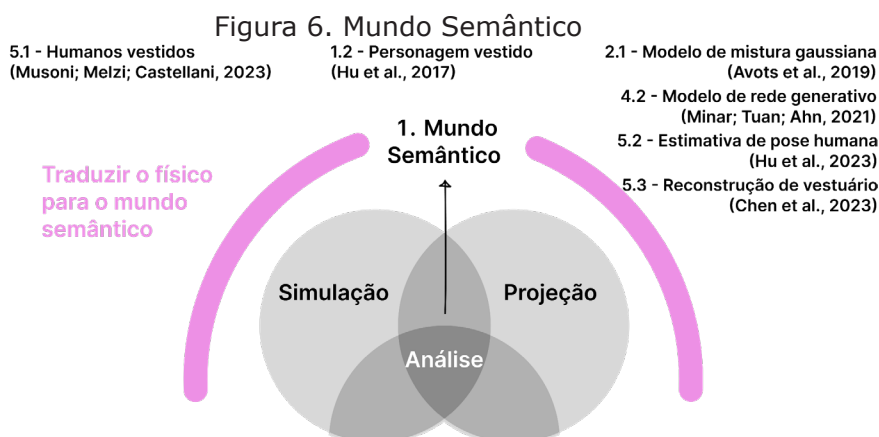
3.1 MUNDO SEMÂNTICO

Inicialmente, foi considerada a interseção entre Projeção e Simulação, com foco em artigos que exploram essas áreas no desenvolvimento de novas técnicas ou bancos de dados voltados para a modelagem de roupas virtuais. Essa abordagem busca identificar contribuições relevantes que ampliem as possibilidades na criação de roupas virtuais.

Dos 10 artigos selecionados, 6 se enquadram no Mundo Semântico, indicando uma forte ênfase no desenvolvimento tecnológico e conceitual. No entanto, houve particularidades entre eles, demonstrando diferentes níveis de profundidade e aplicação prática. Além disso, 3 artigos se posicionaram na interseção entre os cenários Físico e Semântico, com contribuições mais equilibradas entre inovação teórica e

viabilidade prática. Esses artigos serão discutidos em maior detalhe no próximo item, que explora o conceito de Mundo Semântico.

A análise desses artigos evidencia a diversidade de abordagens na modelagem de roupas virtuais, desde estudos puramente conceituais até propostas mais aplicadas. Esse mapeamento permite compreender como diferentes pesquisas contribuem para a evolução da área, seja aprimorando técnicas existentes ou introduzindo novas metodologias que possam ser adotadas em simulações mais realistas e eficientes, conforme a figura 6.



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

3.1.1 Simulação e Projeção

No Mundo Semântico, a Simulação e a Projeção se apresentam como áreas fundamentais para a reprodução e antecipação de objetos físicos em ambientes digitais. A Simulação busca replicar com fidelidade a física e o comportamento de elementos do mundo real, enquanto a Projeção tem como foco principal a criação de modelos 3D, enquanto a Simulação atua em segundo plano, aprimorando a malha do objeto para garantir maior precisão e realismo.

Essa macroárea se destacou como a mais explorada nos estudos analisados, refletindo a crescente importância

do desenvolvimento de técnicas para a modelagem e a visualização de objetos físicos em espaços virtuais. O grande volume de trabalhos nesse campo demonstra o avanço contínuo das tecnologias de simulação e projeção, ampliando as possibilidades para aplicações em diferentes setores, como a moda digital, a engenharia e o *design* de produtos.

A combinação de escaneamento corporal e algoritmos de animação demonstra como o virtual pode se aproximar do real, preservando detalhes importantes das camadas de vestuário. Além disso, essa abordagem reforça a ideia de que o mundo virtual não é um espaço independente, mas uma extensão do mundo físico, onde dados concretos são convertidos em representações computacionais interativas. Essa interseção entre os dois mundos possibilita avanços em diversas áreas, desde *design* de moda digital até simulações para a indústria do entretenimento (Hu et al., 2017).

O estudo propõe um método inovador baseado em escaneamento para modelar e animar personagens vestidos com múltiplas camadas de roupas. O processo inclui a captura do corpo nu com uma câmera RGBD, seguido da adição progressiva de camadas de vestuário. Os testes mostraram que a abordagem é eficaz para criar personagens animados em camadas, com exemplos envolvendo camisas, casacos e saias. Além disso, a técnica se mostrou útil para aplicações em jogos e filmes, simplificando significativamente a preparação de modelos vestidos, conforme a figura 7 (Hu et al., 2017).

