



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

**Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Computação e Sistemas**

**Animação gráfica da marcha humana
com dados coletados pelo sensor
Kinect**

Edmo de Oliveira Leite

**TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO**

ORIENTAÇÃO:

Glauco Ferreira Gazel Yared

COORIENTAÇÃO:

Gilda Aparecida de Assis

**Setembro, 2021
João Monlevade–MG**

Edmo de Oliveira Leite

Animação gráfica da marcha humana com dados coletados pelo sensor Kinect

Orientador: Glauco Ferreira Gazel Yared

Coorientador: Gilda Aparecida de Assis

Monografia apresentada ao curso de Engenharia da Computação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Universidade Federal de Ouro Preto

João Monlevade

Setembro de 2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L533a Leite, Edmo de Oliveira .
Animação gráfica da marcha humana com dados coletados pelo sensor Kinect. [manuscrito] / Edmo de Oliveira Leite. - 2021.
78 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Glauco Ferreira Gazel Yared.
Coorientadora: Profa. Dra. Gilda Aparecida de Assis.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia de Computação .

1. Animação por computador. 2. Computação gráfica . 3. Kinect (Controlador programável) . 4. Marcha humana. I. Assis, Gilda Aparecida de. II. Yared, Glauco Ferreira Gazel. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 004.92

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



FOLHA DE APROVAÇÃO

Edmo de Oliveira Leite

Animação gráfica da marcha humana com dados coletados pelo sensor Kinect

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação

Aprovada em 01 de setembro de 2021.

Membros da banca

Doutor - Glauco Ferreira Gazel Yared - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutora - Gilda Aparecida de Assis - Co-Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor - Bruno Rabello Monteiro - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor - Marlon Paolo Lima - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Glauco Ferreira Gazel Yared, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/10/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Glauco Ferreira Gazel Yared, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/10/2021, às 18:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0228178** e o código CRC **6991E17B**.

Dedico este trabalho a DEUS, o meu Pai Celestial, que me auxiliou a chegar até aqui, me ajudando sempre em todos os momentos. Por isto com um sentimento de gratidão no coração dedico este trabalho a Ele.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a DEUS por me dar forças para chegar até aqui e vencer os obstáculos que encontrei no percurso. Agradeço também a minha família, minha mãe que sempre me via estudando e me dava o apoio necessário para alcançar o objetivo e ao meu irmão Geraldo Alvim por me incentivar aos longos períodos de estudo. A minha noiva que com paciência suportou a minha ausência em horas na frente do computador executando esta pesquisa.

Ao professor orientador Doutor Glauco Ferreira Yared que me deu todo apoio neste trabalho, me incentivando sempre a ir além, entendendo as limitações que tive ao longo das pesquisas. A professora coorientadora Doutora Gilda Aparecida de Assis que com todo apoio me direcionada nas pesquisas sobre Computação Gráfica e pelo direcionamento as pessoas corretas que puderam me apoiar para alcançar o objetivo.

Ao professor Doutor Marlon Paolo Lima e professor Doutor Bruno Rabello Monteiro que com sabedoria me instruíram a realizar modificações ao longo das pesquisas para que o trabalho pudesse alcançar uma excelência.

Agradeço também aos meus colegas de turma que me deram o apoio moral para continuar as pesquisas nos momentos em que comentava com eles "está difícil, não darei conta".

Enfim, são palavras que me emocionam somente ao escrever.

“Você pode sonhar, criar, desenhar e construir o lugar mais maravilhoso do mundo. Mas é necessário ter pessoas para transformar seu sonho em realidade.”

— Walt Disney (1901 – 1966),
in: The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark.

Resumo

A análise da marcha humana, a partir de suas características biométricas tem sido aplicada em áreas como reabilitação motora, autenticação e identificação de indivíduos de forma não invasiva e de projetos de estruturas robóticas. Sensores de movimento de baixo custo, como o Kinect, têm sido utilizados para a aquisição dos dados para a análise de marcha. Entretanto, limitações e falhas do equipamento têm gerado dados imprecisos ou ausentes durante a aquisição. Diante desse cenário, o presente trabalho apresenta um estudo da marcha de voluntários, a partir dos dados coletados pelo sensor Kinect 2.0, em uma pesquisa que está em desenvolvimento no Laboratório de ProcSimos da Universidade Federal de Ouro Preto no campus do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Como resultados, foram implementadas animações de um modelo esquelético tridimensional, utilizando os dados originais adquiridos pelo Kinect e também dados processados pelo filtro de média móvel com diferentes parâmetros de janelamento e número de iterações e o filtro de Butterworth com diferente número de ordem e frequência de corte. As animações resultantes foram gravadas como vídeos utilizando dois pontos de vista para cada vídeo, vista isométrica e vista lateral. Os vídeos foram utilizados em uma pesquisa de campo sobre a naturalidade/artificialidade da marcha. Um total de 21 pessoas participaram da pesquisa. A métrica utilizada para a análise dos resultados da pesquisa de campo foi a Mean Opinion Score (MOS).

Palavras chaves: Animação, Kinect, 3D, marcha humana

Abstract

The analysis of human gait, based on its biometric characteristics, has been applied in areas such as motor rehabilitation, authentication and identification of individuals in a non-invasive way and in projects of robotic structures. Low-cost motion sensors, such as Kinect, have been used to acquire data for gait analysis. However, equipment limitations and failures have generated inaccurate or missing data during acquisition. Given this scenario, the present work presents a study of the gait of volunteers, from data collected by the Kinect 2.0 sensor, in a research that is under development at the ProcSimos Laboratory of the Federal University of Ouro Preto on the Instituto de Ouro Preto campus. Exact and Applied Sciences. As a result, animations of a three-dimensional skeletal model were implemented, using the original data acquired by Kinect and also data processed by the moving average filter with different windowing parameters and number of iterations and the Butterworth filter with different order number and frequency of cut. The resulting animations were recorded as videos using two views for each video, isometric view and side view. The videos were used in a field research on the naturalness/artificiality of gait. A total of 21 people participated in the survey. The metric used to analyze the results of the field research was the Mean Opinion Score (MOS).

Keywords: Animation, Kinect, 3D, human gait

Lista de ilustrações

Figura 1 – Captura de movimento	22
Figura 2 – Sensores do kinect	24
Figura 3 – Diferença das câmeras do Kinect	24
Figura 4 – Fases do apoio	26
Figura 5 – Fases do balanço	27
Figura 6 – Filtro de média móvel	28
Figura 7 – Filtro de Butterworth	29
Figura 8 – Metodologia Aplicada	31
Figura 9 – Movimentação dos membros inferiores	33
Figura 10 – Utilização do uso da matriz	34
Figura 11 – Hierarquia dos membros inferiores	35
Figura 12 – Modelo Esquelético 3D	36
Figura 13 – Modelo Esquelético 3D	36
Figura 14 – Posicionamento do sensor Kinect	37
Figura 15 – Pré-processamento	38
Figura 16 – Viewport dos gráficos	39
Figura 17 – Viewport do modelo	39
Figura 18 – Viewport das legendas	40
Figura 19 – Aplicação do filtro de média móvel	42
Figura 20 – Gráfico de Processamento Ideal	43
Figura 21 – Distribuição F	51
Figura 22 – Animação sem processamento - Vista Isométrica	55
Figura 23 – Animação sem processamento - Vista Lateral	56
Figura 24 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 1 repetições - Vista Isométrica	56
Figura 25 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 1 repetições - Vista Lateral	57
Figura 26 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 3 repetições - Vista Isométrica	57
Figura 27 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 3 repetições - Vista Lateral	58
Figura 28 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 5 repetições - Vista Isométrica	58
Figura 29 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 5 repetições - Vista Lateral	59

Figura 30 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 1 repetições - Vista Isométrica	59
Figura 31 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 1 repetições - Vista Lateral	60
Figura 32 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 3 repetições - Vista Isométrica	60
Figura 33 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 3 repetições - Vista Lateral	61
Figura 34 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 5 repetições - Vista Isométrica	61
Figura 35 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 5 repetições - Vista Lateral	62
Figura 36 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 1 repetições - Vista Isométrica	62
Figura 37 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 1 repetições - Vista Lateral	63
Figura 38 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 3 repetições - Vista Isométrica	63
Figura 39 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 3 repetições - Vista Lateral	64
Figura 40 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 5 repetições - Vista Isométrica	64
Figura 41 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 5 repetições - Vista Lateral	65
Figura 42 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 1 repetições - Vista Isométrica	65
Figura 43 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 1 repetições - Vista Lateral	66
Figura 44 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 3 repetições - Vista Isométrica	66
Figura 45 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 3 repetições - Vista Lateral	67
Figura 46 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 5 repetições - Vista Isométrica	67
Figura 47 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 5 repetições - Vista Lateral	68
Figura 48 – Processamento Ideal - Vista Isométrica	68
Figura 49 – Processamento Ideal - Vista Lateral	69

Figura 50 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 0.5 - Vista Isométrica	69
Figura 51 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 0.5 - Vista Lateral	70
Figura 52 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 1.0 - Vista Isométrica	70
Figura 53 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 1.0 - Vista Lateral	71
Figura 54 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 2.0 - Vista Isométrica	71
Figura 55 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 2.0 - Vista Lateral	72
Figura 56 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 0.5 - Vista Isométrica	72
Figura 57 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 0.5 - Vista Lateral	73
Figura 58 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 1.0 - Vista Isométrica	73
Figura 59 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 1.0 - Vista Lateral	74
Figura 60 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 2.0 - Vista Isométrica	74
Figura 61 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 2.0 - Vista Lateral	75

Lista de tabelas

Tabela 1 – Parâmetros utilizados pelo filtro de média móvel	41
Tabela 2 – Parâmetros utilizados pelo filtro de Butterworth	41
Tabela 3 – Avaliação MOS	44
Tabela 4 – Escala para avaliação da marcha humana	45
Tabela 5 – Respostas do vídeo #33	47
Tabela 6 – Respostas do vídeo #39	48
Tabela 7 – Respostas do vídeo #1	48
Tabela 8 – Respostas do vídeo #11	48
Tabela 9 – Respostas do vídeo #18	49
Tabela 10 – Respostas dos vídeos	49

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	O problema de pesquisa	16
1.2	Objetivo geral	16
1.2.1	Objetivos específicos	16
1.3	Organização do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Trabalhos correlatos	18
2.2	Animação computacional	19
2.3	Métodos de captura de movimento	20
2.4	Sensor de movimento <i>Kinect</i>	23
2.5	Marcha Humana	24
2.5.1	Apoio	25
2.5.2	Balanço	26
2.6	Filtros	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Levantamento e Seleção das Ferramentas de Desenvolvimento	31
3.2	Repositório do Projeto	32
3.3	Implementação do Modelo 3D	33
3.4	Captura de Movimento	36
3.5	Animação do Modelo 3D	38
3.6	Aplicação de filtros	40
3.7	Geração dos vídeos das animações	42
3.7.1	Processamento ideal	42
3.8	Pesquisa de campo	44
3.8.1	Público da pesquisa	45
3.9	Análise dos resultados	45
4	RESULTADOS	46
4.1	Questão 01 - Escala de Naturalidade/Artificialidade	46
4.2	Questão 02 - Qualidade Geral do Vídeo	46
4.3	Questão 03 - Artefatos de Artificialidade	47
4.4	Avaliação segundo a técnica MOS	47
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	52

5.1	Perspectivas Futuras	52
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICE A – RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO	55

1 Introdução

A análise da marcha humana, a partir de dados biométricos tem sido explorada em diversas áreas como a autenticação e a identificação do indivíduo pela caminhada, estudo e o tratamento de patologias relacionadas à locomoção humana e projeto de estruturas robóticas. Sensores de movimento de baixo custo têm permitido a aquisição de dados biométricos da marcha para posterior extração de parâmetros dinâmicos da marcha. Entretanto, esses equipamentos têm limitações que podem impactar a qualidade dos dados adquiridos. Nesse contexto, as aplicações de diferentes técnicas de processamento de sinais podem melhorar a qualidade dos dados (TAKEDA et al., 2014).

Com a utilização de recursos computacionais de animação gráfica, como modelos esqueléticos humanos 3D, modelos robóticos 3D, criação de cenários gráficos virtuais e diversos recursos é possível “dar vida” aos dados biométricos, o que contribui tornando possível a avaliação da marcha humana (FOSSATTI, 2009). Uma das técnicas utilizadas é a captura de movimento, do inglês *Motion Capture* (MOCAP), que é uma técnica capaz de gravar os movimentos de uma pessoa ou objeto real para posteriormente serem processados por um computador, com a finalidade de gerar movimento em um objeto ou humano no cenário virtual (VICON, 2019). Para esta técnica, existem no mercado diversos equipamentos para realizar o procedimento de captura de movimento, desde equipamentos mais custosos com alta sensibilidade em seus sensores até equipamentos mais acessíveis, como o sensor de movimentos *Kinect*, uma ferramenta da *Microsoft* utilizada para os jogos do Xbox 360. (BORENSTEIN, 2012).

Os sistemas de captura de movimento especializados, com um alto padrão de tecnologia, compreendem equipamentos que capturam informações de movimento do mundo real com o auxílio de roupas apropriadas com refletores óticos e transmissores que são posicionados nas articulações do ator, podendo assim representar a movimentação do corpo humano com precisão nas informações, capturadas com câmeras de alta sensibilidade. Os dados capturados são armazenados em um computador para depois serem processados para efeitos de animação gráfica.(WAGNER, 1998).

