



Universidade Federal do ABC  
Centro de Matemática, Computação & Cognição  
Bacharelado em Ciência da Computação

# **Data warehouse para provador virtual de roupas e aplicações na indústria 4.0**

**Gustavo Diogo Silva**

**Santo André - SP, Abril de 2026**

Gustavo Diogo Silva

# **Data warehouse para provador virtual de roupas e aplicações na indústria 4.0**

**Projeto de Graduação em Computação**  
apresentado como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Universidade Federal do ABC – UFABC  
Centro de Matemática, Computação & Cognição  
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Dr. Mario Alexandre Gazziro

Santo André - SP

Abril de 2026

*Dedico a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, meu sinceros agradecimentos. Cada um teve um papel importante nesta conquista. .*

# Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Jesus Cristo, por toda a providência e cuidado que sempre esteve presente em minha vida, guiando-me e sustentando-me em cada etapa dessa jornada.

À minha querida esposa, Laura Franco Fernandes, pelo amor, paciência e suporte incondicional. Sua compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse me dedicar a este trabalho, e sou profundamente grato por ter ao meu lado uma pessoa tão maravilhosa e dedicada.

Aos meus sogros, Marcelo Olenski Fernandes e Edinalva Souza Franco Fernandes, que não só me acolheram como parte de sua família, mas também estiveram ao meu lado nos momentos mais desafiadores, oferecendo apoio e carinho. Sinto-me abençoado por fazer parte dessa família que me proporcionou tanto.

Ao professor e orientador Mario Gazziro, pela orientação, paciência e pelo conhecimento transmitido ao longo desse percurso. Sua dedicação e ensinamentos foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, e sou grato pela oportunidade de aprender com alguém de tamanha competência e generosidade.

Ao Laboratório de Hardware e Software, o LAOB, coordenado pelo professor Mario Gazziro, pela infraestrutura e suporte disponibilizados. O LAOB, especializado em redes, hardware reconfigurável, segurança, computação gráfica, realidade virtual e sistemas embarcados, foi essencial para a realização deste projeto. Como parte dos laboratórios de pesquisa do curso de Engenharia da Informação da Universidade Federal do ABC, o LAOB proporcionou um ambiente enriquecedor para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos voluntários que participaram dos testes e escaneamentos, contribuindo com seu tempo e colaboração para o avanço deste trabalho, expresso minha sincera gratidão. Sua disposição foi fundamental para alcançar os resultados apresentados.

*"Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens"*  
*(Colossenses 3:23)*

# Resumo

Este trabalho aborda a aplicação de conceitos da Indústria 4.0 no desenvolvimento de um sistema de provador virtual de roupas, com foco na criação de um data warehouse para organizar e processar dados. A solução é baseada na aquisição de avatares 3D personalizados de usuários, obtidos por meio de técnicas de digitalização, que permitem a reprodução fidedigna das características corporais dos usuários. Esses avatares são utilizados para realizar o batimento com modelos pré-digitalizados de roupas, oriundos de sistemas de manufatura digitalizados da Indústria 4.0.

O sistema proposto integra os dados dos avatares e das roupas, realizando a simulação de ajustes e caimentos com alta precisão. Essa renderização aprimora detalhes de tecido, iluminação e efeitos físicos, proporcionando ao usuário uma visualização precisa do ajuste das roupas antes da compra.

O data warehouse desempenha um papel crucial ao consolidar os dados dos avatares e roupas, além de servir como base para a inteligência artificial que personaliza as simulações e ajustes. A implementação do provador virtual exemplifica o potencial da Indústria 4.0 ao conectar processos de manufatura digital com soluções voltadas ao consumidor, utilizando tecnologias emergentes como IA generativa e simulação de avatares 3D. O trabalho discute os desafios e soluções tecnológicas envolvidas, assim como os impactos potenciais dessa abordagem no setor de moda e e-commerce.

**Palavras-chaves:** Indústria 4.0, Data warehouse, Provador virtual, Avatares 3D, Roupas digitalizadas, Simulação foto-realista, IA generativa, Manufatura digital, E-commerce, Processamento de dados.

# Abstract

This paper explores the application of Industry 4.0 concepts in the development of a virtual fitting room system, focusing on the creation of a data warehouse to organize and process data. The solution is based on the acquisition of personalized 3D avatars of users, obtained through digitization techniques, enabling the accurate reproduction of users' body characteristics. These avatars are used to match with pre-digitized clothing models, sourced from digital manufacturing systems of Industry 4.0.

The proposed system integrates avatar and clothing data, simulating accurate fittings and adjustments. This rendering enhances fabric details, lighting, and physical effects, providing users with a precise visualization of how the clothes fit before purchase.

The data warehouse plays a crucial role by consolidating avatar and clothing data, serving as the foundation for the AI that personalizes the simulations and fittings. The virtual fitting room implementation exemplifies the potential of Industry 4.0 by connecting digital manufacturing processes with consumer-oriented solutions, utilizing emerging technologies such as generative AI and 3D avatar simulation. The paper discusses the technological challenges and solutions involved, as well as the potential impacts of this approach in the fashion and e-commerce sectors.

**Keywords:** Industry 4.0, Data warehouse, Virtual fitting room, 3D avatars, Digitized clothing, Photorealistic simulation, Generative AI, Digital manufacturing, E-commerce, Data processing

# Lista de ilustrações

Figura 1 – As quatro revoluções industriais . . . . .	5
Figura 2 – Fotogrametria . . . . .	8
Figura 3 – Processo de obtenção de malha 3D . . . . .	10
Figura 4 – Sensor Orbbec Astra Stereo S U3 . . . . .	18
Figura 5 – Sensor Orbbec Astra Mini S . . . . .	19
Figura 6 – Plataforma giratória . . . . .	20
Figura 7 – Estrutura composta . . . . .	21
Figura 8 – Diagrama AWS . . . . .	24
Figura 9 – Voluntário consentido escaneado no laboratório . . . . .	26

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>1</b>
1.2.1	Objetivo Geral	1
1.2.2	Objetivos Específicos	2
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Data Warehouse</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Internet das Coisas (IoT)</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Indústria 4.0/Quarta Revolução Industrial</b>	<b>4</b>
<b>2.4</b>	<b>Gêmeos digitais (Digital Twin)</b>	<b>5</b>
<b>2.5</b>	<b>Avatares</b>	<b>6</b>
<b>2.6</b>	<b>Fotogrametria</b>	<b>7</b>
<b>2.7</b>	<b>Nuvem de pontos</b>	<b>9</b>
<b>2.8</b>	<b>Malha</b>	<b>10</b>
<b>2.9</b>	<b>Computação em nuvem</b>	<b>11</b>
2.9.1	Armazenamento: AWS S3	11
2.9.2	Processamento e Categorização: AWS Lambda	12
2.9.3	Integração e Gerenciamento de Dados	13
2.9.4	Benefícios	13
2.9.5	Aplicação	13
2.9.6	Considerações	14
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Levantamento de Requisitos e Planejamento</b>	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Coleta e Digitalização de Dados</b>	<b>17</b>
4.2.1	Componentes	18
4.2.1.1	Sensores	18
4.2.1.1.1	Orbbec Astra Stereo S U3	18
4.2.1.1.2	Orbbec Astra Mini S	19
4.2.1.2	Plataforma giratória	19
4.2.1.3	Estrutura composta	20
4.2.1.4	Renderização e visualização	21
<b>4.3</b>	<b>Pós-processamento e Integração com a Nuvem</b>	<b>21</b>

4.3.1	Envio para o Amazon S3 . . . . .	22
4.3.2	Processamento com AWS Lambda . . . . .	22
4.3.3	Armazenamento Estruturado com Amazon RDS . . . . .	23
4.3.4	Arquitetura final . . . . .	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>5.1</b>	<b>Escaneamento . . . . .</b>	<b>26</b>
5.1.1	Discussões sobre o Desempenho do Sistema . . . . .	27
5.1.1.1	Qualidade da Captura . . . . .	27
5.1.1.2	Viabilidade para Integração . . . . .	27
5.1.2	Aplicações no Provedor Virtual . . . . .	28
5.1.3	Conclusão do Escaneamento . . . . .	28
<b>5.2</b>	<b>Implementação . . . . .</b>	<b>28</b>
5.2.1	Biblioteca Desenvolvida: ply-js . . . . .	28
5.2.2	Pipeline de processamento automatizado em nuvem . . . . .	29
5.2.3	Métricas . . . . .	31
5.2.3.1	Performance com Modelo Real . . . . .	31
5.2.3.2	Resultados de Desempenho . . . . .	31
5.2.3.3	Análise Estatística . . . . .	32
5.2.3.4	Classificação de Complexidade de Modelos . . . . .	32
5.2.3.5	Análise de Densidade de Vértices . . . . .	32
<b>5.3</b>	<b>Resultado final do Pipeline de Processamento . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>6.1</b>	<b>Contribuições . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>6.2</b>	<b>Limitações . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>6.3</b>	<b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>	<b>35</b>
6.3.1	Melhorias Físicas e de Equipamentos . . . . .	35
6.3.2	Melhorias no Sistema e Software . . . . .	36
<b>6.4</b>	<b>Considerações finais . . . . .</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>37</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Justificativa

Segundo Sacomano et al. (2018), a Quarta Revolução Industrial é fundamental para que o Brasil recupere sua produtividade e alcance competitividade nas cadeias globais de valor. Inovação e tecnologia devem ser priorizadas nas estratégias de investimento para que o país possa se inserir de forma significativa nesse novo cenário produtivo, visto que o Brasil tem se concentrado na exportação de commodities de baixo valor agregado, embora, devido à sua vasta extensão territorial, o país devesse priorizar uma estratégia de desenvolvimento que inclua a manufatura. Mais de metade das receitas do comércio internacional advém de produtos manufaturados, e a indústria é uma fonte essencial de inovação, o que desempenha um papel crucial no desenvolvimento socioeconômico dos países(SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018).

Sendo assim, a escolha do tema também se justifica pela crescente demanda do setor de moda e e-commerce por soluções tecnológicas que ofereçam personalização e conveniência ao consumidor, reduzindo a necessidade de devoluções e aumentando a satisfação com a compra online. O desenvolvimento de um provador virtual que utiliza avatares 3D e simulações foto-realistas proporciona ao usuário uma experiência imersiva e personalizada, atendendo à tendência de consumo digital onde a experiência é cada vez mais valorizada.