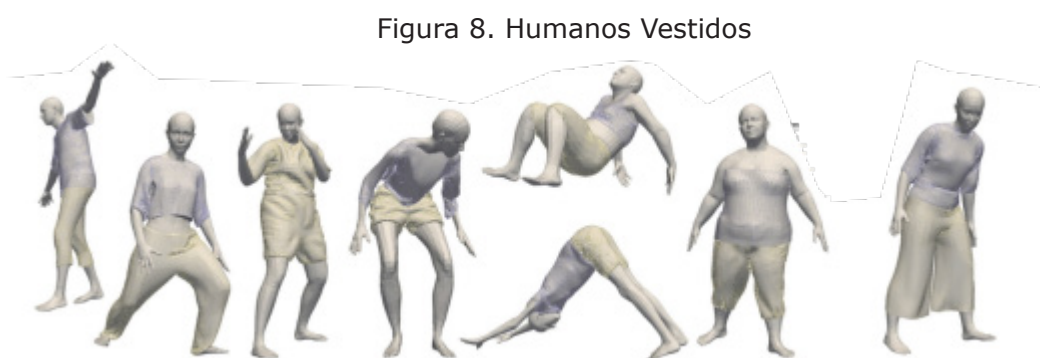
Figura 7. Personagem vestido



Fonte: Hu et al (2017).

Os autores destacam algumas limitações do método atual e sugerem direções para futuras pesquisas. Um dos desafios é a necessidade de ajustes manuais na segmentação das roupas, que poderia ser automatizada para melhorar a eficiência do processo. Além disso, os parâmetros físicos das roupas, como elasticidade e rigidez, são definidos manualmente, e um método automático para estimá-los a partir dos escaneamentos seria valioso, especialmente para a indústria têxtil. Outra linha de pesquisa sugerida envolve a simulação do processo de vestir, permitindo estudos mais detalhados sobre como diferentes camadas interagem dinamicamente (Hu et al., 2017).

O *GIM3D plus* exemplifica como o Mundo Semântico e o Mundo Virtual se conectam no contexto da modelagem e animação de roupas. No Mundo Semântico, a categorização de dados e a segmentação de elementos em malhas 3D permitem a extração de informações relevantes sobre a relação entre o corpo e o vestuário. Já no Mundo Virtual, esses dados estruturados são aplicados para criar simulações realistas, possibilitando a interação entre modelos humanos digitais e suas roupas. O avanço de *datasets* como o *GIM3D plus* reforça a importância de dados sintéticos de alta qualidade na construção de soluções baseadas em aprendizado de máquina para a moda digital e animação computacional (Musoni; Melzi; Castellani, 2023).



Fonte: Musoni; Melzi; Castellani (2023)

O conjunto de dados sintéticos são rotulados para segmentação e classificação de roupas em personagens 3D vestidos. O *dataset* contém mais de 5000 modelos 3D gerados por simulação física de roupas em diferentes tamanhos, tecidos e poses. Os experimentos realizados demonstraram que redes neurais, como *PointNet*, *PointNet++* e *DiffusionNet*, conseguem segmentar e classificar as roupas de forma eficaz quando treinadas com o *GIM3D plus*. Além disso, o *dataset* foi testado em digitalizações reais de corpos vestidos e mostrou resultados promissores na generalização para dados do mundo real (Musoni; Melzi; Castellani, 2023).