Entretanto, o uso de sensores de movimento de baixo custo como o *Kinect* no MOCAP para as animações computacionais, tem tido uma aplicação restrita devido às limitações e falhas do equipamento. Diante desse cenário, o estudo aqui apresentado pretende contribuir para identificar quão natural é a marcha apesar das limitações e se a aplicação de técnicas de processamento de sinais pode afetar a naturalidade/artificialidade da marcha humana.

1.1 O problema de pesquisa

No Laboratório ProcSimos do Icea/Ufop, está em andamento uma pesquisa relacionada a sintetização da marcha humana para projeto de um robô bípede. Com o auxílio do sensor de movimento *Kinect* v2.0 integrado ao *software* Simulink da companhia MathWorks¹, foi realizada a captura do movimento de 20 pessoas caminhando sobre uma esteira durante 2 minutos (TAKEDA et al., 2014).

Após a aquisição e pré-processamento desses dados, vislumbrou-se a necessidade da visualização desses dados em um modelo tridimensional de membro inferior de forma a possibilitar uma análise quanto à sua naturalidade.

Nesse contexto, o presente trabalho busca realizar uma pesquisa de campo quanto à naturalidade/artificialidade da marcha humana a partir dos dados adquiridos anteriormente pelo *Kinect*. Para elaborar o instrumento de coleta de dados da pesquisa de campo, foi necessário primeiramente implementar animações a partir dos dados originais e também a partir de dados processados por diferentes filtros de sinais.

1.2 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar a animação gráfica de um modelo tridimensional com os dados coletados pelo sensor *Kinect*.

1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Criar um modelo esquelético com a utilização da *API OPENGL*²;
- Animar o modelo utilizando os dados adquiridos no experimento realizado no laboratório ProcSimos;
- Suavizar os ruídos dos dados capturados com a utilização de dois filtros;
- Verificar uma prévia dos movimentos em uma simulação gráfica;
- Analisar aspectos de qualidade dos dados adquiridos pelo sensor de movimentos *Kinect*.

¹ <https://www.mathworks.com/>

² <https://www.opengl.org//>

1.3 Organização do trabalho

O restante deste trabalho é organizado como se segue. O [Capítulo 2](#) apresenta uma revisão de conceitos e técnicas que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho, bem como trabalhos correlacionados. A metodologia será apresentada no [Capítulo 3](#), onde é descrito em detalhes o passo a passo para o desenvolvimento deste trabalho. Os resultados foram coletados e apresentados no [Capítulo 4](#). Por fim, as considerações finais são apresentadas [Capítulo 5](#).

2 Revisão bibliográfica

Neste capítulo são apresentados conceitos e técnicas que embasaram o estudo realizado bem como dois trabalhos relacionados.

2.1 Trabalhos correlatos

A maioria dos trabalhos existentes na literatura que consideram a captura de movimento utilizando hardware mais acessíveis têm focado na tecnologia do sensor *Kinect* para realizar estudos, obtendo resultados plausíveis capazes de proporcionar um impacto na sociedade que irão utilizar. Neste sentido, (ALABBASI et al., 2015) publicam um estudo para resolver o problema de rastreamento esquelético de movimento do corpo humano com aplicação em reabilitação médica e treinamento esportivo usando o sensor *Kinect* com um software livre conhecido como *Unreal Engine 4*, a fim de capturar e registrar os dados de rotação e posição de cada articulação e os ângulos entre cada junta de um *personal trainer*. Estes dados foram combinados com uma exibição em tempo real de um personagem 3D virtual, mostrando seus movimentos na tela. O objetivo desta pesquisa era criar um sistema capaz de auxiliar um usuário a realizar exercícios corretamente, comparando os movimentos do usuário final e os dados do profissional, exibindo uma pontuação na tela. A metodologia usada nesta pesquisa foi realizada em 3 etapas. A primeira e a segunda etapas consistiam em gravar a sequência de exercícios realizados por um *personal trainer* com o auxílio do software *Unreal Engine 4*, onde foi realizado um script para registrar 25 pontos do corpo humano, mostrando na tela um personagem 3D. O mesmo foi realizado com os registros de exercícios do usuário final. Então na última etapa os dados de movimento dos dois modelos foram comparados.

O estudo publicado por (ALABBASI et al., 2015) se diferencia da pesquisa aqui proposta, pois o atual trabalho fez uma análise subjetiva com o auxílio da avaliação humana, sendo que o método de avaliação utilizado em (ALABBASI et al., 2015) foi realizado com o auxílio de *personal trainer* que registrou os dados de rotação e posição a fim de combinar com os dados do usuário final para fornecer uma avaliação.

Em 2017, foi publicado um artigo sobre validação de captura de movimento baseada em sensor *Kinect* aprimorado para avaliação de marcha. O objetivo deste trabalho era desenvolver um sistema de rastreamento do movimento baseado em sensores *Kinect v2.0*. Nesta pesquisa, foi comparado a qualidade dos dados capturados com o *Kinect* com os dados que foram capturados por um sistema de alto nível VICON. Este trabalho foi desenvolvido colocando 3 *Kinects* de cada lado para registrar a caminhada de 10 indivíduos em 7 metros. Após esta captura foi utilizado o sistema VICON para capturar o movimento dos mesmos

indivíduos, tendo dados suficiente para comparar os dos sistemas. Após a comparação dos dados foi proposto uma configuração de câmera que contorna as desvantagens da captura de movimento pelo sensor *Kinect* devido aos dados oclusos (MÜLLER et al., 2017).

Este estudo de 2017, por ter um sistema VICON de alto nível se difere desta presente pesquisa em termos da avaliação dos dados capturados, pois o sistema VICON tem precisão de 1 mm o que proporciona uma qualidade nos dados adquiridos, possibilitando uma comparação entre o sistema configurado com o *Kinect*.

Outro trabalho correlacionado, foi publicado em 2015 e seu objetivo é a análise e visualização da marcha humana com os dados capturados com o sensor não intrusivo *Kinect*. O objetivo deste trabalho é avaliar com o SVM (Suport Vector Machine) os dados capturados em anormal e normal. Para realizar este trabalho os autores capturaram os dados de indivíduos caminhando em direção ao sensor *Kinect*. Os dados capturados foram processados com o filtro B-Spline e logo após os melhores ciclos da marcha capturada foram armazenados, onde foi treinado um SVM, que fosse capaz de avaliar as próximas entradas de dados capturados pelo sensor como normal e anormal. Os seus resultados foram aproximadamente 88% de acurácia (DAO et al., 2015).

Este trabalho publicado em 2017 utiliza métodos de aprendizagem de máquina capazes de avaliar os novos dados capturados com o sensor, em normal e anormal. Utilizando os próprios dados de entrada para realizar o treinamento do SVM, sendo uma principal diferença do presente trabalho que utiliza de métodos subjetivos para a análise dos dados através da animação gráfica de um modelo tridimensional.

2.2 Animação computacional

A animação computacional é uma sequencia de tempo que produzem mudanças visuais em uma sequência de imagens. O que torna a animação gráfica produtos atraentes aos olhos humanos. Para se ter a sensação de movimento na imagem é necessário que a cada atualização da cena tenha no mínimo 24 imagens por segundo, tornando a imagem suave aos olhos humanos. Esta taxa se chama *frames* por segundo (fps). As exibições de animações gráficas ficam entre 24 e 30 fps, algumas animações pode chegar a 60 fps e até mesmo 120 fps. (HEARN; BAKER; BAKER, 2004).

Para compor esta sequência de movimentos, com o auxílio de um computador é possível gerar movimentos alterando a posição do objeto com simples movimentos de translação, rotação e escala. E estes objetos podem ganhar cores e texturas dando “vida” ao objeto (MANSSOUR; COHEN, 2006).

Considera-se que a animação tem sua origem com Walt Disney um empresário visionário que mesmo após sua morte em 1966 seu estúdio nos Estados Unidos, *The Walt*

Disney Company continua sendo uma referência para o público mundial (FOSSATTI, 2009).

A palavra animação vem do latim *animare* que significa o ato de dar vida aos desenhos, dando movimento ao desenho expressando uma nova posição a cada *frame*. No Brasil ganhou o nome de desenho animado e hoje em dia está disponível na televisão e nos sistemas de *streaming* (FOSSATTI, 2009).

As técnicas de animações foram evoluindo e em 1939 surge a segunda longa metragem, “As Viagens de Gulliver” pelos Fleischer Studios, utilizando técnicas de rotoscopia. Esta técnica consiste em filmar a cena e refazer os desenhos baseados nesta filmagem, dando vida a movimentos complexos. E com o passar do tempo a computação gráfica começa a ser inserida no contexto de animação gráfica. Com isto em meados da década de 80 surge a longa metragem “Tron” dos Estúdios Disney que utilizou das técnicas de computação gráfica para sua produção (FOSSATTI, 2009).

A evolução dos equipamentos de hardware, juntamente com a evolução dos softwares, permitiu o avanço da animação computacional e assim o surgimento de novos estúdios como a Pixar. E com estes avanços foi possível proporcionar a criação de modelos em três dimensões, popularmente conhecido como 3D. Surgindo a primeira animação conhecida como “Luxo Jr” e a curta metragem “Tin Toy”, ambos totalmente 3D dos estúdios Pixar (HEARN; BAKER; BAKER, 2004).

Em 1995 a Pixar e a Disney firmam uma parceria onde surge a primeira longa metragem totalmente animada por computador conhecida como “Toy Story” o que proporcionou ao diretor John Lasseter um Oscar Especial pelas contribuições no mundo das Artes Cinematográficas. Sendo que em 2000 a academia de Artes e Ciências Cinematográfica cria uma nova categoria do Oscar voltado para filmes de animação. E com estes avanços a animação computacional chegou à complexidade atual incorporando tecnologias de alta *performance* em *hardware* e *softwares* capazes de processar animações de alta qualidade em um curto espaço de tempo (MANSSOUR; COHEN, 2006).

A animação computacional pode utilizar técnicas de captura de movimento (MOCAP), utilizando receptores e transmissores em seres humanos para realizar movimentos complexos em modelos tridimensionais que podem ser animados em cenários 3D. Estas técnicas de MOCAP podem utilizar diversos equipamentos para realizar este processo, sendo amplamente utilizados nas animações atuais. (HEARN; BAKER; BAKER, 2004).

2.3 Métodos de captura de movimento

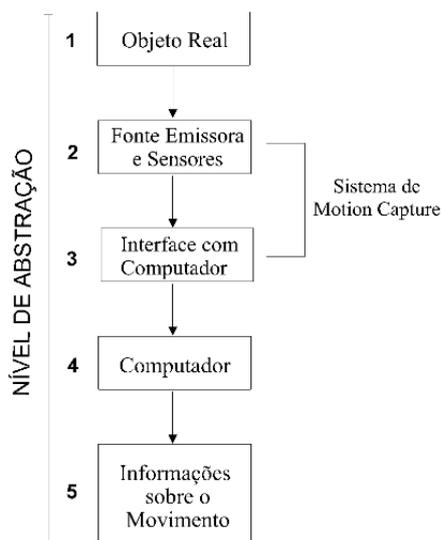
A evolução dos computadores aliada a técnicas de animação semi-automática como a técnica de *keyframing*, que são imagens estáticas dentro de uma sequência de tempo,

tornaram possível realizar a interpolação dos quadros. Porém existem movimentos no mundo real que são difíceis de serem obtidos por meio da técnica de *keyframing*, como por exemplo a caminhada humana ou marcha humana, uma vez que este movimento tem muitas articulações que precisam estar conectadas entre si, então a solução mais utilizada tem sido capturar os movimentos reais e inseri-los em um modelo 3D (SILVA; OLIVEIRA, 1996).

A captura de movimento ou MOCAP consistem em sistemas capazes de capturar os movimentos em um mundo real ou físico e transportá-los para um objeto 3D criado em um mundo 3D pelo computador. O mais comum para realizar o sistema de captura é vestir a pessoa ou animal com um roupa especial onde são inseridos nas articulações refletores ópticos ou transmissores magnéticos. E o movimento destes objetos são capturados com o auxílio de câmeras especiais capazes de capturarem os movimentos e armazená-los como uma série temporal nos computador.

A Figura 1 ilustra o processo de captura de movimento. O primeiro passo para a captura de movimento é o objeto real que pode ser uma pessoa se movimentando. O segundo passo é o conjunto de emissores e sensores que são posicionados ao longo do cenário e em alguns casos alguns sensores são posicionados nas articulações do individuo a ser capturado. Estes sensores e emissores interligados a uma interface de computador, como exemplo o sensor *Kinect* que é interligado ao computador com o auxílio do Kit de Desenvolvimento da *Microsoft*. Após esta ligação temos as informações sobre o movimento que geralmente são extensas tabelas contendo a posição do objeto no espaço tridimensional e os movimentos das articulações em valores angulares (SILVA; OLIVEIRA, 1996).

Figura 1 – Captura de movimento



(SILVA; OLIVEIRA, 1996)

Existem 4 métodos de captura de movimento. São eles: acústicos, mecânicos, óticos e magnéticos.