A adoção de tecnologias da Indústria 4.0, como a manufatura digital e o data warehouse, permite a coleta e análise de dados precisos sobre o ajuste e as preferências de estilo dos consumidores. Esses dados são valiosos tanto para empresas, que podem aprimorar o design e a produção de roupas, quanto para o consumidor, que pode tomar decisões de compra mais informadas. Além disso, a possibilidade do uso de IA generativa para simulação visual se alinha à inovação tecnológica e à busca por interfaces mais intuitivas e atraentes. Assim, este estudo contribui para o desenvolvimento de uma plataforma capaz de integrar as necessidades dos consumidores e as possibilidades tecnológicas, reforçando a importância da digitalização e do uso estratégico de dados no comércio de moda online.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de provador virtual de roupas, baseado na arquitetura de um data warehouse, que integre avatares 3D persona-

lizados de humanos com modelos pré-digitalizados de roupas oriundas da Indústria 4.0, proporcionando aos usuários uma experiência imersiva e precisa na escolha e ajuste de vestuário, melhorando assim a interação e a tomada de decisão no processo de compra online.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Desenvolver um data warehouse capaz de armazenar, organizar e processar grandes volumes de dados relacionados aos avatares 3D e modelos de roupas, viabilizando consultas e simulações eficientes.

2. Avaliar a eficiência e usabilidade do sistema no contexto do e-commerce de moda, verificando a precisão dos ajustes simulados e o impacto na experiência do usuário durante o processo de compra virtual.

3. Explorar o impacto da integração de tecnologias da Indústria 4.0 e IA generativa no setor de moda e manufatura, destacando os benefícios para o consumidor e para os processos produtivos.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Data Warehouse

Um *data warehouse* consiste em um repositório centralizado projetado para armazenar grandes volumes de dados provenientes de múltiplas fontes, com o objetivo de viabilizar análises e apoiar processos de tomada de decisão ([Amazon Web Services, 2024](#)). Diferentemente de sistemas transacionais convencionais, sua principal finalidade não está na operação diária, mas na organização eficiente de informações históricas e estruturadas para consultas analíticas.

Nesse tipo de arquitetura, os dados normalmente são provenientes de bancos relacionais, sistemas transacionais e outras fontes externas, sendo periodicamente consolidados em um ambiente único. A partir dessa centralização, diferentes perfis de usuários, como analistas, engenheiros de dados e tomadores de decisão, podem acessar os dados por meio de ferramentas analíticas, linguagens de consulta estruturada e sistemas de inteligência de negócios.

Arquiteturalmente, um *data warehouse* pode ser compreendido em camadas. A camada superior corresponde às ferramentas de visualização e análise, responsáveis por apresentar relatórios e resultados analíticos. A camada intermediária concentra os mecanismos de processamento e consulta, enquanto a camada inferior abriga os dados armazenados, normalmente organizados em bancos relacionais com esquemas definidos.

Além do conceito de *data warehouse*, é importante distinguir sua aplicação em relação ao conceito de *data lake*, uma vez que ambos desempenham papéis complementares em arquiteturas modernas de armazenamento de dados.

Enquanto o *data warehouse* é projetado para armazenar dados estruturados, organizados em tabelas relacionais e preparados para consultas analíticas, o *data lake* caracteriza-se por armazenar dados em seu formato bruto, preservando arquivos estruturados, semiestruturados e não estruturados sem necessidade imediata de transformação ([Amazon Web Services, 2024](#)).

Essa separação permite que o sistema utilize duas abordagens complementares: armazenamento bruto e escalável para os modelos tridimensionais completos e armazenamento estruturado para os metadados derivados, favorecendo consultas rápidas, rastreabilidade e futuras análises analíticas.

## 2.2 Internet das Coisas (IoT)

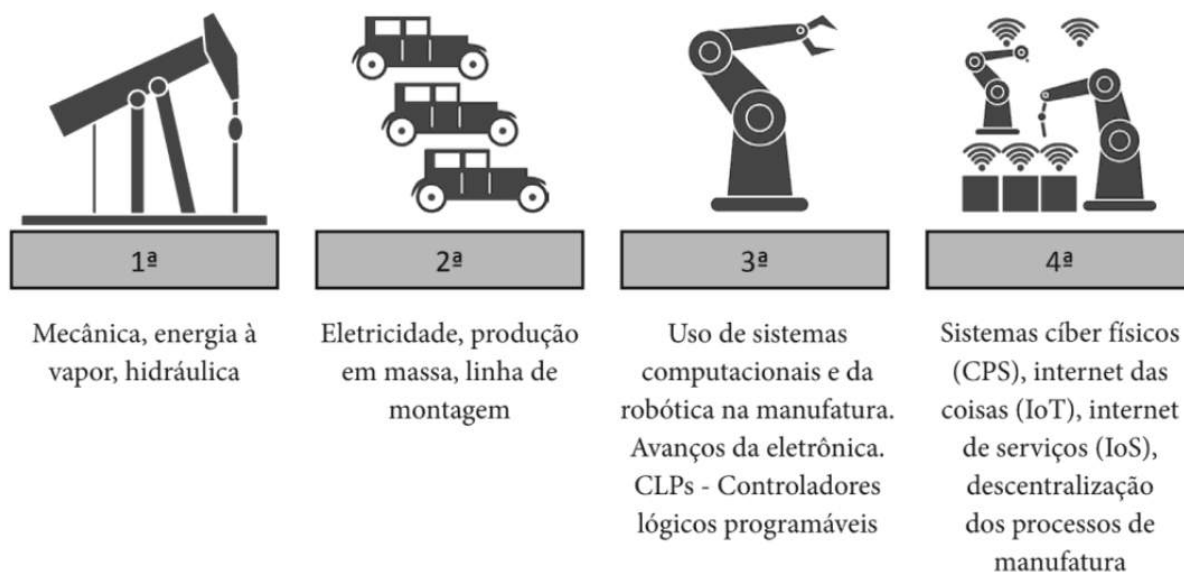
A Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) refere-se ao conjunto de dispositivos físicos conectados em rede capazes de coletar, transmitir e trocar dados por meio da internet ou de infraestruturas digitais conectadas ([Amazon Web Services, 2024](#)). Esse conceito envolve sensores, equipamentos eletrônicos, dispositivos embarcados e sistemas capazes de interagir entre si e com serviços em nuvem, permitindo automação, monitoramento e tomada de decisão baseada em dados.

No presente trabalho, embora os sensores utilizados no processo de escaneamento tridimensional não operem diretamente em rede IoT industrial completa, sua função de captura contínua de dados tridimensionais aproxima-se conceitualmente desse paradigma, uma vez que produzem informações digitais que posteriormente alimentam serviços em nuvem, processamento automatizado e armazenamento estruturado.

## 2.3 Indústria 4.0/Quarta Revolução Industrial

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial e é caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas, como inteligência artificial, internet das coisas (IoT), big data e automação, nos processos de produção. Para entender seu impacto, é importante olhar para as revoluções anteriores. A Primeira Revolução Industrial, no final do século XVIII, marcou a introdução de máquinas a vapor, que transformaram o setor têxtil e impulsionaram o crescimento das fábricas. A Segunda Revolução, no final do século XIX, trouxe a eletricidade e a produção em massa, além de avanços como o motor de combustão interna e as linhas de montagem. Já a Terceira Revolução, iniciada na segunda metade do século XX, foi marcada pela automação e pela informática, com a utilização de computadores e sistemas de controle para tornar a produção mais eficiente.

Figura 1 – As quatro revoluções industriais



Fonte: Adaptado de (SACOMANO; GONÇALVES; BONILLA, 2018)

A Indústria 4.0, iniciada no início do século XXI, vai além da automação ao conectar dispositivos, sistemas e pessoas em redes inteligentes. Essa integração permite que máquinas tomem decisões baseadas em dados, que processos sejam monitorados em tempo real, e que a produção seja personalizada de forma mais flexível e eficiente. A digitalização da manufatura na Indústria 4.0 visa aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e criar fábricas inteligentes, onde todo o ecossistema, desde fornecedores até clientes, é conectado em uma cadeia de valor digital e integrada.

Sendo assim, a Indústria 4.0 e o data warehouse para um provador de roupas estão intrinsecamente conectados pela digitalização e integração de dados. A Indústria 4.0, com suas tecnologias avançadas como IoT e manufatura digital, permite a criação de representações digitais detalhadas de peças de vestuário, capturando informações sobre design, materiais e ajustes. Essas informações podem ser armazenadas e organizadas no data warehouse, que centraliza os dados de roupas, avatares 3D dos usuários e interações no sistema.

## 2.4 Gêmeos digitais (Digital Twin)

O conceito de *Digital Twin* refere-se a uma réplica virtual de um produto físico, ativo, processo ou sistema inserido em um sistema ciberfísico (*Cyber-Physical System* – CPS) ou em um sistema ciberfísico de produção (*Cyber-Physical Production System* – CPPS), capaz de refletir, ao longo de seu ciclo de vida, tanto propriedades estáticas quanto dinâmicas (ASHTARI et al., 2019)(SADDIK, 2018).

Um CPS corresponde à integração entre componentes físicos e sistemas computacionais capazes de monitorar, processar e reagir continuamente a dados provenientes do ambiente físico. Já o CPPS representa a aplicação desse conceito em ambientes produtivos industriais, nos quais máquinas, sensores e sistemas digitais interagem para otimizar processos de manufatura.

A principal característica de um *Digital Twin* está na troca contínua de informações entre o objeto físico e sua representação digital, permitindo atualização constante do modelo virtual e acompanhamento em tempo real de seu comportamento, condição e desempenho.

A relação entre o conceito de *Digital Twin* e seu armazenamento em um *data warehouse* está na capacidade de criar réplicas digitais altamente precisas de peças de vestuário, armazenadas, gerenciadas e processadas para diferentes finalidades analíticas e operacionais. No contexto do provedor virtual, cada roupa pode ser representada por um modelo tridimensional digitalizado contendo não apenas sua geometria, mas também informações detalhadas sobre materiais, padrões, elasticidade e características de caimento.