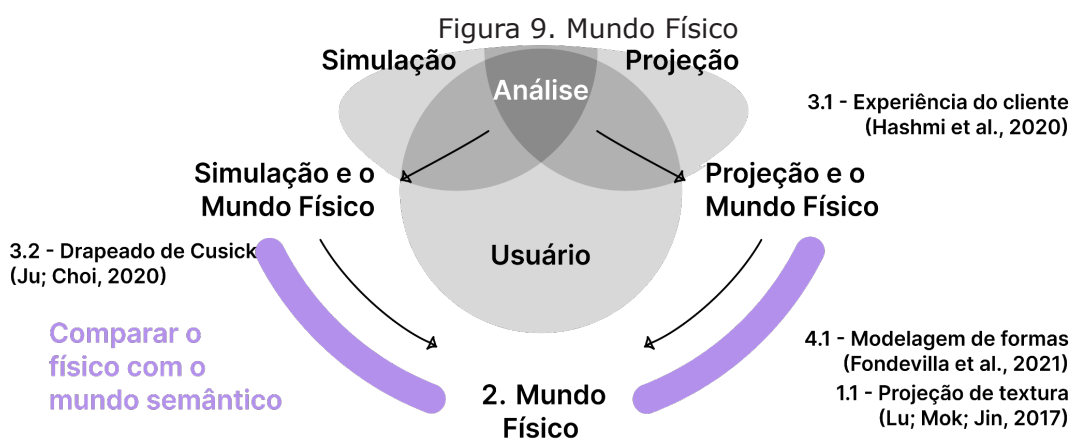
Os autores identificam algumas direções para expandir o trabalho. Uma das principais limitações do *dataset* é a falta de correspondência ponto a ponto entre os modelos, o que poderia ser aprimorado com a adoção de um *template* unificado, como o modelo paramétrico SMPL. Isso possibilitaria o uso de métodos baseados em aprendizado profundo para solucionar desafios de correspondência entre malhas vestidas. Além disso, os pesquisadores sugerem aumentar o número de poses e variações dentro do *dataset*, permitindo um treinamento mais robusto para aplicações em animação, realidade virtual e *design* de moda digital (Musoni; Melzi; Castellani, 2023).

3.2 MUNDO FÍSICO

Durante a seleção dos artigos, foram agrupados neste tópico aqueles que buscaram aplicar suas ferramentas diretamente no mundo físico. Embora em menor quantidade, esses estudos se destacam por sua conexão prática com cenários materiais e aplicações reais no mundo físico, proporcionando uma contribuição significativa para o campo, conforme ilustrado na Figura 9.

Entre os artigos analisados, alguns apresentaram casos específicos de destaque. Dois deles, identificados como Hashmi et al. (2020) e Fondevilla et al. (2021), exploram a interseção entre projeção e usuário, demonstrando aplicações práticas de suas tecnologias no mundo físico, na figura 9 é

possível ver os detalhes do mundo físico.



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Além disso, outro artigo, identificado como Lu; Mok; Jin (2017), situa-se na interseção entre os universos do mundo semântico e do mundo físico, mostrando uma integração relevante entre os dois contextos. Devido à sua importância e particularidades, esse trabalho é detalhado no item 3.2.1.

3.2.1 Usuário e Projeção

Neste contexto, a Projeção, conforme mencionado anteriormente, refere-se à capacidade de gerar malhas mais fisicamente precisas, garantindo maior realismo e exatidão na modelagem digital. O usuário desempenha um papel central como beneficiário direto desse avanço, seja ao utilizar moldes gerados digitalmente para a produção física de peças com maior fidelidade, seja ao explorar simulações de estampas para otimizar o *design* final. Esses processos não apenas aprimoram a confecção de vestuário real, mas também ampliam as possibilidades criativas e produtivas dentro da indústria da moda.

Essa abordagem reforça a interconexão entre o Mundo Semântico e o Mundo Físico ao transformar a interpretação subjetiva de um esboço de moda em um modelo tridimensional

tangível. No Mundo Semântico, a extração de informações estilísticas dos desenhos permite capturar a intenção criativa do *designer* e traduzi-la para um ambiente computacional, conforme a figura 10.

Figura 10. Modelagem de Formas



Fonte: Fondevilla et al. (2021)

No Mundo Virtual, essa tradução resulta em modelos 3D interativos que podem ser manipulados, simulados e refinados, facilitando não apenas a visualização, mas também a materialização dessas criações no mundo físico. Dessa forma, a digitalização da moda não se limita à simulação do real, mas atua como um catalisador para inovação, combinando criatividade e tecnologia para expandir as fronteiras do *design* de vestuário.

Trazendo a realidade de *Fashion Designers*, muitos trabalham com sketches devido a sua praticidade. No entanto, esses desenhos frequentemente carecem de precisão anatômica e proporções adequadas. Para contornar essa limitação, é possível utilizar *sketches* de *design* que incorporam o estilo das roupas. Essa abordagem permite visualizar os resultados gerados por um algoritmo de *sketching*, que analisa a forma como o desenho é executado, levando em consideração as dobras naturais do tecido (Fondevilla et al., 2021).