O método acústico de MOCAP é um conjunto de emissores sonoros que são colocados nas articulações da pessoa ou animal e que são capturados com 3 receptores. Os transmissores produzem um sinal capturado pelos receptores a partir do qual é possível realizar os cálculos das posições das articulações.

Um dos efeitos indesejados deste método de captura é a utilização de cabos o que prejudica a movimentação dos atores, o que deixa limitado no uso de transmissores, logo a precisão dos movimentos é insuficiente.

O método mecânico utiliza como transmissores os potenciômetros que são posicionados também nas articulações fornecendo posições e orientações sobre a pessoa ou animal. (SILVA; OLIVEIRA, 1996)

Uma das vantagens deste modelo de captura é que não são afetados por campos magnéticos ou reflexões indesejadas o que é um problema nos sistemas magnéticos e óticos. Isto torna a captura de movimento pelos sistemas mecânicos mais fáceis, sendo que outra vantagem deste método de captura é que a taxa de *frames* por segundo (fps), pode chegar a 120 fps (MOTION, 2021).

O sistema de captura ótico consiste em vestir a pessoa com uma roupa que tem emissores de diodo emissor de luz (led) posicionados nas articulações. E assim câmeras especiais são posicionadas para realizar a gravação, capturando seus movimentos através do

posicionamento dos leds. Este conjunto de posições dos leds é analisado por um computador que fornece as coordenadas 3D do movimento. Geralmente os sistemas óticos são mais custosos chegando até U\$250.000,00 (VICON, 2019).

O método magnético funciona com o posicionamento de alguns transmissores nas articulações dos atores e estes transmissores emitem pulsos que são capturados pelos receptores que medem a posição 3D das articulações no momento da captura (MOTION, 2021).

Uma das vantagens deste método de captura é que ele necessita de baixo poder computacional para processar os dados o que facilita uma captura com os dados a no máximo 100 fps. Porém não são indicados para sistema de capturas sofisticados, uma vez que este modelo utiliza diversos cabos conectados nos transmissores.

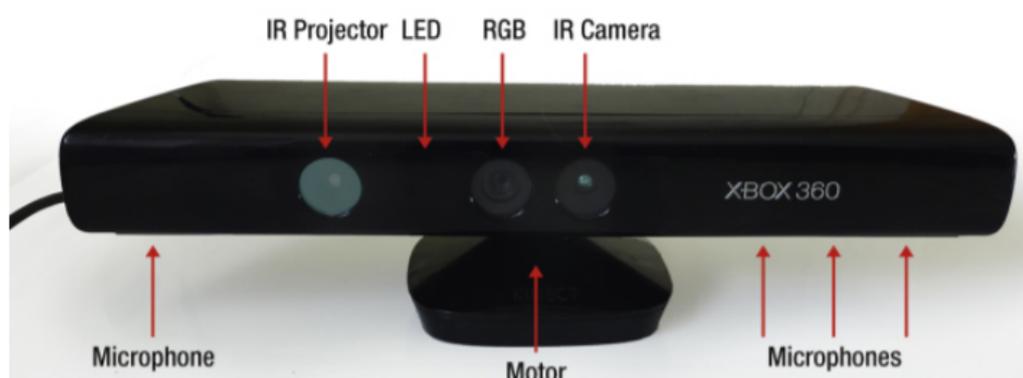
2.4 Sensor de movimento *Kinect*

Com a evolução das tecnologias e o surgimento de novas técnicas e equipamentos para MOCAP, surgiram sistemas capazes de realizar a captura de movimento que diminui o custo total do processo, pois somente utilizam uma câmera ou sensor de profundidade para o MOCAP. Um exemplo dessa nova tecnologia de MOCAP é o *Microsoft Kinect*.

O equipamento *Kinect* foi apresentado pela empresa *Microsoft* no dia primeiro de junho de 2009, inicialmente conhecido como um projeto de natal que posteriormente em 13 de junho de 2010 foi mudado para *Kinect* e lançado em 4 de novembro de 2010.

A arquitetura de hardware do sensor *Kinect* é composta por uma câmera RGB, um sensor de profundidade com um laser infravermelho e um microfone acústico com uma tecnologia de eliminar os ruídos, portanto, ele utiliza métodos óticos e acústicos para MOCAP. E para a comunicação entre o hardware e o computador, em 2011 a *Microsoft* lançou um kit de desenvolvimento para uso. As indicações dos componentes do *Kinect* são apresentadas na [Figura 2](#).

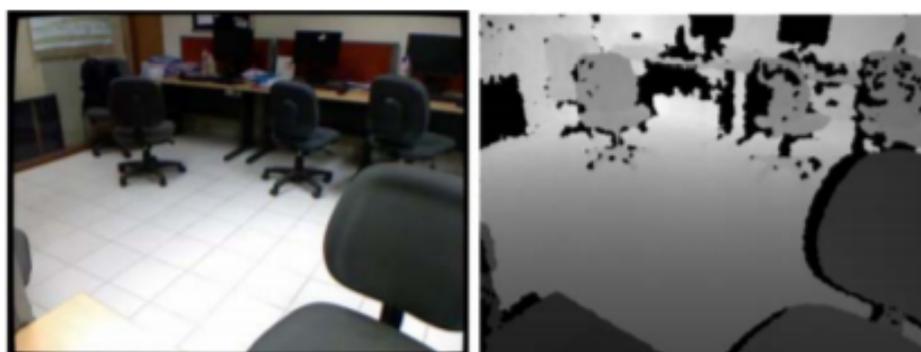
Figura 2 – Sensores do kinect



(MELGAR; DIEZ, 2012)

A diferença entre a câmera RGB e a câmera de profundidade do *Kinect* pode ser observada na [Figura 3](#) que mostra a mesma cena vista pelas duas câmeras. A vantagem da câmera de profundidade é que ela trabalha com pouca luz, o que permite ignorar o fator cor para este modelo. O principal objetivo da câmera de profundidade é indicar a distância do objeto em relação ao sensor.

Figura 3 – Diferença das câmeras do Kinect



(WANG, 2018)

2.5 Marcha Humana

O movimento da marcha humana é uma ação realizada pelo corpo humano que envolve todo o corpo, criando uma atividade no sistema nervoso central, os músculos, os ossos, articulações que se interligam, em sinergia, sendo capazes de produzir um movimento que permite a locomoção do ser humano no ato de caminhar sobre os seus pés. Através

da análise biomecânica da marcha humana é possível identificar algumas anomalias, que ao serem analisadas facilitam a criação de tecnologias que unidas ao ambiente médico proporcionam um sistema de tratamento eficaz (ROSE; GAMBLE, 1998).

A marcha humana pode ser considerada uma sequência de movimentos capazes de produzir um deslocamento em qualquer direção no eixo horizontal do ponto de vista humano. Este movimento acontece sobre os membros inferiores do corpo onde estão as pernas. Quando analisa-se a marcha humana existem dois pontos de apoio que se reparam ao longo do tempo. Quando um dos pés está apoiado ao solo o outro pé está suspenso realizando um movimento aéreo. E a cada passo os membros invertem o movimento (ROSE; GAMBLE, 1998).

Esta sequência de movimentos é considerada cíclica, onde o início do ciclo é o primeiro apoio de um dos pés ao solo até o momento no tempo em que este mesmo pé realiza um novo contato. Com isto, o ciclo da marcha humana é dividido em duas fases, apoio e balanço ou oscilação (SANZ, 2006), que serão descritas nas próximas seções.

2.5.1 Apoio

Esta fase inicia no momento em que um dos pés se apoia ao solo e pode ser compreendida em três momentos:

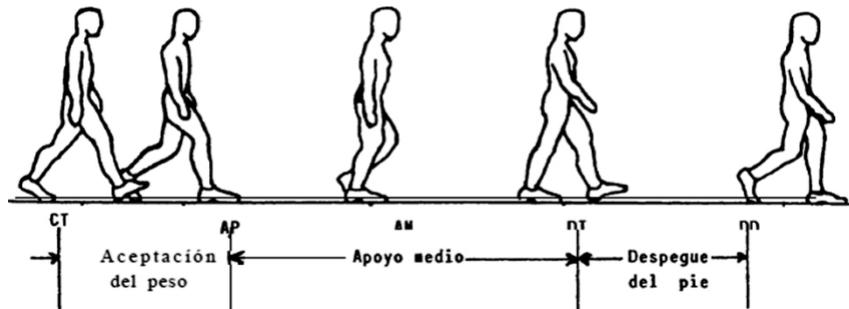
1. **Duplo apoio inicial:** Momento em que os dois pés estão conectados ao solo, permitindo um equilíbrio para todo o corpo. Segundo (ROSE; GAMBLE, 1998) este momento é considerado a fase inicial do ciclo da marcha humana.
2. **Apoio Simples:** É compreendida no momento em que um dos pés está suspenso ao ar, permitindo o avanço dos pés em conjunto com a perna, logo todo o peso do corpo estará sobre um dos pés.
3. **Duplo apoio final:** Neste momento é quando o pé que estava oposto toca ao solo, onde o corpo tem dois pés de apoio. Finalizando assim o movimento.

Na fase de apoio, o momento em que o pé toca no solo é considerado um momento bem rápido de no máximo 2% do ciclo. E logo após vem um efeito conhecido como resposta a carga, é neste momento que o corpo está se adaptando para absorver o impacto e criar uma estabilidade relacionada ao peso corporal (SANZ, 2006).

A Figura 4 mostra exatamente a sequência de movimentos relacionado as fases de apoio. A primeira fase da fase de apoio é a adaptação do peso o momento em que um dos pés encontra-se próximo a se apoiar ao solo. A segunda fase do movimento é o apoio médio onde os dois pés se encontram em paralelo tendo o apoio completo de um dos pés. A última etapa da fase de apoio é o desapego do pé, onde o pé que estava completamente

ao solo começa a se levantar. As fases descritas acima se referem a apenas um passo, logo em um movimento contínuo onde se tem vários passos, a fase do apoio simples se repete, até o momento em que a fase de duplo apoio final é alcançada, finalizando o movimento.

Figura 4 – Fases do apoio



Fonte: (SANZ, 2006)

2.5.2 Balanço

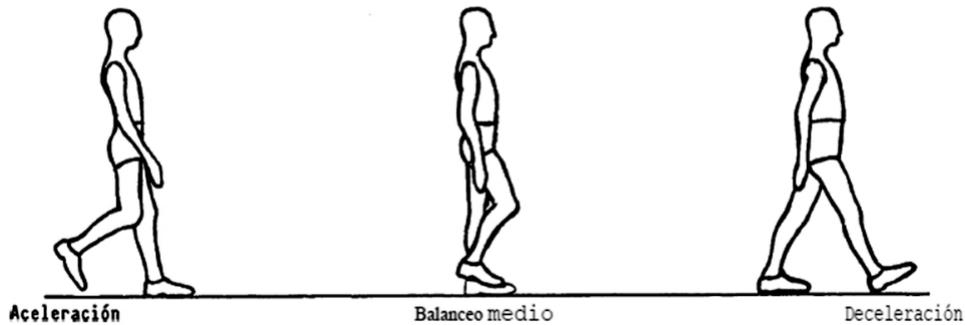
A fase de balanço pode ser compreendida em três períodos. (SANZ, 2006)

1. **Balanço inicial:** Se inicia quando um dos pés que está atrás do eixo principal vertical se solta do solo indo para a frente.
2. **Balanço médio:** Ocorre quando os dois pés estão praticamente em paralelo, neste momento a tíbia está na posição vertical.
3. **Balanço final:** É o último momento do balanço, ela ocorre quando o pé que estava em balanço tem o contato com o solo novamente.

As fases de balanço inicial e médio são consideradas fases de avanço do movimento. Neste momento é criado um impulso o que possibilita o movimento de todo o corpo para frente. A fase inicial do balanço final é considerada a fase de desaceleração do movimento, onde o corpo ou inicia um novo movimento ou entra em repouso.

Para exemplificar a fase de balanço, a [Figura 5](#) mostra a sequência destes movimentos. No momento em que o pé é solto do chão ele entra na primeira etapa da fase de balanço onde um dos pés se encontram suspensos indo para a etapa de balanço médio onde os pés se encontram em paralelo, completando o movimento na desaceleração ou balanço final.

Figura 5 – Fases do balanço



Fonte: (SANZ, 2006)

A duração das fases de apoio varia de acordo com a velocidade do movimento. Segundo os autores (ROSE; GAMBLE, 1998) em uma distância de aproximadamente 1 metro e 30 centímetros, considerando uma pessoa andando rápido, a fase de apoio é 62% do ciclo e a fase do balanço é 38% o que significa que em um movimento mais rápido a pessoa tem mais contato com o solo.

2.6 Filtros

Filtros no domínio temporal ou da frequência podem ser utilizados para o processamento de sinais podendo ser analógicos ou digitais sendo diferentes em seu funcionamento. E estes filtros podem ser construídos com componentes eletrônicos ou podem ser representados através de simuladores computacionais como o Matlab, respectivamente (MOECKE, 2014).

Os filtros em sua generalidade podem ser utilizados para separar um sinal que não são relevantes para o sistema. Para isto é utilizado técnicas para a remoção de ruídos em sinais do sistema sendo capaz de atenuar a saída dos sinais (SILVA et al., 2018).

A classificação dos filtros podem ser filtros passa-baixas que permite a passagem de frequências menores que uma frequência de corte f_c , filtros passa-altas que permite a passagem frequências maiores que uma frequência de corte f_c , filtros passa-banda que permite a passagem de frequências em uma determinada banda e filtros rejeita-banda que rejeitam um determinada frequência (MOECKE, 2014).