Esses modelos funcionam como gêmeos digitais das peças físicas, permitindo manipulação virtual sem necessidade do objeto real. Dessa forma, torna-se possível testar virtualmente como uma peça se comportará em diferentes tipos corporais, reduzindo a necessidade de prototipagem física e contribuindo para otimização do processo de design.

A integração entre *Digital Twin* e *data warehouse* também favorece análises preditivas, pois os dados gerados durante simulações de ajuste, preferências dos usuários e comportamento de consumo podem ser armazenados e utilizados futuramente para personalização de produtos e apoio ao desenvolvimento de novas coleções.

## 2.5 Avatares

Um avatar é uma representação visual que reflete os interesses de diferentes partes envolvidas, agregando informações relacionadas ao ciclo de vida de um produto em um contexto virtual. Ele possibilita a criação de interfaces ajustadas às necessidades específicas dessas partes. Suas principais características incluem a capacidade de preservar uma identidade singular, interagir de forma eficiente com o ambiente, produzir, acessar, compartilhar e gerenciar informações relacionadas a si mesmo, além de utilizar uma linguagem para expressar suas propriedades e demandas (HRIBERNIK et al., 2006).

Essa definição de avatar conecta-se diretamente ao papel que ele desempenha em um sistema baseado em *data warehouse*, especialmente no contexto de um provedor virtual. No sistema proposto, os avatares personalizados representam os usuários finais, armazenando informações detalhadas como medidas corporais, características físicas, preferências de estilo e dados derivados do processamento geométrico. Essas informações são integradas ao

ambiente analítico, permitindo o cruzamento com outros dados, como modelos de roupas digitalizadas e atributos estruturais extraídos dos arquivos tridimensionais.

Dessa forma, os avatares armazenados deixam de ser apenas representações visuais e passam a compor uma estrutura de dados capaz de sustentar futuras consultas, comparações e simulações dentro do sistema. Essa organização permite que diferentes modelos corporais sejam comparados com diferentes peças digitalizadas, favorecendo personalização e futuras análises preditivas.

Sob essa perspectiva, os avatares armazenados no *data warehouse* também podem ser compreendidos como uma aplicação do conceito de *Digital Twin*, especialmente no contexto de personalização e simulação. Assim como um gêmeo digital representa virtualmente uma entidade física, o avatar atua como um equivalente digital do usuário, reproduzindo suas características físicas, proporções corporais e atributos relevantes para simulação.

Essa relação é essencial no provador virtual, pois permite que o sistema ajuste e teste roupas digitalizadas em ambiente virtual antes da interação física, reduzindo incertezas e ampliando o potencial de personalização.

Estudos recentes demonstram que o conceito de avatar tem evoluído significativamente com o avanço das técnicas de inteligência artificial e reconstrução tridimensional. Segundo Yamada et al. (YAMADA; GOIS; TAKAHASHI, 2026), métodos contemporâneos de geração tridimensional vêm incorporando aprendizado profundo, modelos paramétricos e técnicas generativas capazes de produzir avatares com elevado nível de detalhamento geométrico e consistência visual.

Embora parte dessas abordagens esteja voltada a avatares estilizados, os princípios de reconstrução geométrica, preservação estrutural e representação digital permanecem diretamente aplicáveis ao contexto de avatares humanos utilizados em sistemas de provadores virtuais..

## 2.6 Fotogrametria

A triangulação fotogramétrica é um método de reconstrução tridimensional baseado em imagens bidimensionais capturadas de diferentes ângulos. Na prática, o sistema utiliza várias câmeras posicionadas estrategicamente para fotografar um objeto (ou uma pessoa, no caso de avatares). A partir dessas imagens, algoritmos de fotogrametria identificam pontos correspondentes em diferentes fotos e utilizam o princípio da triangulação para calcular as coordenadas tridimensionais desses pontos no espaço.

Esse processo depende de três elementos principais:

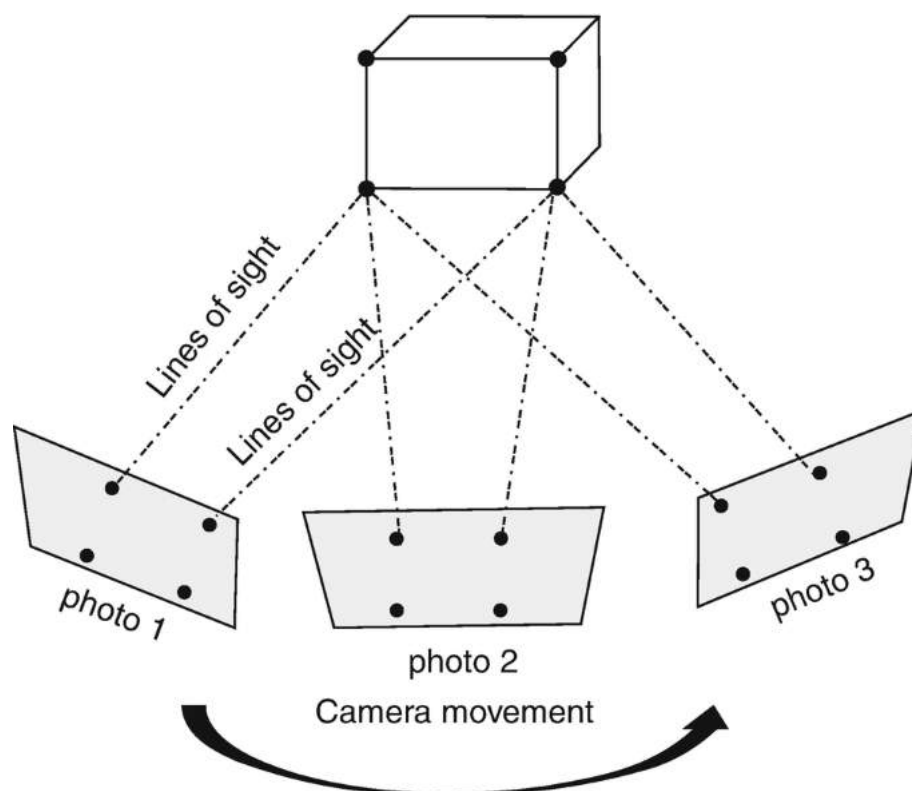
- Pontos correspondentes nas imagens: Pixels que representam o mesmo local em

diferentes fotografias.

- Posicionamento das câmeras: A distância entre as câmeras e seus ângulos de visão são parâmetros cruciais.
- Modelo matemático de triangulação: Usa as informações de perspectiva para determinar as coordenadas 3D.

Em uma câmera, qualquer ponto no espaço tridimensional, exceto o centro de projeção, gera uma linha única que atravessa o centro de projeção. Caso essa linha não seja paralela ao plano da imagem, ela necessariamente interceptará o plano em um único ponto. De forma simplificada, a luz viaja de um projetor até a câmera, seguindo uma linha que conecta o ponto no espaço 3D à sua projeção 2D no centro do plano da imagem (TAUBIN; MORENO; LANMAN, 2014).

Figura 2 – Fotogrametria



Fonte: (VILLA; JACOBSEN, 2019)

A fotogrametria depende fortemente da sobreposição de imagens. Ao identificar pontos equivalentes em várias fotografias e levar em consideração aspectos como a posição e orientação de cada câmera, a distância focal, possíveis distorções da lente e outras características técnicas, é viável determinar a localização desses pontos no espaço tridimensional por meio da triangulação (MUBANGA, 2024).

Esse processo envolve encontrar pontos correspondentes em imagens sobrepostas e calcular suas coordenadas em 3D com base nas posições conhecidas das câmeras. Quando um ponto aparece em pelo menos duas fotos capturadas de ângulos diferentes, é possível traçar linhas imaginárias que conectam as posições das câmeras ao ponto observado. A interseção dessas linhas, obtida por meio de cálculos matemáticos, fornece as coordenadas espaciais (X, Y, Z) do ponto. Com uma quantidade suficiente de pontos identificados, torna-se possível reconstruir um modelo tridimensional detalhado da cena (MUBANGA, 2024).

Dessa forma, a triangulação viabiliza a criação de representações tridimensionais precisas, como avatares 3D que replicam fielmente a anatomia humana ou versões digitalizadas de peças de vestuário.

## 2.7 Nuvem de pontos

A nuvem de pontos é uma das formas mais simples de representação geométrica obtida diretamente por um scanner 3D. Cada ponto na nuvem é definido por suas coordenadas cartesianas (x, y, z), podendo incluir um ou mais atributos adicionais relacionados a ele (GROETELAARS; AMORIM, 2011).

A partir de imagens capturadas de diferentes ângulos por câmeras, a triangulação fotogramétrica é usada para gerar uma nuvem de pontos que modela a anatomia do usuário. Cada ponto representa uma parte específica da superfície corporal, permitindo que o avatar 3D seja uma réplica detalhada e fiel ao corpo real. Esses dados, organizados em forma de nuvem de pontos, são posteriormente processados para criar malhas tridimensionais, que são suavizadas e texturizadas para uso no provedor virtual.

Da mesma forma, as roupas também podem ser digitalizadas utilizando tecnologia de nuvem de pontos. Ao escanear peças de vestuário físico ou utilizar arquivos CAD fornecidos pela Indústria 4.0, a nuvem de pontos descreve as dimensões, o formato e os detalhes das roupas. Essa representação tridimensional pode ser combinada com informações adicionais, como propriedades físicas (elasticidade, densidade do tecido) e características visuais (cores, padrões), criando um modelo digital completo.

Sendo assim, a nuvem de pontos conecta a captura de dados tridimensionais à criação de experiências digitais personalizadas. No contexto de um provedor virtual, ela é a base para a geração de avatares 3D e a digitalização de roupas, enquanto o data warehouse assegura a integração e o gerenciamento eficaz desses dados, criando um sistema robusto e escalável para o setor de moda.