Para gerar os modelos 3D, foi definido o conceito de estilo em parâmetros mensuráveis. Três parâmetros principais foram utilizados extraídos pelos autores de Brouet et al.,

(2012):

1. Escala (ou proporção), expressado pela localização relativa da roupa;
2. Ajuste, expressado pela preservação das regiões de ajuste onde a roupa deve caber no corpo
3. Forma, expressa usando "*normals*" em áreas soltas ou sobra de tecido. *Normals* se refere na modelagem 3D ao "lado" interno e externo do modelo
4. Dobras foi o quarto parâmetro idealizado pelos autores do artigo visando expressar as formas e frequências das rugas ao longo da bainha. Utilizando esses parâmetros, o modelo da figura 10 foi gerado utilizando os *sketches* (Fondevilla et al., 2021).

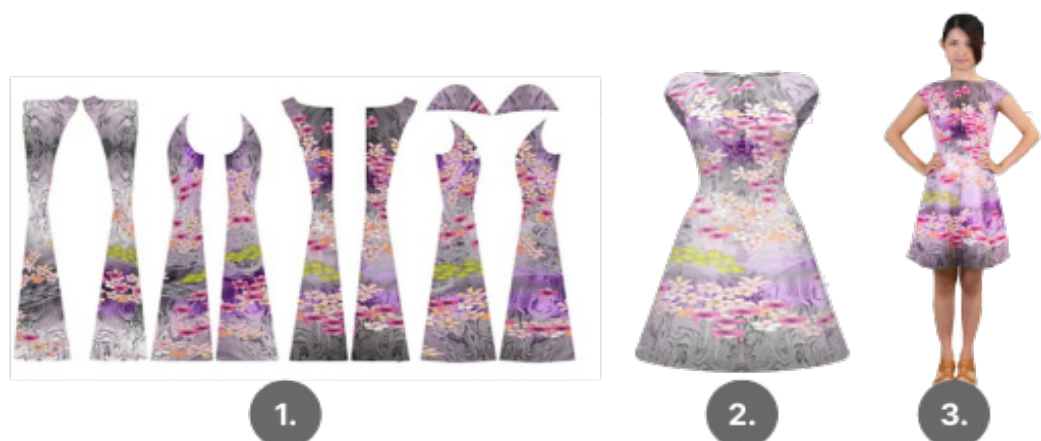
Os autores sugerem várias direções para aprimorar a pesquisa. Uma das principais limitações do método atual é a falta de integração com simulações físicas detalhadas, o que poderia melhorar a realismo das roupas geradas. Além disso, a abordagem depende de anotações manuais nos esboços para interpretar corretamente as dobras e silhuetas, um processo que poderia ser automatizado com técnicas de visão computacional e aprendizado profundo. Outras melhorias incluem o suporte para modelagens mais complexas, como roupas com múltiplas camadas e tecidos com propriedades físicas variadas, tornando o sistema mais aplicável à indústria da moda e animação (Fondevilla et al., 2021).

No Mundo Semântico, a modelagem de estampas diretamente sobre roupas 3D permite que *designers* experimentem e ajustem padrões com base na forma e no caimento da peça, garantindo uma interação mais intuitiva com o processo criativo. Já no Mundo Físico, essa abordagem possibilita a manipulação e visualização das estampas de maneira interativa antes da produção física, conectando o *design* digital à fabricação real. Esse avanço reforça o papel das tecnologias computacionais na moda, transformando a criação têxtil em um processo dinâmico, flexível e personalizado (Lu; Mok; Jin, 2017).

O estudo apresenta um novo conceito de *design* para

estampas têxteis, invertendo o processo tradicional ao permitir que padrões sejam criados diretamente sobre roupas 3D antes de serem convertidos em peças 2D prontas para impressão digital e produção. Utilizando técnicas avançadas de parametrização de superfícies, simulação de tecidos e projeção de texturas, o método garante continuidade perfeita das estampas ao longo das costuras, eliminando a necessidade de ajustes manuais tediosos. Os testes demonstraram que a abordagem facilita a personalização de vestuários e melhora a eficiência na produção de roupas com estampas personalizadas., conforme ilustrado na figura 11 (Lu; Mok; Jin, 2017).=

Figura 11. Projeção de Textura



Fonte: Lu; Mok; Jin (2017)

O método proposto inicia com a segmentação da peça de roupa em partes individuais, conforme ilustrado na Figura 11. Em seguida, essas partes são unidas por meio da costura, garantindo que o padrão do tecido seja preservado e mantenha continuidade ao longo das junções (Lu; Mok; Jin, 2017).