O filtro de média móvel é um filtro digital que obtém a média das últimas N amostras, onde N é a janela dos dados do filtro. Sua função é suavizar os picos e vales do sinal.

A utilização do filtro de média móvel pode ser vista na [Figura 6](#), onde os dados originais são representados pela linha em vermelho, enquanto a linha azul mostra os dados processados com um filtro de média móvel.

Figura 6 – Filtro de média móvel



Fonte: [Freitas \(2016\)](#)

Para aplicar o filtro de média móvel simples (MMS) sobre uma janela de dados, é feita a convolução do sinal com o filtro e pode-se calcular com o uso da equações a seguir

$$\bar{p}_i = \frac{p_{i+1} + \dots + p_{i+n}}{n} \quad (2.1)$$

Na equação acima tem-se a média de uma janela conforme o tamanho do n que é o tamanho da janela escolhida para o filtro. Se a janela for muito grande ou se for muito pequena pode-se ter variações indesejáveis na filtragem, para se encontrar o valor do n pode depender da utilização do filtro ([SILVA et al., 2018](#)).

$$MMS = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{i+j} \quad (2.2)$$

Onde:

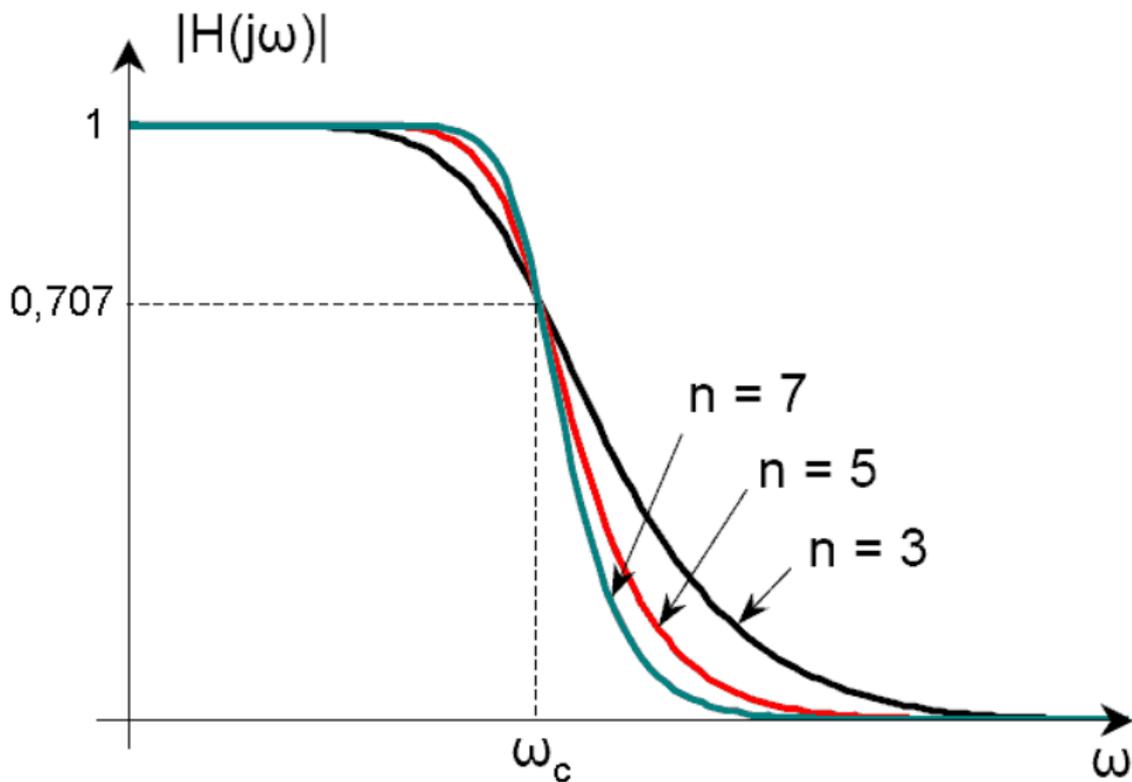
- p é a sequência de dados da janela
- n é a quantidade de elementos na janela

Este filtro é usado para série de elementos observada ao longo do tempo, onde os dados precisam ser suavizados, tendo como aplicação em análise técnica de mercado de ações e processamento de sinais na área de telecomunicações. (SILVA et al., 2018)

O filtro analógico de Butterworth teve sua origem com o engenheiro britânico Stephen Butterworth. Ele foi desenvolvido para ter uma resposta em frequência sem ondulações em sua banda passante. Este filtro pode ser projetado para passar-baixa, passa-alta e passa banda, dependendo de sua aplicação (BUTTERWORTH et al., 1930)

A resposta em frequência do filtro de Butterworth não possui ondulações em sua banda de passagem, pois o seu projeto eletrônico é matematicamente projetado para ter uma resposta em frequência de 0 Hz. A Figura 7 mostra o gráfico do ganho em função da frequência no filtro de Butterworth.

Figura 7 – Filtro de Butterworth



Fonte: Mihai e Mihai (2015)

A Figura 7 exemplifica diversos valores de n representando a ordem do filtro, o eixo x representa a frequência em ω e o eixo y representa a resposta em $H_{j\omega}$ em termos do projeto do filtro matematicamente, quanto maior o valor da ordem do filtro, mais componentes armazenadores de energia como capacitores será preciso para construir o

filtro. Matematicamente, quanto maior o valor de n mais próximo o filtro chega de ser ideal.

A equação matemática que representa o filtro de Butterworth pode ser representada na [Equação 2.3](#), onde o ganho do filtro pode ser considerado como 1 ou um filtro sem ganho.

$$H_{(j\omega)} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2n}}} \quad (2.3)$$

Onde:

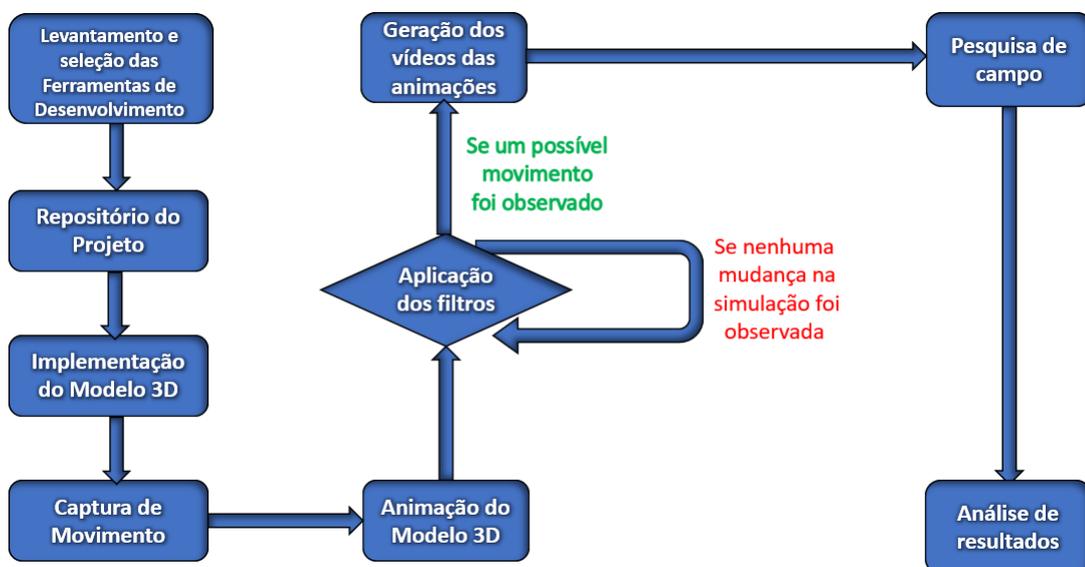
- n representa a ordem do filtro
- ω representa a frequência angular em rad/s
- ω_p representa a frequência de corte que pode ser igual a $2\pi f$
- ε representa o ganho máximo da banda passante.

3 Materiais e Métodos

Os passos para o desenvolvimento deste trabalho são mostrados na [Figura 8](#). O primeiro passo para a execução deste trabalho foi o levantamento e seleção das ferramentas de desenvolvimento, seguido da criação do repositório do projeto em *GitHub* para facilitar a programação da pesquisa. Então uma implementação do modelo 3D simplificado de um ser humano foi realizada. Após esta implementação foi realizado o pré-processamento dos dados capturados pelo sensor *Kinect* para que fossem inseridos no modelo 3D e animados.

Para melhorar os dados capturados foram realizados a aplicação de dois filtros, que mudando seus parâmetros foram capazes de suavizar os dados capturados. Neste processo houve muitas variações dos parâmetros que geraram vídeos das animações. E para avaliar os resultados foi realizada uma pesquisa de campo capaz de coletar dados subjetivos através da técnica de *mean opinion score* (MOS).

Figura 8 – Metodologia Aplicada



Fonte: Autoria própria (2021)

3.1 Levantamento e Seleção das Ferramentas de Desenvolvimento

A linguagem de programação C++ foi escolhida, por causa da familiaridade do autor com a mesma, além de fóruns e comunidades de pesquisas capazes de proporcionar soluções para os diversos problemas. Outro motivo para o uso da linguagem C++ se dá em relação a facilidade de integração com a API do *OpenGL*.

Como ambiente de desenvolvimento a IDE Visual Studio 2010. Foi selecionada a API *OpenGL* para a implementação da aplicação gráfica. A escolha foi motivada devido a biblioteca *OpenGL* ser portátil e rápida, sendo a API padrão para desenvolvimento de aplicações gráficas 3D em tempo real. Além disso o OpenGL não disponibiliza rotinas para criação e manipulação de janelas e eventos de usuário. Para isso, foi utilizada a biblioteca GLUT.

O modelo 3D desenvolvido foi criado utilizando funções de modelagem de objetos primitivos disponíveis na GLUT. Estes objetos primitivos foram unidos e ajustados como um objeto hierárquico articulado, proporcionando um modelo 3D para as futuras animações utilizando os dados de rotação das articulações adquiridos previamente com o *Kinect*.

O método `glutSolidCube(GLdouble size)` foi utilizado para cubos padronizados com o centro de massa na origem do sistema de referência, que foram instanciados para criar os ossos do modelo simplificado do membro inferior humano. No total foram utilizados 9 cubos escalados nos eixos x, y e z para criar os seguintes ossos: pé direito, pé esquerdo, tíbia direita, tíbia esquerda, fêmur direito, fêmur esquerdo, pelve direita, pelve esquerda e coluna vertebral.

O método `glutWireSphere(GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks)` desenha esferas em modelos aramados, que foram utilizados para criar as juntas que conectam os ossos. No total foram criadas 07 esferas primitivas escaladas representando as seguintes juntas/articulações: tornozelo direito, Tornozelo Esquerdo, Joelho Direito, Joelho Esquerda, Quadril Direito, Quadril Esquerdo, Centro do quadril.

Para o instanciamento dos objetos primitivos e também para a animação de cada parte do modelo, foram utilizadas as transformações geométricas do *OpenGL*. O método `glTranslatef(GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z)` foi utilizado para transladar os ossos e juntas ao longo da janela de visualização. A função `glScalef(GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z)` foi utilizada para alterar a escala dos objetos primitivos (cubos e esferas). A função `glRotatef(GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z)` define uma rotação, que foi utilizada apenas para posicionamento do modelo antes de iniciar a simulação e para dar os passos a cada *frame* no momento da animação. A função `glPushMatrix()` foi utilizada para empilhar a matriz atual, criando uma cópia da matriz atual. Por outro lado, o método `glPopMatrix()` remove a matriz que está no topo.

3.2 Repositório do Projeto

Para facilitar o desenvolvimento deste trabalho foi usado um fluxo de trabalho, na plataforma *GitHub* que se encontra no seguinte repositório público <<https://github.com/edmooliveira29/skeleton-model/issues>>. Neste repositório foram definidas algumas ramificações e *issues* que facilitaram a criação de novas funcionalidades e correção de *bugs*

que apareceram no decorrer do trabalho.

Este projeto gerou um arquivo instalável para o sistema operacional *Windows*, que foi inserido no nas *releases* do repositório e esta disponível para *download*, onde se pode ver o projeto final desta pesquisa.

3.3 Implementação do Modelo 3D

Antes de iniciar a implementação do modelo 3D simplificado foram selecionados os componentes da anatomia humana (ossos e juntas), de forma a possibilitar um mapeamento entre os dados capturados pelo *Kinect* e as partes do modelo geométrico.

Ainda que o modelo proposto seja uma simplificação do membro inferior humano, ele pode realizar movimentos complexos como de agachar onde percebe-se uma leve inclinação do joelho para frente e como consequência a tíbia e o fêmur também tem um movimento, onde o ângulo interno entre o pé e a tíbia, a tíbia e o fêmur diminui como é mostrado na [Figura 9](#).

Figura 9 – Movimentação dos membros inferiores



Fonte: Autoria própria (2021)

A [Figura 9](#) representa a complexidade do movimento dos membros inferiores. O modelo desenhado a esquerda temos o angulo α_1 que é maior que o ângulo α_2 , o mesmo acontece com o ângulo β_1 e β_2 . Os ângulos β_2 e α_2 são menores devido ao movimento de agachar.