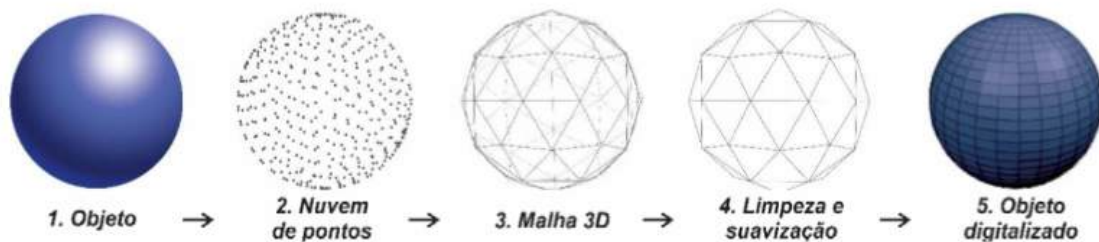
## 2.8 Malha

Ao conectar os pontos de uma nuvem de forma organizada e estruturada, é possível gerar um objeto tridimensional que pode ser manipulado para diferentes análises. De maneira geral, uma malha é composta por uma rede de conexões que forma um grafo. Nesse contexto, as coordenadas dos vértices são extraídas por meio de processos de escaneamento, enquanto as ligações entre os pontos são determinadas por algoritmos de reconstrução que calculam as conexões mais apropriadas entre os nós.

Os avatares usados em provedores virtuais são derivados de malhas geradas a partir de dados obtidos por triangulação fotogramétrica ou escaneamento 3D. Após a criação de uma nuvem de pontos, as malhas são construídas conectando esses pontos em estruturas contínuas que formam superfícies tridimensionais. Essas malhas capturam com precisão os contornos e volumes do corpo humano, criando um avatar altamente detalhado e personalizado.

As roupas digitalizadas também são representadas por malhas 3D, que descrevem suas dimensões, cortes e detalhes com precisão. A partir de processos como escaneamento 3D ou uso de modelos CAD, as roupas são transformadas em malhas que contêm informações sobre costuras, pregas, elasticidade e propriedades do tecido. Essas malhas detalhadas são ideais para simulações de ajuste e caimento no corpo do avatar.

Figura 3 – Processo de obtenção de malha 3D



Fonte: (SIERRA; OKIMOTO, 2021)

A qualidade do escaneamento final depende de uma série de elementos, como a resolução e precisão do sensor utilizado, a tecnologia empregada, bem como aspectos relacionados ao hardware, ao ambiente de escaneamento e ao protocolo adotado para a coleta dos dados (SIERRA; OKIMOTO, 2021). Devido a esses e outros fatores, é comum que as malhas escaneadas apresentem algum nível de erro, seja ele mínimo ou mais significativo. Para lidar com essas imperfeições, diversas técnicas de correção e limpeza foram desenvolvidas.

As malhas 3D são o pilar estrutural de um sistema de provedor virtual, permitindo que avatares e roupas sejam representados com precisão e realismo. Integradas ao data

warehouse, as malhas tornam-se acessíveis e reutilizáveis, suportando simulações avançadas e análises preditivas. Essa abordagem combina a eficiência da gestão de dados com a flexibilidade da modelagem 3D, proporcionando uma solução inovadora e escalável para o setor de moda.

## 2.9 Computação em nuvem

A computação em nuvem revolucionou a maneira como dados são armazenados, processados e analisados, proporcionando escalabilidade, flexibilidade e acessibilidade sem precedentes. No contexto de data warehouses, a nuvem oferece uma infraestrutura capaz de centralizar grandes volumes de dados provenientes de diversas fontes, garantindo alta disponibilidade e suporte para análises avançadas em tempo real.

Diferentemente dos data warehouses tradicionais, que exigem investimentos elevados em hardware e manutenção, os data warehouses baseados na nuvem eliminam a necessidade de infraestrutura local. Eles operam sob um modelo de pagamento por uso, ajustando automaticamente a capacidade de armazenamento e processamento conforme a demanda. Essa abordagem é particularmente vantajosa para aplicações modernas, que exigem integração com diversas fontes de dados e suporte a análises escaláveis.

Além disso, a computação em nuvem facilita a integração de tecnologias avançadas, como aprendizado de máquina e inteligência artificial, que podem ser aplicadas diretamente sobre os dados armazenados. Isso permite não apenas armazenar e consultar dados, mas também utilizá-los para obter insights valiosos e automatizar processos.

No contexto de um provedor virtual, a computação em nuvem oferece a base para armazenar e processar dados complexos, como avatares 3D, roupas digitalizadas e simulações de caimento. A integração com serviços como os oferecidos pela AWS — por exemplo, Amazon S3 para armazenamento e AWS Lambda para processamento — permite construir um sistema robusto, escalável e eficiente, capaz de atender às demandas de personalização e análise em tempo real.

### 2.9.1 Armazenamento: AWS S3

O Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) é uma solução de armazenamento de objetos projetada para oferecer escalabilidade, disponibilidade de dados, desempenho e segurança de alto nível. Ele é amplamente utilizado por empresas de diferentes tamanhos e setores para armazenar e proteger grandes volumes de dados, atendendo a diversas finalidades, como data lakes, hospedagem de sites, aplicativos móveis, backup e recuperação, arquivamento, sistemas corporativos, dispositivos IoT e análises de big data. O Amazon S3 também oferece ferramentas de gerenciamento que permitem organizar, otimizar e

configurar o acesso aos dados de acordo com as necessidades específicas de negócios, conformidade e requisitos organizacionais ([AMAZON WEB SERVICES, 2024b](#)).

Ideal para armazenar os dados tridimensionais de avatares e roupas no formato de nuvens de pontos, malhas 3D ou modelos CAD. Cada avatar ou peça de roupa pode ser armazenado como um objeto no S3, categorizado por chaves únicas, como identificadores de usuários ou coleções específicas.

O S3 suporta:

- Dados estruturados e não estruturados: Avatares e roupas podem ser armazenados em formatos variados, como .ply, .obj, .fbx, .glb, além de imagens, texturas e metadados.
- Alta durabilidade: Garante a integridade dos dados, essencial para manter o histórico de avatares e modelos de roupas ao longo do tempo.
- Camadas de armazenamento: Dados menos acessados, como coleções antigas, podem ser movidos para camadas de custo reduzido, como o S3 Glacier.

No provedor virtual, cada avatar ou roupa é acessado diretamente do S3 sempre que uma nova simulação é iniciada, integrando-se ao fluxo de personalização e visualização.

### 2.9.2 Processamento e Categorização: AWS Lambda

A AWS Lambda é um serviço de computação serverless que executa funções em resposta a eventos, sendo ideal para processar e categorizar os dados armazenados no S3. No contexto do provedor virtual([AMAZON WEB SERVICES, 2024a](#)):

- Categorização automática: Uma função Lambda pode ser acionada sempre que novos avatares ou roupas forem carregados no S3, classificando-os com base em características extraídas, como tamanhos, materiais ou estilos.
- Processamento dinâmico: A Lambda pode realizar tarefas como conversão de formatos de arquivos (ex.: de .fbx para .glb).
- Geração de pré-visualizações (ex.: imagens de baixa resolução para facilitar buscas no sistema).
- Análise de dados armazenados, como identificação de atributos em roupas (ex.: elasticidade ou tipo de tecido).

A integração da Lambda com o S3 permite que o sistema mantenha os dados atualizados e organizados automaticamente, sem a necessidade de servidores dedicados.

### 2.9.3 Integração e Gerenciamento de Dados

O uso combinado de S3 e Lambda facilita a criação de um sistema eficiente de data warehouse em nuvem:

- **Armazenamento centralizado:** O S3 centraliza todos os dados de avatares e roupas, permitindo acesso rápido e consistente.
- **Processamento escalável:** A Lambda processa dados sob demanda, garantindo que o sistema seja escalável e econômico, já que você paga apenas pelo uso efetivo.
- **Automação:** Eventos do S3, como upload de arquivos ou atualizações, acionam funções da Lambda, automatizando tarefas que antes exigiam intervenção manual

### 2.9.4 Benefícios

A utilização de um data warehouse em nuvem com serviços AWS oferece vantagens significativas:

- **Escalabilidade:** Tanto o S3 quanto a Lambda são projetados para lidar com volumes crescentes de dados e usuários, acompanhando a expansão do sistema.
- **Custo-benefício:** A infraestrutura serverless elimina custos fixos de manutenção de servidores, enquanto o S3 permite otimizar custos com camadas de armazenamento.
- **Flexibilidade:** Dados de avatares e roupas podem ser acessados de qualquer lugar, facilitando integrações com outras plataformas ou sistemas de análise.

### 2.9.5 Aplicação

No contexto do provedor virtual, a combinação do Amazon S3 e AWS Lambda é essencial para:

- **Armazenar avatares e roupas de forma centralizada:** Garantindo que os dados estejam disponíveis para simulações em tempo real.
- **Automatizar a organização de dados:** Classificando e processando novos uploads sem intervenção manual.
- **Facilitar análises e personalizações:** Permitindo que os dados armazenados sejam processados para gerar insights ou ajustar modelos às preferências dos usuários.

### 2.9.6 Considerações

O uso de um data warehouse em nuvem baseado em AWS S3 e AWS Lambda torna a gestão de dados de avatares e roupas em provedores virtuais eficiente, escalável e econômica. Essa abordagem combina o armazenamento seguro e durável do S3 com o processamento dinâmico e automatizado da Lambda, criando uma solução robusta e integrada para o setor de moda e personalização virtual.

## 3 Trabalhos Relacionados

O projeto foi inicialmente inspirado pelo trabalho de conclusão de curso (BOROTTO, 2024) e pelo artigo de (FRANCA et al., 2005), que forneceram uma base importante para a continuidade de pesquisas relacionadas à captura tridimensional, reconstrução geométrica e utilização de avatares em ambientes digitais. A abordagem desenvolvida por esses autores influenciou diretamente a construção deste estudo, especialmente no que diz respeito ao uso de modelos tridimensionais como representação digital de indivíduos e à possibilidade de integração dessas informações em sistemas computacionais voltados à simulação.

No trabalho de Franca et al. (FRANCA et al., 2005), destaca-se o uso de triangulação a laser para obtenção de modelos tridimensionais com variação de campo de visão, demonstrando uma estratégia robusta para captura geométrica de superfícies humanas. Esse tipo de abordagem contribuiu conceitualmente para o entendimento dos processos de aquisição e reconstrução de dados tridimensionais empregados neste trabalho.