A principal dificuldade identificada nos artigos analisados reside na previsão precisa do caimento do tecido, um aspecto essencial para garantir a fidelidade entre os modelos virtuais e as peças físicas. Essa limitação evidencia a complexidade da

transição entre o Mundo Semântico e o Mundo Físico, onde a representação digital muitas vezes não captura integralmente as propriedades físicas dos materiais. Superar essa barreira exige avanços em modelagem computacional, inteligência artificial e simulação de tecidos.

Essa lacuna abre caminho para novas pesquisas voltadas à melhoria da precisão na conversão de dados digitais em resultados tangíveis. Trabalhos futuros podem explorar o aprimoramento de algoritmos de simulação, o uso de aprendizado de máquina para prever deformações têxteis com maior exatidão e o desenvolvimento de bases de dados enriquecidas com informações físicas detalhadas dos tecidos. Esses avanços podem consolidar ainda mais a integração entre os domínios virtual e físico na indústria da moda digital.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Revisão Sistemática da Literatura na plataforma ScienceDirect identificou 10 artigos relevantes sobre moda e tecnologia, destacando tendências emergentes e lacunas na modelagem digital e simulação têxtil.

Inicialmente, os resultados da RSL foram organizados por meio de um diagrama de Venn, que separou os artigos em três categorias principais: Simulação, Projeção e Usuário. Essa abordagem foi funcional para identificar os enfoques predominantes, com 7 artigos concentrados na Projeção, 2 na Simulação e 3 no Usuário. No entanto, surgiu uma questão importante: alguns projetos extrapolavam os limites do virtual, buscando também aplicações no mundo físico. Essa lacuna indicava a necessidade de uma categorização mais abrangente que pudesse capturar a complexidade desses trabalhos.

Para resolver essa limitação, foi adotada uma nova perspectiva com base nos conceitos de “virtual” e “atual” descritos por Lévy (2003). Essa abordagem resultou na criação de dois campos: Mundo Semântico, associado ao ambiente virtual, e Mundo Físico, relacionado às aplicações

práticas no atual. Essa nova categorização permitiu não apenas identificar se os artigos priorizavam Simulação ou Projeção, mas também determinar se suas contribuições estavam restritas ao universo digital ou se se estendiam ao contexto físico, proporcionando uma análise mais precisa e detalhada.

Analisando os artigos categorizados um dos desafios particularmente notável identificado foi a previsão precisa do caimento do tecido, destacando-se como uma área de oportunidade para inovação. Esta lacuna representa um potencial significativo para revolucionar a indústria da moda, especialmente no que tange à criação de protótipos virtuais mais realistas e à otimização de processos de *design*.

A intersecção entre usuário e simulação, conforme mapeada neste estudo, não apenas oferece oportunidades para projetos inovadores, mas também aponta para uma transformação fundamental na forma como a indústria aborda o *design*, a produção de peças fisicamente mais realistas. A dificuldade em simular com precisão o comportamento de tecidos no corpo humano emerge como um dos principais desafios a serem superados, prometendo impactos substanciais em toda a cadeia de valor da moda.

As tendências e oportunidades identificadas nesta pesquisa fornecem um roteiro valioso para *designers*, empresas e profissionais da moda. Ao explorar essas áreas, o setor pode se preparar de forma mais eficaz para um futuro onde a tecnologia desempenha um papel central na criação de produtos mais personalizados, na otimização de processos produtivos e no desenvolvimento de experiências de consumo mais imersivas e sustentáveis.

Em suma, este estudo explora a interação entre moda e tecnologia, destacando oportunidades de inovação, especialmente em simulação de tecidos e movimento de avatares, com potencial para transformar a indústria da moda e ampliar sua eficiência e criatividade.