Ao manipular de um modelo hierárquico o objeto tem uma posição inicial e as transformações sobre este objeto desencadeiam movimentos sobre outros objetos. A API

OpenGL tem um mecanismo conhecido como pilhas de matrizes que pode ser utilizado para criar objetos hierárquicos (SELLERS; JR; HAEMEL, 2013).

Para representar os movimentos dos objetos é necessário representá-los por matrizes, pois o uso das matrizes permite "gravar" a sequência de movimentos realizados. No *OpenGL*, isto é fornecido pelas funções `glPushMatrix()`, que insere a matriz de transformação no topo da pilha, e `glPopMatrix()`, que retira a matriz do topo da pilha, retornando a um estado anterior, servindo para lembrar os parâmetros de translação, rotação e escala dos objetos.

Para exemplificar a pilha de matriz tem-se o seguinte 10 que apresenta um trecho que foi utilizado para criar a junta do tornozelo direito e o pé direito.

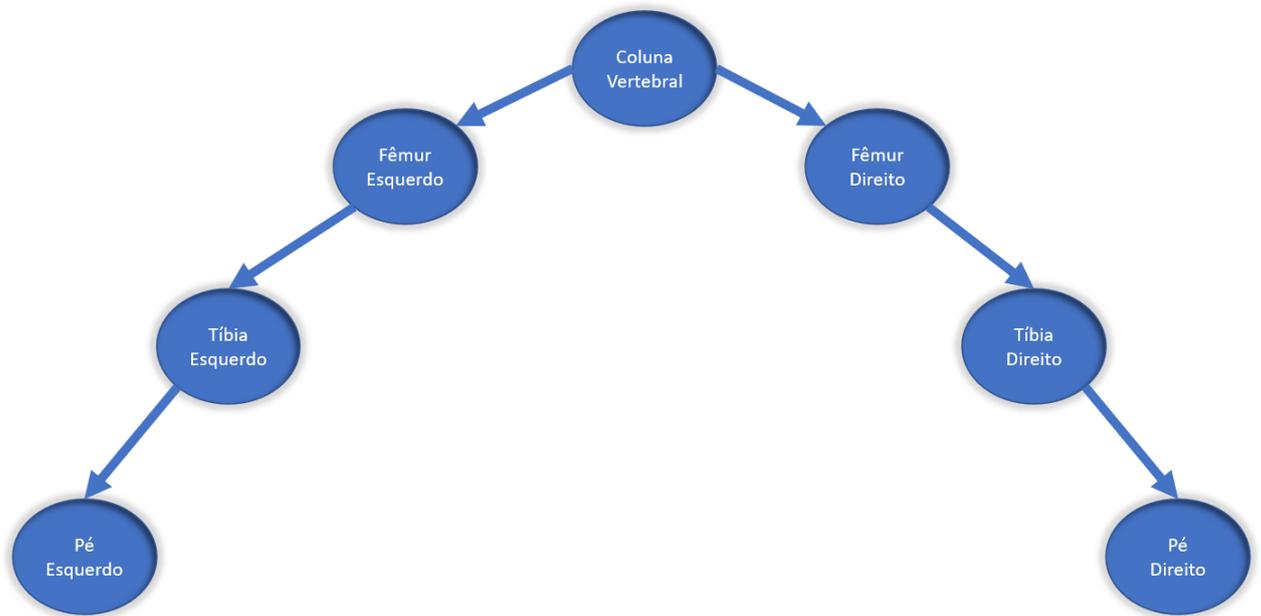
Figura 10 – Utilização do uso da matriz

```
1      glPushMatrix(); /*M*/
2      glRotatef(-90, 0.0, 0.0, 1.0); /*M = M1*/
3      glTranslatef(0.0f, -0.3f, 0.0f); /*M = M1 x M2*/
4      glScalef(0.4f, 0.6f, 0.4f); /*M = M1 x M2 x M3*/
5      glutSolidCube(1.0); /*M = M1 x M2 x M3 x M4*/
6      glPopMatrix(); /* Desempilhamos a Matriz M4 */
7
8      glPushMatrix(); /* Empilhamos */
9      glutWireSphere(0.10, 25, 25); /*M = M1 x M2 x M3 x M5 */
10     glPopMatrix(); /*M = M1 x M2 x M3 */
```

Fonte: Autoria própria (2021)

Na linha 1 a pilha é iniciada, na linha 2 é empilhada a primeira matriz M1, e na sequência são empilhadas as matrizes M1, M2, M3 e M4. Na linha 6 é desempilhada a última matriz empilhada, a M4. Depois na linha 8 é empilhada M5, e depois desempilhada novamente a matriz M5 permanecendo no final com a matriz $M = M1 \times M2 \times M3$.

Figura 11 – Hierarquia dos membros inferiores



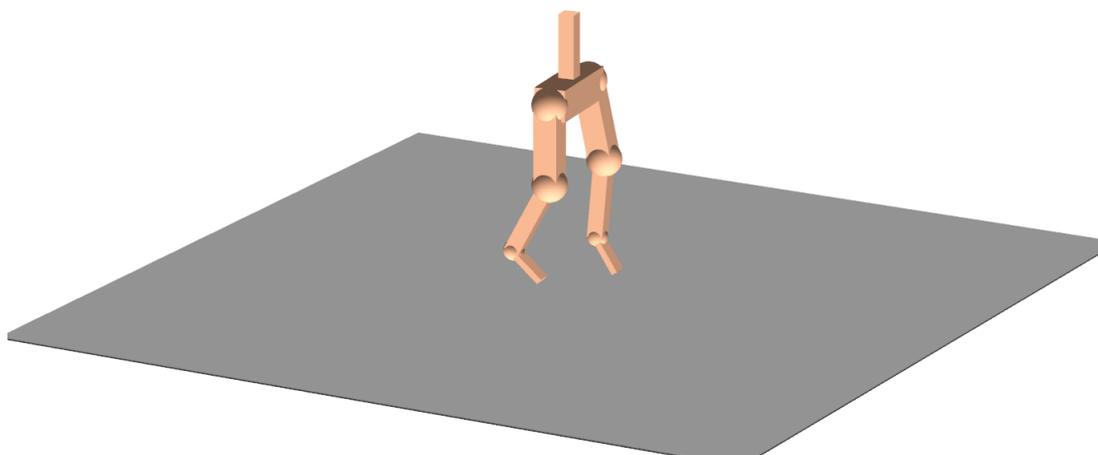
Fonte: Autoria própria (2021)

A [Figura 11](#) mostra os movimentos de empilhamento e desempilhamento afetam os objetos que estão abaixo deles na pilha, no caso da parte inferior do corpo humano, se a matriz relacionada ao fêmur esquerdo for alterada, tem-se uma alteração nas matrizes que estão como filho deste nó que no caso é a tíbia esquerda e o pé esquerdo.

Através desta técnica de pilhas de matrizes utilizando as duas funções `glPushMatrix()` e `glPopMatrix()`, é possível realizar o movimento em conjunto de objetos mais complexos desenhados com *OpenGL* como é o caso abordado nesta pesquisa.

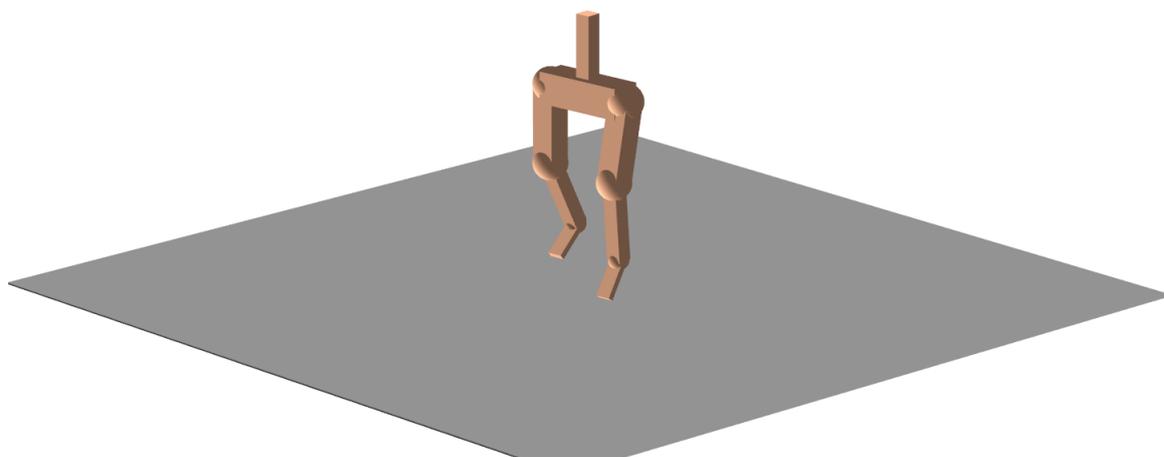
O resultado da criação do modelo aqui implementado pode ser visto nas [Figura 12](#) e [Figura 13](#) sob ângulos diferentes.

Figura 12 – Modelo Esquelético 3D



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 13 – Modelo Esquelético 3D



Fonte: Autoria própria (2021)

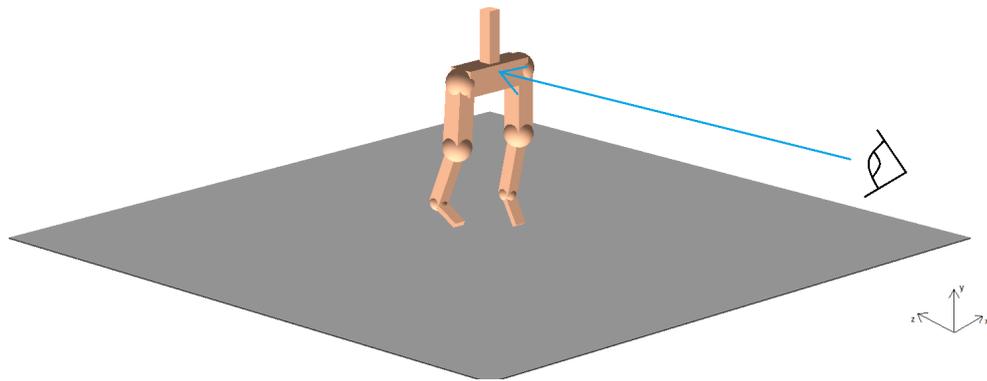
Na aplicação gráfica foram criadas três *viewports*, sendo elas: os gráficos dos movimentos, a animação e as legendas.

3.4 Captura de Movimento

A aquisição dos dados foi realizada com o sensor *Kinect*, que foi posicionado em frente ao modelo, realizando a captura ao longo do eixo z. Sendo que os movimentos de

rotações são da parte de trás das articulações e estes movimentos são realizados do eixo z para o eixo y. Como pode ser observada na [Figura 14](#).

Figura 14 – Posicionamento do sensor Kinect



Fonte: Autoria própria (2021)

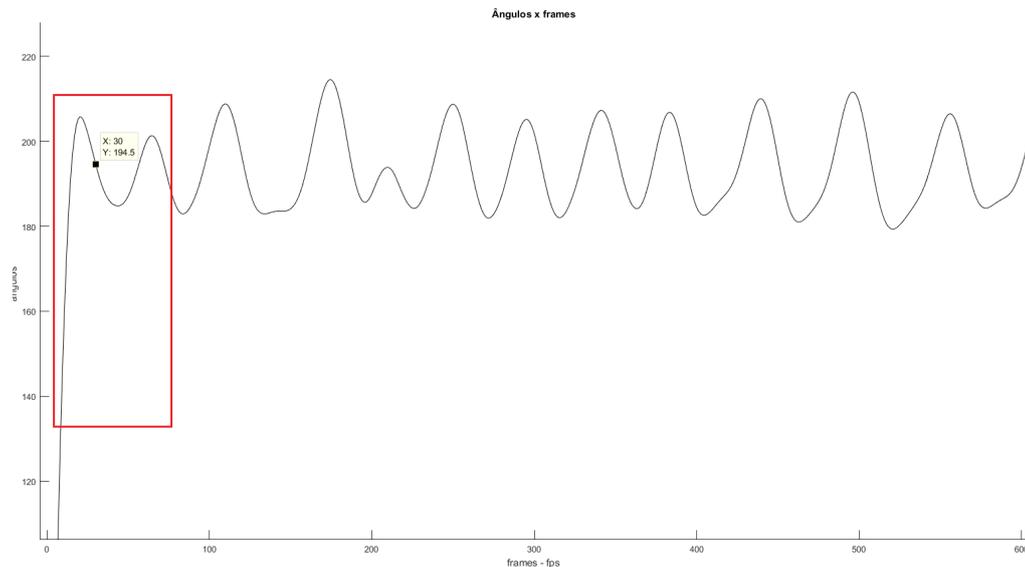
No momento da captura de movimento, durante o experimento de ([TAKEDA et al., 2014](#)), foi armazenado em uma variável no Matlab contendo a dimensão de $6 \times 3593 \times 20$. Esta variável representa a captura de 6 ângulos dos membros inferiores de 20 voluntários gravados em 1 minuto e 53 segundos totalizando 3593 *frames* como uma taxa de 30 *frames* por segundo. Os dados capturados possui a seguinte estrutura: a animação do modelo esquelético se baseia em 6 pontos capturados do *Kinect* e cada ponto tem um valor angular em *rad/s*

Para a animação do modelo 3D e processamento dos dados nesta pesquisa, somente os dados do primeiro voluntário foram utilizados. E após o processamento com os filtros estes dados foram convertidos para *.csv*, posteriormente sendo lidos por uma rotina em C++.