Em paralelo, estudos recentes demonstram a evolução significativa dos métodos de geração de avatares tridimensionais com apoio de inteligência artificial. Yamada et al. (YAMADA; GOIS; TAKAHASHI, 2026) apresentam uma revisão sobre técnicas contemporâneas de geração automática de avatares 3D, destacando o uso de aprendizado profundo, modelos paramétricos e abordagens generativas capazes de produzir representações digitais com elevado nível de detalhamento geométrico e consistência visual.

Embora parte dessas abordagens esteja voltada a avatares estilizados, os princípios de reconstrução geométrica, preservação estrutural e representação digital permanecem diretamente aplicáveis ao contexto de avatares humanos utilizados em sistemas de provedores virtuais.

No contexto de aplicações voltadas ao vestuário digital e personalização em ambientes virtuais, Ye e Su (YE; SU, 2025) propõem um sistema de customização de roupas baseado em inteligência artificial e *Digital Twin* aplicado ao contexto do metaverso. Nesse modelo, a representação digital do usuário permite ajustar virtualmente peças de vestuário sem necessidade de medições físicas tradicionais, ampliando possibilidades de personalização remota e integração entre ambientes físicos e digitais.

Essa abordagem aproxima-se diretamente da proposta desenvolvida neste trabalho, uma vez que também considera a representação tridimensional do usuário como base para futuras aplicações de simulação e ajuste virtual. Entretanto, diferentemente dos trabalhos citados, o presente estudo concentra-se na construção de uma arquitetura de processamento em nuvem orientada a *data warehouse*, em que arquivos tridimensionais são armazenados,

processados automaticamente e convertidos em metadados geométricos estruturados.

Dessa forma, o trabalho avança ao integrar captura tridimensional, processamento automatizado em nuvem, armazenamento analítico e geração de informações geométricas extraídas de arquivos PLY, estabelecendo uma base técnica reutilizável para aplicações futuras em provedores virtuais, análise de avatares e gêmeos digitais.

## 4 Metodologia

A metodologia adotada para este projeto segue uma abordagem estruturada para o desenvolvimento de um sistema de data warehouse aplicado a um provedor virtual de roupas, com foco na integração de avatares 3D e roupas digitalizadas, utilizando tecnologias da Indústria 4.0 e serviços em nuvem da AWS. O trabalho é dividido em etapas que abrangem desde a coleta e processamento de dados até a implementação e validação do sistema.

### 4.1 Levantamento de Requisitos e Planejamento

Nesta etapa, foi realizado um levantamento detalhado dos requisitos funcionais e não funcionais do sistema, incluindo:

- A necessidade de armazenamento centralizado e escalável para avatares 3D e roupas.
- A integração de tecnologias de digitalização 3D (nuvem de pontos e malhas) com o data warehouse.
- O uso de serviços em nuvem para otimizar processamento, escalabilidade e custo.

Foi definido o uso da AWS como plataforma principal, com o Amazon S3 para armazenamento, AWS Lambda para processamento e categorização, e outras ferramentas complementares.

### 4.2 Coleta e Digitalização de Dados

- Avatares 3D: Modelos tridimensionais foram gerados a partir de técnicas de fotogrametria e escaneamento 3D. Nuvens de pontos foram processadas e convertidas em malhas detalhadas, armazenadas no Amazon S3.
- Roupas Digitalizadas: Modelos CAD ou escaneados de roupas físicas foram utilizados, capturando informações como medidas, texturas e características do tecido.

Os dados coletados foram organizados em categorias para facilitar a indexação e a recuperação no data warehouse.

## 4.2.1 Componentes

### 4.2.1.1 Sensores

Para a captura precisa dos avatares 3D, foram utilizados sensores avançados no laboratório da universidade(LAOB), especializados em digitalização tridimensional. Esses sensores desempenharam um papel fundamental na obtenção de dados detalhados, garantindo a fidelidade na representação dos avatares.

A utilização desses sensores garantiu que os avatares armazenados no data warehouse fossem representações fiéis e detalhadas dos usuários, promovendo um alto grau de realismo nas simulações realizadas pelo provedor virtual. Essa etapa também demonstra a integração entre os recursos laboratoriais da universidade e as tecnologias de nuvem utilizadas no projeto.

#### 4.2.1.1.1 Orbbec Astra Stereo S U3

A Astra Stereo S U3 é a primeira e mais compacta câmera 3D da Orbbec baseada na tecnologia de Estéreo Ativo IR e está equipada com o ASIC personalizado da Orbbec para processamento de profundidade de alta qualidade, além de oferecer alimentação e conectividade através de um único cabo USB 3.0. A Astra Stereo S U3 é utilizada em aplicações de curto alcance e alta precisão, como no varejo, robótica para coleta de objetos, medições objetivas, identificação facial, entre outros. O Orbbec OpenNI SDK facilita a configuração e entrega de dados altamente precisos e confiáveis, mesmo em condições de iluminação variadas(ORBEC, 2024b).

Figura 4 – Sensor Orbbec Astra Stereo S U3



Fonte: (ORBEC, 2024b)

#### 4.2.1.1.2 Orbbec Astra Mini S

A série Orbbec Astra Mini, como linha de produtos embarcados da Orbbec voltada para a indústria de robótica, tem mantido um fornecimento consistente e estável por mais de seis anos. Os mercados-alvo dessa série incluem robôs de serviço, interação por gestos e medições volumétricas(ORBEC, 2024a).

Figura 5 – Sensor Orbbec Astra Mini S



Fonte: (ORBEC, 2024a)

#### 4.2.1.2 Plataforma giratória

A plataforma giratória utilizada no processo de escaneamento 3D é projetada para suportar até 150 kg, garantindo sua aplicação em uma ampla gama de usuários. Com uma velocidade de rotação constante de 2,5 rpm (rotações por minuto), ela permite que os sensores realizem capturas contínuas e uniformes de todos os ângulos do corpo. Essa velocidade foi escolhida para equilibrar a qualidade das capturas, evitando distorções nas imagens, e a eficiência do processo, reduzindo o tempo necessário para a digitalização completa.

A plataforma foi configurada para operar de forma sincronizada com os sensores, garantindo que cada ponto capturado fosse alinhado corretamente no espaço tridimensional. Essa estrutura é um elemento essencial no processo, possibilitando a criação de avatares detalhados e realistas que alimentam o sistema do provedor virtual.

Figura 6 – Plataforma giratória



Fonte: Autoria própria

#### 4.2.1.3 Estrutura composta

A estrutura principal utilizada no projeto consiste na integração de scanners 3D e uma plataforma giratória, projetada para permitir uma captura precisa e completa dos avatares. Essa composição garante que os dados tridimensionais sejam coletados de forma contínua e uniforme, com os scanners posicionados estrategicamente ao redor da plataforma para maximizar a cobertura e minimizar sombras ou áreas não capturadas.

Figura 7 – Estrutura composta



Fonte: Autoria própria

Essa estrutura foi configurada de modo a otimizar o fluxo de trabalho, permitindo que os scanners, combinados com a rotação da plataforma, gerem nuvens de pontos detalhadas. A disposição dos equipamentos, conforme ilustrado na Figura 7, reflete uma configuração cuidadosamente planejada para garantir alta precisão e eficiência no processo de digitalização. O resultado é a criação de avatares tridimensionais realistas, fundamentais para as simulações do provador virtual e a integração com o sistema de data warehouse.

#### 4.2.1.4 Renderização e visualização

Utilizou-se uma GPU NVIDIA GeForce RTX 3060, que proporcionou alto desempenho no processamento gráfico necessário para gerar representações tridimensionais detalhadas e realistas dos avatares.

A escolha da RTX 3060 se deu pela sua capacidade de lidar com cargas intensas de processamento gráfico, aproveitando recursos como ray tracing em tempo real e otimizações de renderização aceleradas por hardware.

### 4.3 Pós-processamento e Integração com a Nuvem

Após a coleta e digitalização dos avatares e roupas em 3D, o processo de pós-processamento foi iniciado com o objetivo de estruturar e preparar os arquivos para

armazenamento e uso no sistema. Essa etapa teve como foco a automação da organização, classificação e transformação dos arquivos gerados pelos scanners.

### 4.3.1 Envio para o Amazon S3

Os arquivos gerados, geralmente nos formatos .ply, foram exportados do software de reconstrução e enviados diretamente para o serviço de armazenamento Amazon S3 (*Simple Storage Service*). Cada arquivo foi alocado em um bucket específico, organizado por categorias como *avatares/* e *roupas/*, com nomes únicos para garantir fácil rastreamento e recuperação.

Além do modelo 3D, foram adicionados metadados relevantes no momento do upload, como:

- Identificador do usuário ou voluntário
- Tipo de malha (avatar ou roupa)
- Data e hora da captura
- Parâmetros do escaneamento (ex.: resolução, sensor utilizado)

### 4.3.2 Processamento com AWS Lambda

Após o upload no S3, um evento automático acionava uma função do serviço AWS Lambda, configurada para realizar as seguintes tarefas:

- Leitura e validação do arquivo: A Lambda verifica se o modelo está íntegro e em conformidade com os requisitos do sistema (extensão permitida, peso máximo, etc.).
- Extração de informações: Dados como número de vértices, tamanho do arquivo e estrutura do modelo são extraídos e armazenados como metadados adicionais.
- Classificação automática: A função organiza o arquivo em uma subpasta apropriada dentro do bucket, com base em regras de nomeação e tipo (por exemplo, *roupas/casual/* ou *avatares/usuario1/*).
- Conversão de formatos (opcional): Quando necessário, o arquivo pode ser convertido de .obj para .glb para otimizar seu uso em aplicações web e renderização em tempo real.
- Registro no sistema: Um log da operação é gerado e pode ser consultado posteriormente para fins de rastreamento ou auditoria.

Esse fluxo automatizado reduziu significativamente o tempo necessário para integrar os modelos ao sistema do data warehouse, ao mesmo tempo em que padronizou os dados e garantiu sua consistência.

### 4.3.3 Armazenamento Estruturado com Amazon RDS

Após o processamento inicial realizado pela AWS Lambda, os metadados extraídos dos arquivos tridimensionais passaram a ser armazenados em um banco de dados relacional hospedado no serviço Amazon RDS (*Relational Database Service*). Essa etapa teve como finalidade estruturar as informações necessárias para indexação, rastreabilidade e futuras consultas analíticas dentro da arquitetura do data warehouse.