REFERÊNCIAS

- AVOTS, Egils *et al.* From 2D to 3D geodesic-based garment matching. **Multimedia Tools and Applications**, [s. l.], v. 78, n. 18, p. 25829–25853, 2019. Acesso em: 6 dez. 2019.
- BROUET, Remi *et al.* Design Preserving Garment Transfer. **ACM Transactions on Graphics**, [s. l.], v. 31, n. 4, p. 1–11, 2012. Disponível em: Acesso em: 16 jun. 2021.
- CHEN, Lan *et al.* ImplicitPCA: Implicitly-proxied parametric encoding for collision-aware garment reconstruction. **Graphical Models**, [s. l.], v. 129, p. 101195, 2023.
- CLAES WOHLIN *et al.* **Experimentation in Software Engineering**. Berlin: Springer, 2012-.
- COSTA, Thays Neves. Automatização do traçado dos moldes básicos femininos por meio de software de modelagem paramétrica. **Ufrgs. br**, [s. l.], 2016.
- FONDEVILLA, Amelie *et al.* Fashion Transfer: Dressing 3D Characters from Stylized Fashion Sketches. **Computer Graphics Forum**, [s. l.], v. 40, n. 6, p. 466–483, 2021.
- HASHMI, Mohammad Farukh *et al.* FashionFit: Analysis of Mapping 3D Pose and Neural Body Fit for Custom Virtual Try-On. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 91603–91615, 2020.
- HU, Xiaoyan *et al.* Human-pose estimation based on weak supervision. **Virtual Reality & Intelligent Hardware**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 366–377, 2023.
- HU, Pengpeng *et al.* Scanning and animating characters dressed in multiple-layer garments. **The visual computer/The visual computer**, [s. l.], v. 33, n. 6-8, p. 961–969, 2017. Acesso em: 20 jul. 2024.
- JU, Eunjung; CHOI, Myung Geol. Estimating Cloth Simulation Parameters From a Static Drape Using Neural Networks. **IEEE Access**, [s. l.], v. 8, p. 195113–195121, 2020. Acesso em: 19 jun. 2021.
- LI, Guangsong. Virtual Garment Piece Design and Stitching Algorithm Based on Virtual Simulation Technology. **Security and Communication Networks**, [s. l.], v. 2022, p. 1–9, 2022. Acesso em: 20 abr. 2022.
- LU, Shufang; MOK, P.Y.; JIN, Xiaogang. A new design concept: 3D to 2D textile pattern design for garments. **Computer-Aided Design**, [s. l.], v. 89, p. 35–49, 2017. Acesso em: 27 ago. 2019.

MENDELEY - REFERENCE MANAGEMENT SOFTWARE & RESEARCHER NETWORK. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.mendeley.com>.

MINAR, Matiur Rahman; TUAN, Thai Thanh; AHN, Heejune. CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON. **IEEE Access**, [s. l.], v. 9, p. 30960–30978, 2021.

PAGE, Matthew J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 31, n. 2, 2022. Acesso em: 25 jul. 2022.

PIETRO MUSONI; MELZI, Simone; CASTELLANI, Umberto. GIM3D plus: A labeled 3D dataset to design data-driven solutions for dressed humans. **Graphical models**, [s. l.], v. 129, p. 101187–101187, 2023. Acesso em: 15 maio 2024.

APÊNDICE

	Nome dos Artigos	Revista	Autores e Ano
1.1	<i>A new design concept: 3D to 2D textile pattern design for garments</i>	<i>Computer-Aided Design</i>	(Lu; Mok; Jin, 2017)
1.2	<i>Scanning and animating characters dressed in multiple-layer garments</i>	<i>The visual computer/ The visual computer</i>	(Hu et al., 2017)
2.1	<i>From 2D to 3D geodesic-based garment matching</i>	<i>Multimedia Tools and Applications</i>	(Avots et al., 2019)
3.1	<i>FashionFit: Analysis of Mapping 3D Pose and Neural Body Fit for Custom Virtual Try-On</i>	<i>IEEE Access</i>	(Hashmi et al., 2020)
3.2	<i>Estimating Cloth Simulation Parameters From a Static Drape Using Neural Networks</i>	<i>IEEE Access</i>	(Ju; Choi, 2020)
4.1	<i>Fashion Transfer: Dressing 3D Characters from Stylized Fashion Sketches</i>	<i>Computer Graphics Forum</i>	(Fondevilla et al., 2021)
4.2	<i>CloTH-VTON+: Clothing Three-Dimensional Reconstruction for Hybrid Image-Based Virtual Try-ON</i>	<i>IEEE Access</i>	(Minar; Tuan; Ahn, 2021)
5.1	<i>GIM3D plus: A labeled 3D dataset to design data-driven solutions for dressed humans</i>	<i>Graphical models</i>	(Musoni; Melzi; Castellani, 2023)
5.2	<i>Human-pose estimation based on weak supervision</i>	<i>Virtual Reality & Intelligent Hardware</i>	(Hu et al., 2023)
5.3	<i>ImplicitPCA: Implicitly-proxied parametric encoding for collision-aware garment reconstruction</i>	<i>Graphical Models</i>	(Chen et al., 2023)