Foi implementada uma função em C++ capaz de ler os dados e remover os 30 primeiros *frames*, pois quando a aquisição dos dados é realizada pelo sensor *Kinect*, ele utiliza aproximadamente os primeiros 30 *frames* para a localização dos pontos no objeto a ser capturado.

Estes 30 primeiros *frames* são mostrados em um quadrado vermelho na [Figura 15](#). Onde o eixo x se refere aos *frames* e o eixo y se refere aos valores dos ângulos em graus. Esta figura apresenta o ângulo do quadril direito.

Figura 15 – Pré-processamento



Fonte: Autoria própria (2021)

É importante salientar que todos os ângulos dos dados capturados apresentam este efeito, então para todos os 6 ângulos, é necessário eliminar os primeiros 30 *frames* dos dados.

Após a leitura dos dados, eles são inseridos em uma matriz onde cada posição contém os dados relacionados a uma junta do modelo.

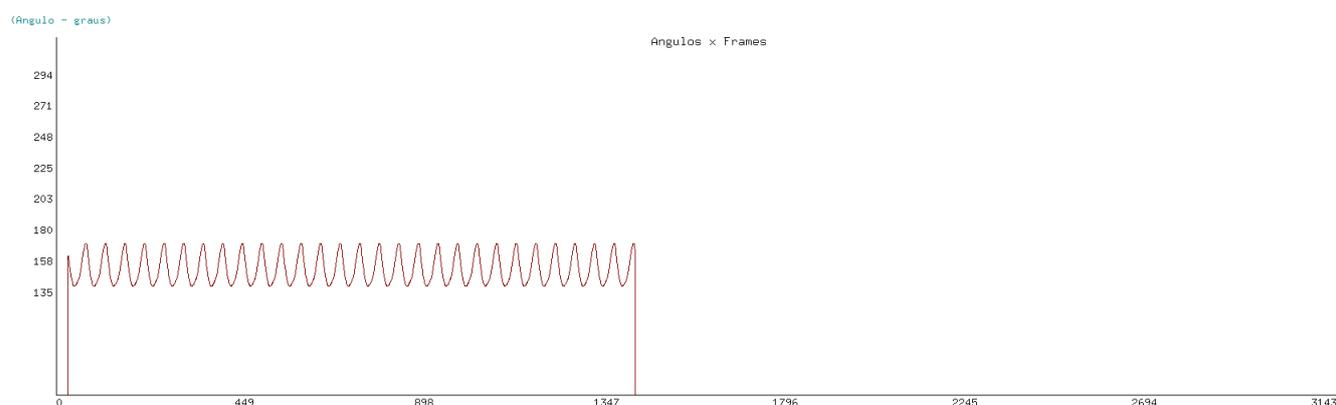
3.5 Animação do Modelo 3D

Após a leitura dos dados, cada junta foram associados ao modelo, dando passos que simulam os dados capturados pelo *Kinect*. Para realizar este processamento os seguintes passos foram seguidos. Foram criadas variáveis de controle, uma para cada articulação do modelo, que representam os ângulos de rotação a cada amostragem do sensor. Para realizar a leitura e a animação foi utilizada uma função do gerenciador de janelas GLUT, *glutIdleFunc* que tem a função de gerar chamadas contínuas, sendo capaz de fazer toda a leitura dos dados enquanto o valor de i (contador de *frames*) < tamanho do vetor dos dados. E a cada iteração os dados eram inseridos dentro das variáveis responsáveis pelo movimento de cada junta.

Para que a tela fosse renderizada novamente com novos dados a função *glutPostRedisplay()* do *OpenGL* era necessário ser chamada, para que a função que desenha na janela GLUT seja executada, gerando a animação do modelo.

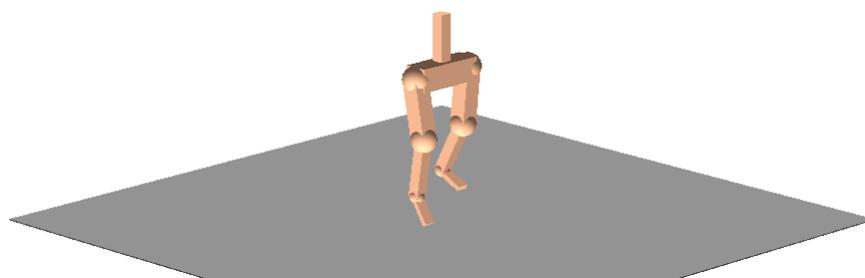
Para uma melhor visualização de todos os componentes, a janela de visualização foi subdividida em 3 partes denominadas como: drawViewPort1 mostrada na [Figura 16](#) que contém o gráfico dos ângulos relacionados a cada junta do corpo, o eixo x representa os *frames* em fps e o eixo y representa o ângulo dos movimentos em graus. A drawViewPort2 pode ser vista na [Figura 17](#), onde se mostra o modelo 3D. A drawViewPort3 Apresenta as legendas para utilização do teclado para interação com o usuário e pode ser vista na [Figura 18](#)

Figura 16 – Viewport dos gráficos



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 17 – Viewport do modelo



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 18 – Viewport das legendas

```
Skeleton Model - TCC

Aluno: Edmo de Oliveira Leite
Matricula: 15.2.8045

COMANDOS GERAIS
O: Tela Cheia/Graficos
Espaco: Play
P: Pause
R: Reset
Esc: Sair

COMANDOS DO MODELO
Setas do teclado movimenta o modelo
Scrool do mouse: Zoom in/Zoom out

COMANDOS DOS GRAFICOS
G ou T: Deslocar grafico para esquerda ou direita
H ou Y: Deslocar grafico para cima ou para baixo
J ou U: Zoom in/Zoom out no eixo x
K ou I: Zoom in/Zoom out no eixo y
Botao direito do mouse/Linhas do grafico: habilita o grafico
```

Fonte: Autoria própria (2021)

3.6 Aplicação de filtros

Os dados adquiridos pelo sensor *Kinect*, devido a imprecisão do equipamento, podem ter falhas, que levam a mudanças bruscas nos valores, que são chamados de ruídos no sinal. Dessa forma, torna-se necessário investigar se o processamento dos dados com a utilização de filtros de suavização para remover ou suavizar os ruídos, pode melhorar a animação. Para isso, foram realizadas simulações com dois filtros de suavização um no domínio do tempo (filtro da média móvel) e outro no domínio da frequência (filtro de Butterworth).

No processamento dos dados, o filtro de média móvel foi aninhado dentro de um laço for para que fossem executadas iterações sobre o mesmo filtro, gerando resultados diferentes na animação, a partir do mesmo conjunto de dados brutos.

Sobre os dados de filtro de média móvel foram variados dois parâmetros, o número de repetições em 1, 3 e 5 e a janela do filtro variando de 10, 15, 20 e 25. As combinações analisadas são apresentadas na [Tabela 1](#).

Tabela 1 – Parâmetros utilizados pelo filtro de média móvel

Janela	# de Repetições
original	original
10	1
10	3
10	5
15	1
15	3
15	5
20	1
20	3
20	5
25	1
25	3
25	5

Fonte: Autoria própria (2021)

As combinações foram realizadas fazendo testes variando os parâmetros da janela do filtro e a quantidade de vezes que o sinal de saída foi refiltrado. Deste modo, formou-se 12 combinações conforme a [Tabela 1](#) e os dados originais sem processamento. Com a utilização do filtro de média móvel foi possível gerar 24 animações, sendo 12 na perspectiva isométrica e 12 na vista lateral, para posteriormente serem inseridas na pesquisa de campo.

No processamento dos dados com o filtro de Butterworth conforme a [Equação 2.3](#) é preciso variar dois parâmetros, a frequência de corte de 0.5 a 2.0 e a ordem do filtro (3 ou 5). As combinações resultantes são apresentadas [Tabela 2](#).

Tabela 2 – Parâmetros utilizados pelo filtro de Butterworth

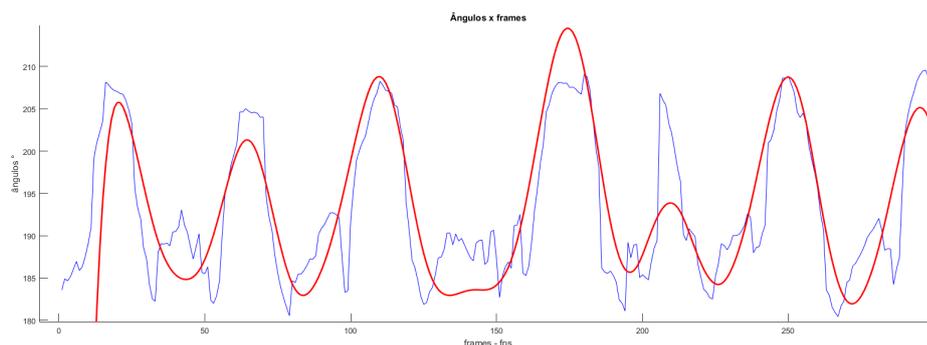
Ordem do filtro	Frequência de corte
original	original
3	0.5
3	1.0
3	2.0
5	0.5
5	1.0
5	2.0

Fonte: Autoria própria (2021)

Assim como na utilização do filtro de média móvel, foram gerados 12 vídeos sendo 6 na perspectiva isométrica e 6 na vista lateral. Foi realizado uma animação na vista lateral e perspectiva isométrica contendo os dados originais sem processamento

A Figura 19 mostra a utilização do filtro. A linha azul representa os dados originais. Percebe-se que os dados originais têm ruídos provenientes da captura do movimento. A linha vermelha são os dados processados utilizando o filtro de média móvel com janela de 15 e número de repetições igual a 3. Os dados utilizados nesta imagem são do quadril esquerdo.

Figura 19 – Aplicação do filtro de média móvel



Fonte: Autoria própria (2021)

3.7 Geração dos vídeos das animações

Depois que os parâmetros foram ajustados conforme mencionado na seção 3.6, foi planejada uma pesquisa de campo com um público externo para avaliar as animações quanto à naturalidade/artificialidade do movimento. Para a coleta foram gerados vídeos das animações.

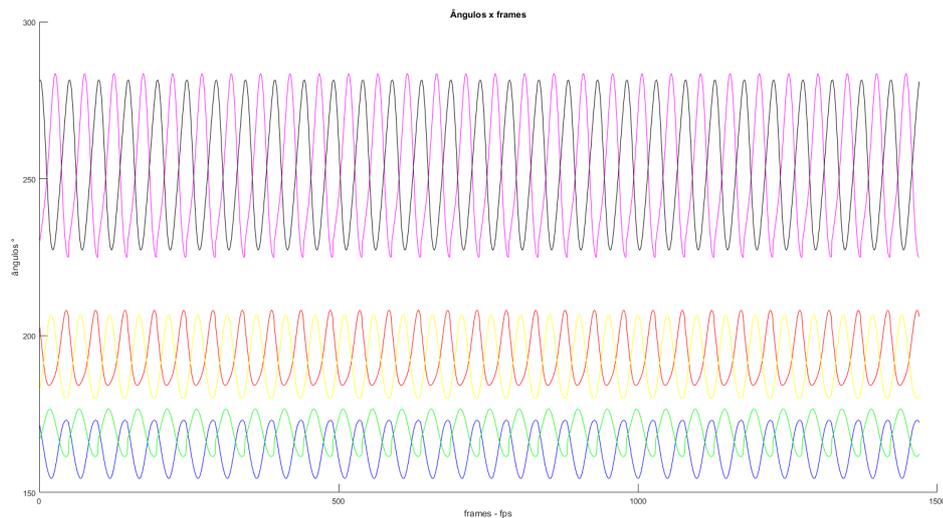
O Software OBS Studio foi utilizado para capturar a tela gerando vídeos com 1 minuto e 45 segundos com os parâmetros utilizados em cada processamento. Ao todo foram gerados 40 vídeos sendo nas vistas da perspectiva isométrica e lateral direita.

3.7.1 Processamento ideal

O estudante autor e seu orientador analisaram visualmente as 40 animações resultantes do processamento com os filtros, em busca de artefatos que evidenciassem um ciclo da marcha humana mais natural, concluindo que a animação realizada com o filtro de média móvel com janelamento de 15 e número de repetições 3 contém este ciclo sendo considerado o mais natural. Utilizando esta animação, foi selecionado o espaço de *frames* compreendidos entre 1048 e 1096. Após selecionar estes *frames* específicos, foi utilizada uma função do Matlab conhecida como *repmat* capaz de gerar cópias deste segmento ideal. Desta forma foi gerado o processamento ideal.

Foi gerado um gráfico onde é possível observar as ondas dos movimentos e perceber o quão são suaves, por se tratarem de gráficos senoides periódicos. O gráfico pode ser observado na [Figura 20](#).

Figura 20 – Gráfico de Processamento Ideal



Fonte: Autoria própria (2021)

O eixo x do gráfico se refere aos frames e o eixo y se refere aos valores dos ângulos em graus. Os dois sinais na parte inferior do gráfico se referem aos movimentos do quadril direito e esquerdo. Os dois sinais na cor amarelo e vermelho se referem ao sinal do joelho esquerdo e direito. E os sinais na parte superior, na cor preto e rosa se referem aos movimentos dos pés direito e esquerdo.