Enquanto o Amazon S3 foi utilizado para armazenar os arquivos originais de escaneamento, o banco relacional passou a concentrar os atributos descritivos e geométricos extraídos durante o processamento. Para isso, foi definida uma tabela denominada *ply\_metadata*, responsável por registrar informações relacionadas aos arquivos no formato PLY (*Polygon File Format*), amplamente utilizado na representação de nuvens de pontos e malhas tridimensionais.

Entre os principais atributos armazenados destacam-se:

- identificação única do arquivo processado;
- nome do arquivo e localização no bucket S3;
- tamanho do arquivo;
- formato do modelo tridimensional;
- quantidade de vértices e faces da malha;
- elementos estruturais presentes no arquivo;
- dimensões espaciais mínimas e máximas do modelo por meio do cálculo da *Axis-Aligned Bounding Box* (AABB);
- coordenadas do centróide geométrico;
- altura estimada do modelo;
- volume aproximado;
- massa estimada;
- tempo de processamento da função Lambda;
- status de processamento e possíveis mensagens de erro.

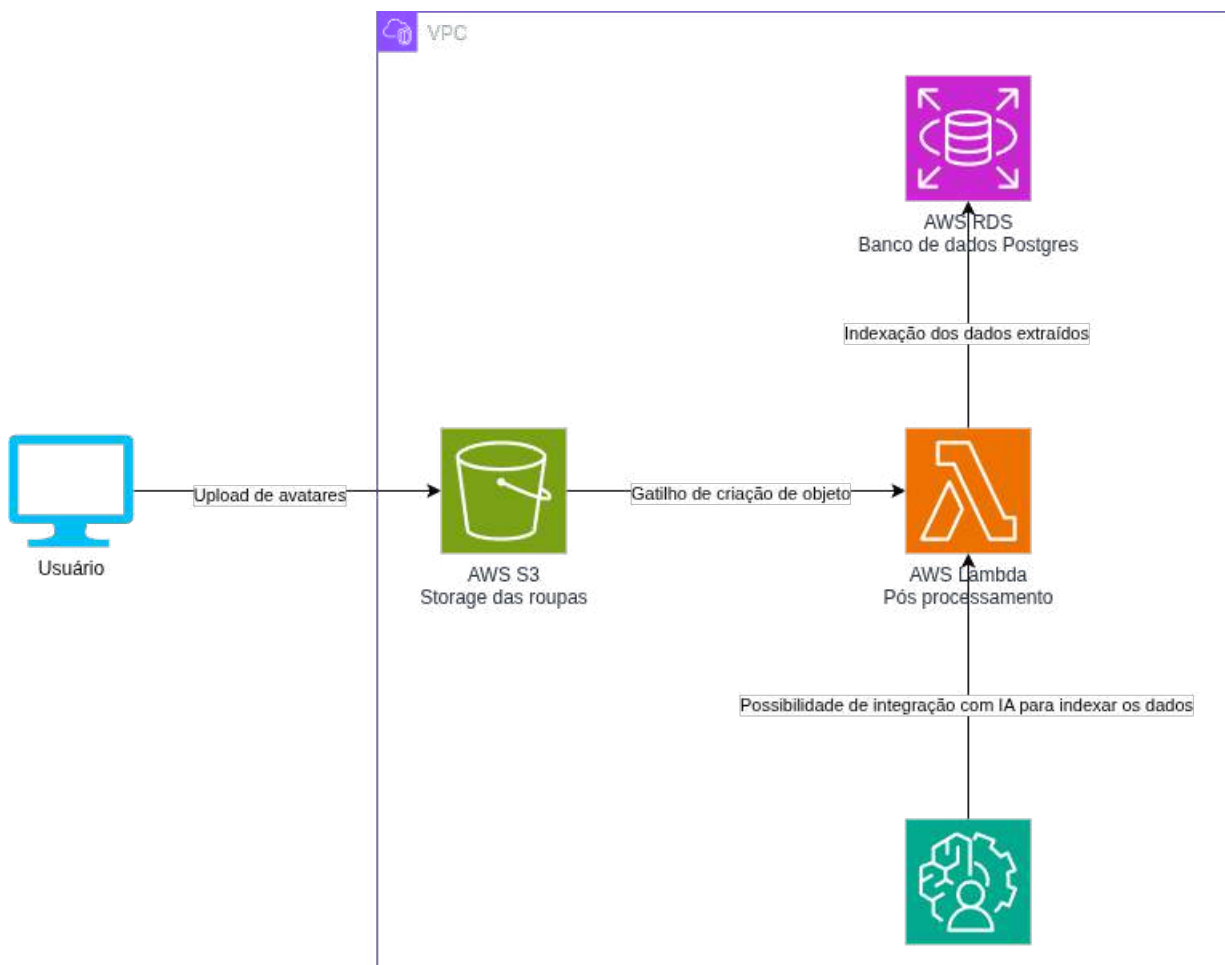
A utilização desses metadados permitiu transformar arquivos tridimensionais brutos em informações estruturadas passíveis de análise e categorização. O cálculo das dimensões do modelo, por exemplo, fornece subsídios para aplicações futuras no provedor virtual, como comparação dimensional entre avatares e peças de vestuário digitalizadas.

Além disso, o armazenamento em Amazon RDS favorece a integridade dos dados e facilita futuras integrações com aplicações web e sistemas analíticos, uma vez que os registros podem ser consultados sem necessidade de acesso direto aos arquivos completos armazenados no Amazon S3.

Essa arquitetura separa claramente duas camadas complementares do sistema: o armazenamento de objetos tridimensionais em nuvem e a persistência relacional dos metadados extraídos, configurando uma base consistente para expansão futura do data warehouse.

#### 4.3.4 Arquitetura final

Figura 8 – Diagrama AWS



Fonte: Autoria própria

Essa arquitetura orientada a eventos permitiu desacoplar as etapas de armazenamento, processamento e persistência dos dados, favorecendo escalabilidade e facilitando futuras expansões do sistema para múltiplos dispositivos de captura ou maior volume de modelos tridimensionais.

A separação entre armazenamento em objetos no Amazon S3 e persistência relacional no Amazon RDS também contribui para a organização do fluxo analítico, permitindo que o sistema opere de forma semelhante a um data warehouse aplicado à computação gráfica tridimensional.

A adoção de arquitetura *serverless* permitiu reduzir a complexidade operacional do sistema, uma vez que o processamento ocorre sob demanda, sem necessidade de servidores permanentemente ativos, favorecendo elasticidade e otimização de custos computacionais.

A separação entre armazenamento em objetos no Amazon S3 e persistência relacional no banco PostgreSQL contribui para a organização do fluxo analítico, aproximando a solução de uma arquitetura de data warehouse aplicada ao processamento tridimensional.

## 5 Resultados e Discussões

### 5.1 Escaneamento

A estrutura composta, formada pela integração de scanners 3D e uma plataforma giratória, demonstrou grande eficácia na captura tridimensional do corpo humano. Como ilustrado na figura 9, os resultados obtidos geraram um avatar 3D com características anatômicas detalhadas e proporcionais ao modelo físico, possibilitando uma representação fiel do corpo do indivíduo.

Figura 9 – Voluntário consentido escaneado no laboratório



Fonte: Autoria própria

Os principais aspectos observados no modelo escaneado incluem:

- Fidelidade anatômica: O avatar apresenta contornos precisos das partes do corpo, como braços, tronco, pernas e cabeça, além de uma postura geral que reflete o modelo físico em pé.

- Cobertura completa do corpo: A rotação uniforme da plataforma giratória, combinada com a disposição estratégica dos scanners, garantiu a captura em 360 graus do corpo do modelo, sem áreas significativas de ausência de dados.
- Texturização básica: Embora os detalhes texturais sejam limitados a uma coloração uniforme e de baixa resolução, o avatar é adequado para representar as dimensões corporais e para servir como base para simulações futuras no provador virtual.

Esses resultados indicam que a sincronização entre os componentes da estrutura foi bem-sucedida, permitindo que os dados coletados fossem consistentes e detalhados o suficiente para os objetivos do projeto.

### 5.1.1 Discussões sobre o Desempenho do Sistema

O desempenho da estrutura composta pode ser analisado a partir de três perspectivas principais: qualidade da captura, viabilidade para integração com o data warehouse e possíveis melhorias no processo.

#### 5.1.1.1 Qualidade da Captura

A qualidade do modelo gerado reflete a eficiência do sistema na digitalização tridimensional. A plataforma giratória, com sua capacidade de 150 kg e velocidade de 2,5 rpm, proporcionou um movimento suave e contínuo, permitindo que os scanners capturassem todos os ângulos com apenas algumas imperfeições. No entanto, observou-se que a resolução do avatar pode ser limitada pela capacidade de processamento dos scanners e pela configuração do software utilizado. Para aplicações que demandam maior detalhamento, como a simulação de roupas mais ajustadas ou texturas mais realistas, seria recomendável o uso de sensores de maior precisão ou um pós-processamento mais robusto.

#### 5.1.1.2 Viabilidade para Integração

Os avatares gerados estão prontos para serem integrados ao data warehouse. Os arquivos tridimensionais, em formatos compatíveis como .ply, podem ser armazenados no Amazon S3 juntamente com metadados relevantes, como medidas corporais e preferências do usuário. Essa integração garante que os avatares possam ser facilmente acessados e utilizados em simulações futuras. O tamanho relativamente compacto dos arquivos resultantes é uma vantagem adicional, pois facilita o armazenamento e a transferência de dados na nuvem.

### 5.1.2 Aplicações no Proveedor Virtual

Os avatares gerados oferecem uma base sólida para as funcionalidades do proveedor virtual. As dimensões corporais precisas permitem um ajuste realista das roupas digitalizadas, enquanto a flexibilidade dos modelos tridimensionais facilita sua utilização em simulações de caimento e ajuste. Apesar de a qualidade textural ainda ser limitada, a estrutura permite aprimoramentos futuros para atender às expectativas do usuário final em termos de realismo e personalização.