Pode-se observar que, os sinais dos pés tem valores maiores do que os joelhos e quadris, o que significa que a movimentação angular dos pés é maior que os joelhos e a movimentação angular dos joelhos é maior que a movimentação angular dos quadris.

Quando o processamento ideal foi realizado, foram gerados dois vídeos conforme será explicado na [seção 3.7](#). Os vídeos com os processamentos ideais foram colocados no youtube com os links <<https://www.youtube.com/watch?v=YE59zVEE4v8>> para o processamento de vista lateral e <<https://www.youtube.com/watch?v=sJrch1bJ0mw>> para o processamento de perspectiva isométrica e ambos os vídeos foram inseridos na pesquisa de campo.

3.8 Pesquisa de campo

Foi realizada uma pesquisa de campo para avaliação das animações geradas quanto à naturalidade/artificialidade da marcha. O Google Forms¹ foi utilizado, por se tratar de uma forma simples e rápida de anexar o conteúdo das animações e coletar as percepções dos respondentes de forma online.

Para a pesquisa no Google Forms foi realizado alguns passos. No início do formulário foi apresentada uma breve introdução sobre a pesquisa como o objetivo, número de vídeos para análise e tempo esperado para a participação. Também foram incluídas algumas perguntas para levantar o perfil dos respondentes. As questões na pesquisa no Google Forms buscam captar a percepção dos respondentes quanto à naturalidade/artificialidade de cada um dos 40 vídeos/animações.

A primeira pergunta foi elaborada com a Mean Opinion Score ou (MOS). Esta técnica é utilizada na área da Engenharia de Telecomunicações com a finalidade de avaliar a qualidade da voz subjetivamente, ou seja, depende da opinião das pessoas, que pode variar bastante, principalmente se a amostragem for pequena.. (JUANG; SONDEHI; RABINER, 2003). Para definir os resultados, esta pesquisa calcula a média aritmética dos valores individuais em uma escala como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Avaliação MOS

Avaliação	Etiqueta
5	Excelente
4	Bom
3	Razoável
2	Pobre
1	Mau

Fonte: (JUANG; SONDEHI; RABINER, 2003)

A escala acima pode ser adaptada conforme o a necessidade da pesquisa. Após a coleta, os resultados são submetidos a cálculo de uma média, conforme a equação abaixo

$$MOS = \frac{\sum_{N=1}^{n=1} R_n}{N} \quad (3.1)$$

E seguindo esta técnica para a avaliação dos vídeos foi feita uma adaptação da escala para avaliar a qualidade da marcha humana desta pesquisa. A escala proposta é apresentada na Tabela 4.

¹ <https://www.google.com/forms/about/>

Tabela 4 – Escala para avaliação da marcha humana

Avaliação	Etiqueta
5	Completamente natural sem movimentos artificiais
4	Natural com movimentos artificiais esporádicos
3	Natural com movimentos artificiais frequentes
2	Artificiais com movimentos naturais esporádicos
1	Completamente artificial e inaceitável

Fonte: Autoria própria (2021)

Sendo assim cada vídeo foi avaliado conforme a [Tabela 4](#).

A segunda pergunta é uma avaliação simples de 0 a 10, que avalia de forma simples, a qualidade geral do vídeo, proporcionando uma avaliação subjetiva da qualidade da marcha humana.

Uma terceira pergunta foi inserida de acordo com a resposta da primeira pergunta. Se na resposta da primeira pergunta for escolhida a opção 1 - Completamente artificial e inaceitável, uma nova pergunta é apresentada ao entrevistado a fim de coletar mais dados a respeito de sua resposta.

3.8.1 Público da pesquisa

A comunidade recrutada para responder a pesquisa é formada por pessoas que possuem curso superior completo ou que estejam em formação acadêmica.

3.9 Análise dos resultados

Os resultados da pesquisa de campo foram sumarizados e analisados em uma perspectiva quantitativa com o uso da métrica MOS. Esta análise será apresentada na [seção 4.4](#)

4 Resultados

A pesquisa de campo foi realizada em um período de cinco dias e os dados foram compilados e analisados utilizando as ferramentas de análise de dados da Google. Ao todo participaram da pesquisa 21 pessoas. As características dos participantes da pesquisa foram 76,2% do público masculino e 23,8% do público feminino.

4.1 Questão 01 - Escala de Naturalidade/Artificialidade

Todas as 40 animações foram exibidas em duas vistas diferentes sendo uma vista isométrica e outra lateral disponibilizadas como vídeos para a pesquisa de campo, apresentados em uma ordem randômica no formulário de pesquisa. Os respondentes avaliaram os 40 vídeos resultantes quanto à naturalidade/artificialidade em uma escala de 0 a 5. Na pesquisa de campo, os vídeos #33 e #39 foram os que obtiveram maior nota de naturalidade, na avaliação dos respondentes. Esses vídeos #33 e #39 também foram os melhores avaliados de acordo com a análise visual do autor e seu orientador. No vídeo #33, 57,1% dos entrevistados relataram que os movimentos são completamente natural sem movimentos artificiais, já no vídeo #39, 47,6% relataram que os movimentos são naturais com movimentos artificiais esporádicos. Essa avaliação pode ter sido ocasionada por se tratar de uma visão lateral o que pode ter evidenciado alguns detalhes não observados na imagem em vista isométrica.

Os vídeos #11 e #18 obtiveram as piores notas, considerando a quantidade das respostas em 1 - Completamente artificial e inaceitável na pesquisa de campo. No vídeo #11, 71,4% avaliaram a questão como completamente artificial e inaceitável, no vídeo #18, 66,7%. Isto aconteceu porque este vídeo é proveniente da animação dos dados originais capturados pelo sensor *Kinect* e este sensor possui suas limitações no momento da captura devido a oclusão no momento da captura dos dados. E para melhorar estes dados, eles foram submetidos ao processamento de filtros para remoção dos ruídos. O resultado completo de cada vídeo pode ser visualizado no [Apêndice A](#).

4.2 Questão 02 - Qualidade Geral do Vídeo

Nesta questão os respondentes avaliaram a qualidade geral do vídeo, utilizando uma escala numérica de 0 a 10. Novamente, os vídeos #33 e #39 obtiveram as maiores notas absolutas.

4.3 Questão 03 - Artefatos de Artificialidade

Todos os 21 respondentes classificaram pelo menos um dos vídeos como artificial. Desses, 9 relataram o que consideraram artificial no vídeo. As respostas obtidas foram: “porque os movimentos não correspondem ao de uma caminhada”, “movimentos não naturais descompassados”, “pois está em desacordo com o andar de um ser humano”, “pois a perna não flexiona para trás”, “movimento não natural e desnecessário dos pés”, “muita vibração”, “pois o pé está tremendo muito”, “movimento dos pés muito travado”, “padrão de movimento fora do normal”, “os pés estão mexendo exageradamente”.

Percebe-se pelos relatos que para a avaliação da perspectiva dos participantes o que mais chamou a atenção foram os pés. Analisando em uma perspectiva do valor do ângulo de movimentação dos pés em relação aos joelhos e quadris, conforme visto na [Figura 20](#), percebe-se que os ângulos dos pés são maiores que os joelhos e os quadris. Portanto, os relatos corroboram os estudos realizados sobre a marcha humana.

4.4 Avaliação segundo a técnica MOS

Foi realizado o cálculo da métrica MOS para os três vídeos com mais respostas 5 - Completamente natural sem movimentos artificiais e 4 - Natural com movimentos artificiais esporádicos e também para os dois vídeos com mais respostas 1 - Completamente artificial e inaceitável e 2 - Artificiais com movimentos naturais esporádicos. E seguindo a [Equação 3.1](#) e as respostas do vídeo #33 obtidas na pesquisa de campo ([Tabela 5](#)), sendo que este vídeo foi gravado com os dados do processamento ideal, tem-se o resultado de $MOS_{\#33} = 4.48$.

Tabela 5 – Respostas do vídeo #33

Quantidade de pessoas	Respostas
12	5
4	4
3	3
2	2
0	1

Fonte: Autoria própria (2021)

O mesmo cálculo utilizando a [Equação 3.1](#) pode ser feito para o vídeo #39, gravado com os dados do processamento ideal, onde as respostas deste vídeo pode ser vista na [Tabela 6](#). Para a avaliação deste vídeo obtém-se a resposta de $MOS_{\#39} = 4.43$.

Tabela 6 – Respostas do vídeo #39

Quantidade de pessoas	Respostas
8	5
10	4
2	3
1	2
0	1

Fonte: Autoria própria (2021)

Da mesma forma, foi realizado o cálculo para o vídeo #1, gravado com os dados processados com o filtro de média móvel com janela de 25 e e número de repetições igual a 1, cujas respostas são apresentados na [Tabela 7](#). Para a avaliação deste vídeo obtém-se a resposta de $MOS_{\#1} = 3,76$.

Tabela 7 – Respostas do vídeo #1

Quantidade de pessoas	Respostas
0	5
13	4
4	3
3	2
0	1

Fonte: Autoria própria (2021)

Os vídeos #11 ([Tabela 8](#)) e #18 ([Tabela 9](#)) obtiveram as piores avaliações, pois os dados destas animações são originais, que não teve nenhuma modificação nos dados capturados pelo sensor *Kinect*. Ao efetuar o cálculo da métrica MOS para esses vídeos, obtém-se 1,67 e 1,57.

Tabela 8 – Respostas do vídeo #11

Quantidade de pessoas	Respostas
1	5
0	4
1	3
4	2
15	1

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 9 – Respostas do vídeo #18

Quantidade de pessoas	Respostas
1	5
0	4
0	3
6	2
14	1

Fonte: Autoria própria (2021)

Os três melhores e os dois piores resultados foram sumarizados na [Tabela 10](#).

Tabela 10 – Respostas dos vídeos

Ordem	Vídeo	Resultado
1	MOS _{#39}	4,48
2	MOS _{#33}	4,43
3	MOS _{#1}	3,76
4	MOS _{#18}	1,67
5	MOS _{#11}	1,57

Fonte: Autoria própria (2021)

A [Tabela 10](#) mostra o resultado de 5 vídeos utilizando a técnica de MOS com a [Equação 3.1](#). Ao observar os resultados dos vídeos #11 e #18 temos respectivamente 1,57% e 1,67%, tem-se resultados com uma avaliação ruim na escala MOS, onde muitos dos participantes observaram que os movimentos são completamente artificiais. Isto acontece, pois nos vídeos desta animações os dados não passam por nenhum processamento, são os dados originais capturados pelo *Kinect* e por causa da oclusão na captura de movimento com o sensor *Kinect* os dados possuem ruídos que podem ser vistos claramente nas animações, como movimentos irregulares dos pés, uma característica observado pelos participantes da pesquisa, como relatado na [seção 4.3](#).

Após um processamento dos dados com a utilização de filtros e com o processamento ideal mostrado na [subseção 3.7.1](#), a melhoria na análise subjetiva dos dados aumentou. Conforme a [Tabela 10](#), os melhores resultados dos na avaliação MOS, foram os vídeos #33 e #39, com resultados 4,43% e 4,48% respectivamente. Pode-se observar que a utilização de filtros de média móvel não causal e filtro de Butterworth, influenciou nos resultados. Pois os filtros tem a capacidade de remover os ruídos dos dados e com os dados mais suaves a animação gráfica da marcha humana pelo modelo 3D criado fica suavizado.

Os resultados obtidos utilizando MOS serão analisados com a análise de variância (ANOVA) que é utilizada para comparar a média de três ou mais grupos, precisando de uma amostragem aleatória de dados com distribuição normal. A ANOVA verifica a

variação total dos dados do grupo de duas formas, sendo a variação dentro do grupo e entre os grupos. Esta análise calcula a estatística F, demonstrada na [Equação 4.1](#).

$$F = \frac{MQ_{entre}}{MQ_{dentro}} \quad (4.1)$$

Na [Equação 4.1](#) temos o F que significa a análise estatística F, MQ_{entre} que é uma média quadrática entre os grupos e MQ_{dentro} que é uma média quadrática dentro de cada grupo. Com isto a ANOVA indica o tamanho da diferença entre os grupos em função da variação dentro de cada grupo. Para realizar as análises é necessário uso de uma tabela com percentis 95% da distribuição F. Para verificar nesta tabela é necessário alguns parâmetros sendo eles o grau de liberdade entre os grupos e dentro dos grupos, então: $Gl_{entre} = k - 1$, onde $k = n^{\circ}degrupos$ e $Gl_{dentro} = N_{total} - k$, onde $N_{total} = n^{\circ}devaloresemtodososgrupos$.

A ANOVA foi aplicada com os dados das respostas obtidos na pesquisa de campo. Com esta análise é possível verificar a eficiência dos dados coletados, afirmando se existe uma diferença entre as médias dos grupos de respostas, observando as diferenças amostrais entre os grupos são reais.