### 5.1.3 Conclusão do Escaneamento

Os resultados obtidos pelo escaneamento demonstram que a estrutura composta de scanners 3D e plataforma giratória é capaz de gerar modelos tridimensionais funcionais e detalhados, adequados para o objetivo do projeto. A sincronização entre os componentes garantiu uma captura eficiente, com potencial para atender a demandas mais complexas com ajustes mínimos no sistema. Assim, o modelo desenvolvido é uma base promissora para a integração com o proveedor virtual e o armazenamento centralizado no data warehouse.

## 5.2 Implementação

### 5.2.1 Biblioteca Desenvolvida: ply-js

Como parte dos resultados obtidos neste trabalho, foi desenvolvida e publicada uma biblioteca em *TypeScript* no repositório público *npm*, denominada **ply-js**([SILVA, 2026](#)), voltada para leitura, escrita, análise e processamento de arquivos tridimensionais no formato *PLY* (*Polygon File Format*).

A biblioteca foi concebida para atender às necessidades específicas deste projeto, principalmente no tratamento automatizado de malhas tridimensionais provenientes do escaneamento de avatares humanos e modelos digitais utilizados no proveedor virtual. Sua implementação foi inspirada em bibliotecas já consolidadas da linguagem Python, porém adaptada para o ecossistema *TypeScript/Node.js*, permitindo integração direta com os serviços em nuvem utilizados no fluxo metodológico, como a infraestrutura da Amazon Web Services.

Entre as funcionalidades implementadas destacam-se:

- leitura de arquivos *PLY* em formato ASCII e binário (*little-endian* e *big-endian*);
- escrita e serialização de arquivos tridimensionais;
- extração de propriedades geométricas como *Axis-Aligned Bounding Box* (AABB);

- cálculo de centróide geométrico;
- estimativa de volume a partir de faces triangulares;
- cálculo de perímetro de seções transversais;
- estimativas derivadas de massa corporal e altura para avatares digitalizados;
- suporte a calibração por scanner, permitindo compensações específicas de equipamento.

A biblioteca foi integrada ao fluxo de processamento da AWS Lambda, sendo utilizada para extrair automaticamente metadados dos arquivos armazenados no Amazon S3 antes de sua persistência no banco relacional.

Uma das principais contribuições dessa implementação foi permitir que o sistema deixasse de armazenar apenas arquivos tridimensionais brutos e passasse a gerar informações geométricas estruturadas, utilizadas posteriormente no banco de dados e nas análises do data warehouse.

Além disso, a publicação pública da biblioteca no npm amplia o potencial de reutilização por outros pesquisadores e desenvolvedores interessados em processamento de malhas tridimensionais, especialmente em aplicações relacionadas a avatares, *digital twins* e computação gráfica aplicada.

A disponibilização em ambiente público também reforça a reprodutibilidade do trabalho, uma vez que o código desenvolvido pode ser consultado, testado e expandido em outros contextos.

A criação da biblioteca surgiu da inexistência de soluções em *TypeScript* com foco específico em arquivos *PLY* aplicados ao contexto de avatares tridimensionais e processamento em nuvem.

A escolha do *TypeScript* ocorreu pela necessidade de integração direta com o ecossistema *Node.js* utilizado na AWS Lambda, além do suporte à tipagem estática, que favorece maior segurança no tratamento de estruturas tridimensionais complexas e reduz erros durante o processamento automatizado dos arquivos.

### 5.2.2 Pipeline de processamento automatizado em nuvem

Após o desenvolvimento da biblioteca **ply-js**(SILVA, 2026), foi implementado um pipeline completo de processamento automatizado para arquivos tridimensionais provenientes do escaneamento de avatares.

O fluxo inicia-se com o envio do arquivo de escaneamento para o serviço Amazon S3, onde cada modelo tridimensional é armazenado em buckets previamente organizados

conforme sua finalidade dentro do sistema. A partir desse envio, um evento automático é gerado e aciona uma função AWS Lambda responsável pelo processamento inicial do arquivo.

A função Lambda desenvolvida foi projetada para realizar a leitura do arquivo *PLY* diretamente a partir do armazenamento em nuvem, utilizando internamente os recursos disponibilizados pela biblioteca **ply-js**(SILVA, 2026). Durante esse processamento, são extraídas propriedades geométricas fundamentais do modelo tridimensional, incluindo a quantidade de vértices, número de faces, centróide geométrico, dimensões espaciais e volume aproximado.

Entre os principais cálculos realizados automaticamente destacam-se:

- cálculo da *Axis-Aligned Bounding Box* (AABB);
- cálculo do centróide geométrico;
- determinação da altura total do modelo;
- estimativa de volume a partir das faces triangulares;
- estimativa de massa corporal baseada no volume obtido.

Esses cálculos são executados por um módulo específico de análise geométrica, permitindo transformar o arquivo bruto em dados estruturados de interesse analítico.

Após a extração dessas informações, os resultados são persistidos em banco relacional hospedado em Amazon RDS, onde cada registro passa a representar um conjunto completo de metadados associados ao arquivo processado. Essa persistência inclui informações de rastreabilidade, como identificador da execução da Lambda, tempo de processamento, status da operação e possíveis mensagens de erro.

Essa implementação permitiu estabelecer uma arquitetura onde arquivos tridimensionais armazenados em nuvem deixam de ser apenas objetos estáticos e passam a integrar um fluxo analítico automatizado, aproximando o sistema do conceito de data warehouse aplicado à computação gráfica.

Além disso, o projeto foi estruturado em arquitetura monorepo, separando responsabilidades entre a camada de processamento em nuvem, o módulo de persistência de dados e a biblioteca de processamento geométrico, o que favorece manutenção, escalabilidade e evolução futura da solução.

Portanto, os modelos gerados passam a atuar como representações digitais persistentes dos indivíduos escaneados, aproximando-se do conceito de digital twin aplicado ao contexto de provedores virtuais.

## 5.2.3 Métricas

### 5.2.3.1 Performance com Modelo Real

Os testes foram executados com um modelo 3D real de avatar humano de um voluntário, com as seguintes características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do Modelo de Teste

Propriedade	Valor
Tamanho do arquivo	1.522,15 KB
Formato	Binário PLY
Número de vértices	41.012
Número de faces	82.026
Dimensões (X × Y × Z)	622,5 × 1.467,8 × 1.181,1 unidades
Volume calculado	0,061025 m <sup>3</sup>
Massa estimada	60,11 kg
Altura do modelo	1,478 m

Os atributos apresentados na Tabela 1 demonstram a capacidade do sistema em transformar arquivos tridimensionais brutos em dados estruturados passíveis de análise, aproximando a arquitetura implementada de um ambiente de data warehouse aplicado à computação gráfica.

### 5.2.3.2 Resultados de Desempenho

A Tabela 2 apresenta os resultados de múltiplas execuções do processamento do modelo.

Tabela 2 – Resultados de Performance - 3 Execuções

Métrica	Valor	Unidade
Tempo médio de processamento	190,3	ms
Melhor tempo	182	ms
Pior tempo	203	ms
Variação (desvio)	21	ms
Taxa de processamento média	207.131	vértices/seg
Taxa mínima	202.030	vértices/seg
Taxa máxima	225.341	vértices/seg
Meta definida (>50K v/s)	<b>ATINGIDA</b>	

Esse desempenho evidencia que a arquitetura proposta é capaz de processar modelos tridimensionais de média complexidade em tempo inferior a 300 milissegundos, tornando viável sua utilização em fluxos automatizados de processamento em nuvem.

### 5.2.3.3 Análise Estatística

A partir dos dados coletados, podemos calcular:

$$\text{Média} = \frac{203 + 186 + 182}{3} = 190,33 \text{ ms} \quad (5.1)$$

$$\text{Desvio Padrão} = \sqrt{\frac{(203 - 190,33)^2 + (186 - 190,33)^2 + (182 - 190,33)^2}{3}} \approx 10,97 \text{ ms} \quad (5.2)$$

$$\text{Coeficiente de Variação} = \frac{10,97}{190,33} \times 100\% \approx 5,76\% \quad (5.3)$$

O baixo coeficiente de variação (5,76%) indica alta consistência e previsibilidade no desempenho do sistema.

### 5.2.3.4 Classificação de Complexidade de Modelos

O sistema implementa classificação automática de modelos 3D baseada na contagem de vértices, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação de Complexidade de Avatares

<b>Categoria</b>	<b>Vértices</b>	<b>Throughput</b>	<b>Aplicação</b>
Low-poly	< 10.000	20.000 v/s	Jogos mobile, VR
Medium-poly	10.000 - 50.000	50.000 v/s	Jogos PC, apps
High-poly	50.000 - 100.000	62.500 v/s	Desktop, VR
Ultra high-poly	> 100.000	75.000 v/s	Cinema, VFX

O modelo de teste com 41.012 vértices é classificado como **Medium-poly**, adequado para uso em jogos e aplicações interativas, logo viável para o cenário de provedor virtual.

### 5.2.3.5 Análise de Densidade de Vértices

A densidade de vértices é calculada pela fórmula:

$$\rho = \frac{N_{\text{vértices}}}{V_{\text{modelo}}} \quad (5.4)$$

Para o modelo de teste:

$$\rho = \frac{41.012 \text{ vértices}}{0,061025 \text{ m}^3} \approx 672.000 \text{ vértices/m}^3 \quad (5.5)$$

Esta alta densidade indica um modelo detalhado e adequado para representações realistas de avatares humanos.