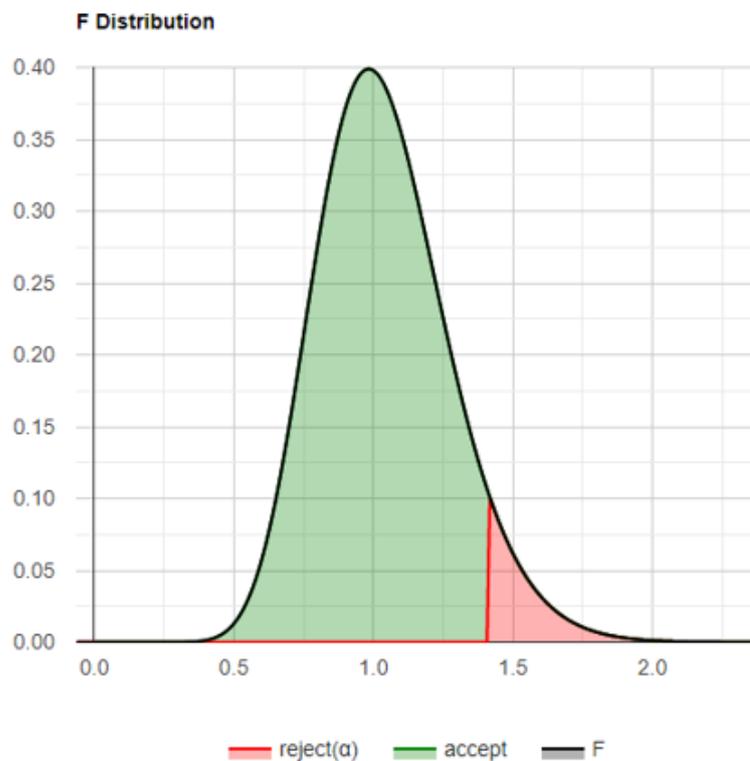
As respostas dos vídeos são os resultados das respostas obtidas na pesquisa de campo. No total tem-se 40 grupos com 21 repostas. Cada grupo foi nomeado como $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{40}$. Os vídeos das animações analisados pelos participantes da pesquisa foram apresentados em uma ordem aleatória. E os resultados coletados foram avaliados pela Análise de Variância (One Way ANOVA), uma vez que é necessário testar a diferença entre os 40 vídeos. A análise estatística F verificou, para um grau de confiança de 95% ($\alpha = 0.05$), se a artificialidade reportada nos testes é estatisticamente significativa. Desde que o valor p calculado entre os 40 grupos de respostas dos vídeos é $p = -4.44089^{-16} < \alpha$, consideramos que a hipótese H_0 é rejeitada, ou seja, a diferença entre as médias de alguns grupos é estatisticamente significativa. O resultado do calculo da estatística F utilizando a [Equação 4.1](#) foi 5,905626, considerando a faixa aceita da distribuição F que deve ser menor que 1,4139, e o resultado de 5,905626, pode-se observar que existe alguns grupos que tem medias significativamente diferente.

Para encontrar os grupos com médias significativamente diferentes, pode-se utilizar o teste de Turkey, que realiza testes de comparações múltiplas, com isto foram encontrados 90 grupos. Estes grupos são: #1-#11, #1-#14, #1-#18, #2-#11, #2-#18, #3-#18, #3-#33, #3-#39, #4-#11, #4-#14, #4-#18, #5-#11, #5- 18, #6-#11, #6-#18, #7-#11, #7-#14, #7-#18, #8-#18, #8-#33, #8-#39, #9-#11, #9-#18, #10-#11, #10-#18, #11-#13, #11-#15, #11-#16, #11-#17, #11-#20, #11-#22, #11-#23, #11-#24, #11-#25, #11-#26, #11-#28, #11-#29, #11- 30, #11-#32, #11-#33, #11-#34, #11-#36, #11-#38, #11-#39, #11-#40, #12-#33, #12-#39, #13-#18, #13-#33, #13-#39, #14-#30,

#14-#33, #14-#34, #14-#38, #14-#39, #14-#40, #15-#18, #16-#18, #17-#18, #18-#20, #18-#22, #18-#23, #18-24, #18-#25, #18-#26, #18-#28, #18-#29, #18-#30, #18-#32, #18-#33, #18-#34, #18-#36, #18-#38, #18-#39, #18-#40, #19-#33, #19-#39, #21-#33, #21-#39, #24-#33, #24-#39, #27-#33, #27-#39, #31-#33, #31-#39, #33-#35, #33-#36, #33-37, #35-#39, #37-#39.

Quando foi calculado a diferença destes 90 grupos, pode-se observar que a o valor $p < 0.05$, indicando que estes grupos estão na faixa de rejeição. Ou seja, as diferenças que aparecem nas amostras destes grupos são aleatórias e insignificativas na pesquisa.

Figura 21 – Distribuição F



Fonte: Autoria própria (2021)

A [Figura 21](#) mostra a distribuição F, indicando as áreas de aceitação e rejeição considerando uma certeza de 95%. Ou seja os valores de F maiores que 1,4139 são resultados que contem grupos que tem amostras insignificantes para a pesquisa.

5 Conclusões e Perspectivas Futuras

Este trabalho apresentou os resultados de uma pesquisa de campo quanto à naturalidade/artificialidade da síntese da marcha humana, a partir de dados capturados com o sensor *Kinect* no Laboratório de ProcSimos da Universidade Federal de Ouro Preto. Os dados foram processados com a utilização de dois filtros de suavização, filtro de média móvel e filtro de Butterworth e animados com um modelo 3D simplificado do esqueleto do membro inferior humano.

O sensor utilizado para a captura de movimento foi *Kinect* que utiliza o sistema de captura ótico e acústico, sendo um equipamento de baixo custo. Entretanto, o *Kinect* apresenta limitações durante a aquisição dos dados, muitas vezes ocasionadas pela obstrução de alguma parte do objeto durante o movimento. Diante disso, o *Kinect* tendo sido pouco explorado para a análise da marcha humana.

Este trabalho em sua relevância, mostra que é possível utilizar um sistema de baixo custo para a captura de movimento (MOCAP) e processar os dados com alguma técnica, com o intuito de remover os ruídos provenientes de falhas e impressões durante a aquisição dos dados pelo sensor.

Como resultado desta avaliação da marcha humana, percebe-se que os dados capturados podem ser processados com o auxílio de filtros que eliminam os ruídos provenientes da captura de movimento pelo sensor *Kinect*. E estes dados pré processados podem ser avaliados utilizando a técnica de avaliação de MOS. E como resultado deste trabalho utilizando de um processamento ideal, obteve-se avaliação igual a 4,48%. Utilizando a ANOVA é possível afirmar com 95% que as respostas obtidas na pesquisa de campo são significativa. Portanto, percebe-se que, o objetivo geral deste trabalho de realizar a animação gráfica com os dados do *Kinect* foi concluída.

5.1 Perspectivas Futuras

A avaliação deste trabalho permite o uso dos dados para futuros trabalhos científicos como a construção de modelos robóticos que precisem de dados para se locomover, uma análise biomédica de um indivíduo em fase de recuperação pós trauma, onde a avaliação dos dados pode auxiliar os profissionais da saúde no tratamento deste indivíduo.

Referências

- ALABBASI, H. et al. Human motion tracking & evaluation using kinect v2 sensor. In: IEEE. *2015 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*. [S.l.], 2015. p. 1–4. Citado na página 18.
- BORENSTEIN, G. *Making things see: 3D vision with kinect, processing, Arduino, and MakerBot*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2012. Citado na página 15.
- BUTTERWORTH, S. et al. On the theory of filter amplifiers. *Wireless Engineer*, v. 7, n. 6, p. 536–541, 1930. Citado na página 29.
- DAO, N.-L. et al. Kinect-based non-intrusive human gait analysis and visualization. In: IEEE. *2015 IEEE 17th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*. [S.l.], 2015. p. 1–6. Citado na página 19.
- FOSSATTI, C. L. Cinema de animação: Uma trajetória marcada por inovações. In: *VII ENCONTRO Nac. HISTORIA MÍDIA MÍDIA Altern. E Altern. MIDIATICAS*. [S.l.: s.n.], 2009. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 20.
- FREITAS, W. *Pérolas escondidas do R: função filter*. 2016. Disponível em: <<http://wilsonfreitas.github.io/posts/perolas-escondidas-do-r-funcao-filter.html>>. Citado na página 28.
- HEARN, D.; BAKER, M. P.; BAKER, M. P. *Computer graphics with OpenGL*. [S.l.]: Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, NJ:, 2004. v. 3. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- JUANG, B. H.; SONDHI, M.; RABINER, L. R. Digital speech processing. In: MEYERS, R. A. (Ed.). *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)*. Third edition. New York: Academic Press, 2003. p. 485–500. ISBN 978-0-12-227410-7. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105001782>>. Citado na página 44.
- MANSSOUR, I. H.; COHEN, M. Introdução à computação gráfica. *RITA*, v. 13, n. 2, p. 43–68, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- MELGAR, E. R.; DIEZ, C. C. *Arduino and kinect projects: Design, build, blow their minds*. [S.l.]: Apress, 2012. Citado na página 24.
- MIHAI, B.; MIHAI, P. Labview modeling and simulation of the digital filters. 08 2015. Citado na página 29.
- MOECKE, M. *Princípios de Sistemas de Telecomunicações*. 2014. Disponível em: <[http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1d/Apostila_de_PRT_2014-1_\(Material_Professores_Saul-Moecke\).pdf](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/1/1d/Apostila_de_PRT_2014-1_(Material_Professores_Saul-Moecke).pdf)>. Citado na página 27.
- MOTION, M. *Motion Capture - What is it?* 2021. Disponível em: <<https://metamotion.com/motion-capture/motion-capture.htm>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

- MÜLLER, B. et al. Validation of enhanced kinect sensor based motion capturing for gait assessment. *PloS one*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 12, n. 4, p. e0175813, 2017. Citado na página 19.
- ROSE, J.; GAMBLE, J. G. *Marcha humana*. São Paulo: Premier, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.
- SANZ, C. Cinesiología de la marcha humana normal. *Links*, p. 1–14, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 27.
- SELLERS, G.; JR, R. S. W.; HAEMEL, N. *OpenGL superBible: comprehensive tutorial and reference*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2013. Citado na página 34.
- SILVA, F. W. da; OLIVEIRA, L. F. *Visão Computacional Aplicada à Animação por Computador*. [S.l.], 1996. (In Portuguese). Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- SILVA, R. G. da et al. Application of a demand forecasting model in a rental company of billiard tables (53-58). *ITEGAM-JETIA*, v. 4, n. 15, p. 53–58, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 29.
- TAKEDA, R. Y. et al. Identificação biométrica de indivíduos baseada em parâmetros dinâmicos extraídos da marcha humana. *Anais do Simpósio de Processamento de Sinais da UNICAMP*, Campinas, São Paulo, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 37.
- VICON. *What is motion capture*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.vicon.com/about-us/what-is-motion-capture/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 23.
- WAGNER, F. d. S. *Um Sistema de Animação Baseado em Movimento Capturado*. Dissertação (Mestrado) — COPPE/Sistemas - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, March 1998. Thesis awarded with the second prize of CTD'99, the brazilian contest on M.Sc. and Ph.D. thesis of the Brazilian Computer Society. Citado na página 15.
- WANG, X. Autonomous mobile robot visual slam based on improved cnn method. In: IOP PUBLISHING. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. [S.l.], 2018. v. 466, n. 1, p. 012114. Citado na página 24.

APÊNDICE A – Resultados da pesquisa de campo

As Figura 22 à Figura 61 mostra os resultados da pesquisa de campo para cada vídeo, cada figura têm a direita da imagem uma legenda, sendo elas: 5- Completamente natural sem movimentos artificiais, 4 - Natural com movimentos artificiais esporádicos, 3 - Natural com movimentos artificiais frequentes, 2 - Artificiais com movimentos naturais esporádicos, 1 - Completamente artificial e inaceitável. No lado esquerdo das figuras têm os resultados provenientes das respostas dos participantes da pesquisa.

Figura 22 – Animação sem processamento - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #11

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 23 – Animação sem processamento - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #18

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 24 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 1 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #1

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 25 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 1 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #26

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 26 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 3 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #13

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 27 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 3 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #23

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 28 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 5 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #12

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 29 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 25 e 5 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #21

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 30 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 1 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #2

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 31 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 1 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #22

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 32 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 3 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #5

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 33 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 3 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #17

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 34 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 5 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #3

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 35 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 20 e 5 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #24

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 36 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 1 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #9

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 37 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 1 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #19

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 38 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 3 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #10

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 39 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 3 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #20

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 40 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 5 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #4

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 41 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 15 e 5 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #25

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 42 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 1 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #8

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 43 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 1 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #14

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 44 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 3 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #7

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 45 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 3 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #16

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 46 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 5 repetições - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #6

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 47 – Dados processados com o filtro média móvel com janela de 10 e 5 repetições - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #15

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 48 – Processamento Ideal - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #33

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 49 – Processamento Ideal - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #39

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 50 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 0.5 - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #38

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 51 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 0.5 - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #30

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 52 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 1.0 - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #40

20 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 53 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 1.0 - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #29

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 54 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 2.0 - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #36

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 55 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 3 e frequência de corte de 2.0 - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #31

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 56 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 0.5 - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #37

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 57 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 0.5 - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #32

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 58 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 1.0 - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #34

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 59 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 1.0 - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #28

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 60 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 2.0 - Vista Isométrica

Avaliação 1 do Vídeo #35

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 61 – Dados processados com o filtro de Butterworth de ordem de 5 e frequência de corte de 2.0 - Vista Lateral

Avaliação 1 do Vídeo #27

21 respostas



Fonte: Autoria própria (2021)