### 5.3 Resultado final do Pipeline de Processamento

O fluxo de processamento completo, ilustrado na Figura 8, inclui as seguintes etapas:

1. **Upload:** Arquivo PLY enviado para bucket S3
2. **Trigger:** Evento S3 dispara função Lambda
3. **Validação:** Verificação de formato e integridade do arquivo
4. **Parse:** Leitura e interpretação do formato PLY
5. **Análise Geométrica:** Cálculo de propriedades espaciais
6. **Extração de Metadados:** Coleta de informações estruturais
7. **Persistência:** Armazenamento no PostgreSQL
8. **JSON Export:** Geração de arquivo de metadados em S3

# 6 Conclusões

## 6.1 Contribuições

O desenvolvimento do projeto apresentou contribuições significativas em várias áreas, destacando-se:

- **Estrutura de Digitalização 3D:** A integração entre a plataforma giratória e os scanners 3D demonstrou ser uma solução eficiente para a captura de avatares detalhados e funcionais, gerando modelos tridimensionais realistas. Essa estrutura pode ser aplicada a diversos contextos que demandam alta precisão, como simulações em provedores virtuais ou outras aplicações na Indústria 4.0.
- **Automatização de Processos:** A organização e integração dos avatares e roupas no data warehouse, utilizando serviços como Amazon S3 e AWS Lambda, mostrou-se eficaz para o armazenamento escalável e processamento automatizado. Isso não apenas centralizou os dados, mas também facilitou sua recuperação e manipulação para uso em simulações.
- **Base para Simulações Realistas:** Os modelos gerados, embora ainda apresentem espaço para melhorias em texturização, são suficientemente detalhados para aplicações práticas em provedores virtuais, permitindo ajustes personalizados de roupas digitalizadas.
- **Conexão com a Indústria 4.0:** O projeto demonstra como tecnologias emergentes podem ser integradas a sistemas de produção e personalização digital, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0 e contribuindo para inovações no setor de moda e e-commerce.
- Destaca-se também como contribuição tecnológica o desenvolvimento e publicação da biblioteca **ply-js**([SILVA, 2026](#)), disponibilizada em repositório público npm, permitindo a leitura, análise e extração automatizada de propriedades geométricas de arquivos PLY em ambiente TypeScript.

A publicação da biblioteca **ply-js**([SILVA, 2026](#)) e a implementação do pipeline completo demonstram que o trabalho produziu não apenas um modelo conceitual, mas também uma solução técnica reutilizável em contextos acadêmicos e industriais.

## 6.2 Limitações

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações foram identificadas no decorrer do projeto:

- **Resolução Textural:** Embora a geometria do avatar seja precisa, a qualidade da texturização é limitada, dificultando uma experiência visual completamente realista no provador virtual. Isso se deve à falta de sensores RGB de alta resolução no processo de captura.
- **Ruídos na Captura:** Pequenas imperfeições foram detectadas em algumas áreas do avatar, resultantes de ruídos durante o escaneamento. Esses ruídos impactam minimamente a geometria, mas podem ser perceptíveis em simulações detalhadas.
- **Dependência de Infraestrutura Física:** A plataforma giratória e os scanners, embora eficientes, exigem um ambiente controlado para funcionarem adequadamente, incluindo iluminação consistente e espaço suficiente, o que limita sua portabilidade e utilização fora do laboratório.
- **Limitação no Processamento em Tempo Real:** A integração entre a captura e o data warehouse ainda não é completamente automatizada em tempo real, havendo um intervalo entre a digitalização e a disponibilização dos modelos processados no sistema.
- Além disso, algumas estimativas geométricas, como volume e massa corporal, ainda dependem de calibração específica associada ao equipamento utilizado, podendo apresentar variações conforme a qualidade do escaneamento e as características dos sensores empregados.

## 6.3 Trabalhos Futuros

Com base nas limitações identificadas e no potencial de evolução do projeto, sugerem-se as seguintes direções para trabalhos futuros:

### 6.3.1 Melhorias Físicas e de Equipamentos

- **Digitalização de Roupas em Alta Resolução:** Complementar o sistema com scanners dedicados a roupas, permitindo capturar não apenas a geometria, mas também texturas e propriedades físicas detalhadas dos tecidos.
- **Integração em Tempo Real:** Automatizar a integração entre os scanners, a plataforma giratória e o data warehouse para que os avatares sejam gerados e disponibilizados em tempo real para as simulações.

- Aplicações Fora do Laboratório: Desenvolver versões mais portáteis e acessíveis do sistema de captura, possibilitando seu uso em ambientes externos, como lojas de varejo ou estúdios móveis.

### 6.3.2 Melhorias no Sistema e Software

- Aprimoramento da Qualidade Textural: A integração de câmeras RGB de alta resolução ou a aplicação de algoritmos de inteligência artificial para reconstrução textural pode melhorar significativamente o realismo visual dos avatares.
- Pós-processamento Automatizado: Implementar algoritmos que reduzam ruídos e suavizem imperfeições diretamente no fluxo de trabalho, possibilitando que os avatares sejam finalizados automaticamente após a captura.
- Simulações Avançadas no Provedor Virtual: Expandir a capacidade de simulação para incluir comportamentos dinâmicos de tecidos, como elasticidade e movimento, utilizando engines de física mais robustas.
- Expansão do Data Warehouse: Incorporar análises preditivas utilizando dados armazenados, como preferências de estilo dos usuários, para recomendar ajustes de roupas personalizados ou prever tendências de moda.
- Expandir a biblioteca desenvolvida para suportar outros formatos tridimensionais amplamente utilizados, como OBJ, STL e GLTF, além de incorporar rotinas de correção automática de malhas e reconstrução geométrica mais avançada.

## 6.4 Considerações finais

Diferentemente de abordagens tradicionais em que arquivos tridimensionais permanecem apenas armazenados para visualização, neste trabalho os modelos passam a ser tratados como fonte de dados analíticos, com extração automatizada de atributos geométricos relevantes.

Os testes realizados permitiram validar a viabilidade técnica da arquitetura proposta, tanto na etapa de captura física quanto no processamento automatizado em nuvem. Dessa forma, o trabalho demonstrou a viabilidade de integrar captura tridimensional, processamento geométrico, computação em nuvem e armazenamento analítico em uma arquitetura única aplicada ao contexto de provedores virtuais, estabelecendo uma base concreta para futuras evoluções no uso de gêmeos digitais aplicados ao setor têxtil.

# Referências

Amazon Web Services. *O que é a Internet das Coisas (IoT)?* 2024. Acesso em: 26 abr. 2026. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/iot/>>. Citado na página 4.

AMAZON WEB SERVICES. *O que é o Amazon Lambda?* 2024. Accessed: 2024-11-04. Disponível em: <[https://docs.aws.amazon.com/pt\\_br/lambda/latest/dg/welcome.html](https://docs.aws.amazon.com/pt_br/lambda/latest/dg/welcome.html)>. Citado na página 12.

AMAZON WEB SERVICES. *O que é o Amazon S3?* 2024. Accessed: 2024-11-04. Disponível em: <[https://docs.aws.amazon.com/pt\\_br/AmazonS3/latest/userguide/Welcome.html#:~:text=do%20Amazon%20S3,-,Como%20funciona%20o%20Amazon%20S3,dados%20como%20objetos%20em%20buckets](https://docs.aws.amazon.com/pt_br/AmazonS3/latest/userguide/Welcome.html#:~:text=do%20Amazon%20S3,-,Como%20funciona%20o%20Amazon%20S3,dados%20como%20objetos%20em%20buckets)>. Citado na página 12.

Amazon Web Services. *O que é um data warehouse?* 2024. Acesso em: 25 abr. 2026. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is/data-warehouse/>>. Citado na página 3.

ASHTARI, B. et al. An architecture of an intelligent digital twin in a cyber-physical production system. *at - Automatisierungstechnik*, v. 67, p. 762–782, 09 2019. Citado na página 5.

BOROTTO, V. A. D. S. *ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE SENSORES RGB-D PARA ESTIMAÇÃO DE POSES ANTROPOMÉTRICAS*. TCC — UFABC, 2024. Disponível em: <<https://laob.pesquisa.ufabc.edu.br/project32.html>>. Citado na página 15.

FRANCA, J. et al. A 3d scanning system based on laser triangulation and variable field of view. In: *IEEE International Conference on Image Processing 2005*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, p. I-425. Citado na página 15.

GROETELAARS, N.; AMORIM, A. Tecnologia 3d laser scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos 3d laser scanning technology: characteristics, processes and point cloud tools. In: . [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 9.

HRIBERNIK, K. et al. The product avatar as a product-instance-centric information management concept. *International Journal of Product Lifecycle Management*, v. 1, p. 367 – 379, 01 2006. Citado na página 6.

MUBANGA, K. *What is photogrammetry*. 2024. Disponível em: <<https://www.artec3d.com/learning-center/what-is-photogrammetry>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.

ORBEC. *Astra Mini S - Orbbec 3D Camera*. 2024. Accessed: 2024-11-04. Disponível em: <<https://store.orbbec.com/products/astra-mini-s>>. Citado na página 19.

ORBEC. *Astra Stereo S U3 - Orbbec 3D Camera*. 2024. Accessed: 2024-11-04. Disponível em: <<https://store.orbbec.com/products/astra-stereo-s-u3>>. Citado na página 18.

SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; BONILLA, S. H. *Indústria 4.0*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 5.

- SADDIK, A. E. Digital twins: The convergence of multimedia technologies. *IEEE MultiMedia*, v. 25, n. 2, p. 87–92, 2018. Citado na página 5.
- SIERRA, I. d. S.; OKIMOTO, M. L. Proposta de protocolo de análise da malha escaneada (map). *Design e Tecnologia*, v. 11, n. 22, p. 83–92, jun 2021. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/857>>. Citado na página 10.
- SILVA, G. *ply-js: TypeScript library for PLY mesh processing*. 2026. <<https://www.npmjs.com/package/ply-js>>. Citado 4 vezes nas páginas 28, 29, 30 e 34.
- TAUBIN, G.; MORENO, D.; LANMAN, D. 3d scanning for personal 3d printing: build your own desktop 3d scanner. In: *ACM SIGGRAPH 2014 Studio*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014. (SIGGRAPH '14). ISBN 9781450329774. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/2619195.2656314>>. Citado na página 8.
- VILLA, C.; JACOBSEN, C. The application of photogrammetry for forensic 3d recording of crime scenes, evidence and people. In: \_\_\_\_\_. *Essentials of Autopsy Practice: Reviews, Updates and Advances*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 1–18. ISBN 978-3-030-24330-2. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-030-24330-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24330-2_1)>. Citado na página 8.
- YAMADA, F. M.; GOIS, J. P.; TAKAHASHI, H. The rise of ai-generated anime avatars: Trends, challenges, and opportunities. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2026. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 15.
- YE, P.; SU, M. Framework and taxonomy of understanding metaverse and a case study of ai-driven and digital twin-based clothing customization system. In: XING, C.; LAI, J.; ZHANG, L.-J. (Ed.). *Metaverse – METAVERSE 2024*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 81–94. ISBN 978-3-031-76977-1. Citado na página 15.