ErgoMotion



Simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos

Gustavo Luiz dos Santos Dewes

thesis editora científica

ErgoMotion

Simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos

Este livro se destina a estudantes, docentes, pesquisadores e profissionais que trabalham com Design, ergonomia e tecnologias digitais.

Manuscrito derivado da pesquisa de doutorado em Design desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e defendida em 2024.

2026 - Thesis Editora Científica

Copyright © Thesis Editora Científica

Copyright do texto © 2026 O autor

Copyright da edição © 2026 Thesis Editora Científica

Direitos para esta edição cedidos à Thesis Editora Científica pelo autor

Open access publication by Thesis Editora Científica

Editor Chefe: Felipe Cardoso Rodrigues Vieira

Diagramação, Projeto Gráfico e Design da Capa: Thesis Ed. Cien. e o autor

Revisão: O autor

Licença Creative Commons

ErgoMotion: Simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos da Thesis Editora Científica está licenciada com uma Licença Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional. (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando a posição oficial da Thesis Editora Científica. É permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

O manuscrito foi previamente submetido à avaliação cega pelos pares (*blind peer review*), membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovado para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

ISBN: 978-65-83199-91-1

Thesis Editora Científica

Teresina – PI – Brasil

contato@thesiseditora.com.br

www.thesiseditora.com.br

Conselho Editorial

Felipe Cardoso Rodrigues Vieira – lattes.cnpq.br/9585477678289843

Adilson Tadeu Basquerote Silva – lattes.cnpq.br/8318350738705473

Andréia Barcellos Teixeira Macedo – lattes.cnpq.br/1637177044438320

Eliana Napoleão Cozendey da Silva – lattes.cnpq.br/2784584976313535

Rodolfo Ritchelle Lima dos Santos – lattes.cnpq.br/8295495634814963

Luís Carlos Ribeiro Alves – lattes.cnpq.br/9634019972654177

João Vitor Andrade – lattes.cnpq.br/1079560019523176

Bruna Aparecida Lisboa – lattes.cnpq.br/1321523568431354

Júlio César Coelho do Nascimento – lattes.cnpq.br/7514376995749628

Ana Paula Cordeiro Chaves – lattes.cnpq.br/4006977507638703

Stanley Keynes Duarte dos Santos – lattes.cnpq.br/3992636884325637

Brena Silva dos Santos – lattes.cnpq.br/8427724475551636

Jessica da Silva Campos – lattes.cnpq.br/7849599391816074

Milena Cordeiro de Freitas – lattes.cnpq.br/5913862860839738

Thiago Alves Xavier dos Santos – lattes.cnpq.br/4830258002967482

Clarice Bezerra – lattes.cnpq.br/8568045874935183

Bianca Thaís Silva do Nascimento – lattes.cnpq.br/4437575769985694

Ana Claudia Rodrigues da Silva – lattes.cnpq.br/6594386344012975

Francisco Ronner Andrade da Silva – lattes.cnpq.br/5014107373013731

Maria Isabel de Vasconcelos Mavignier Neta – lattes.cnpq.br/8440258181190366

Anita de Souza Silva – lattes.cnpq.br/9954744050650291

Sara Milena Gois Santos – lattes.cnpq.br/6669488863792604

Leônidas Luiz Rubiano de Assunção – lattes.cnpq.br/4636315219294766

Jose Henrique de Lacerda Furtado – lattes.cnpq.br/8839359674024233

Noeme Madeira Moura Fé Soares – lattes.cnpq.br/7107491370408847

Luciene Rodrigues Barbosa – lattes.cnpq.br/2146096901386355

Mário Cézar de Oliveira – lattes.cnpq.br/8924508898024445

Antonio da Costa Cardoso Neto – lattes.cnpq.br/9036328153320126

Elisabete Soares de Santana – lattes.cnpq.br/1149505575311414

Thiago Santos Borges – lattes.cnpq.br/4495115911159968

Alessandra Souza dos Santos – lattes.cnpq.br/5313671194713784

Mateus Henrique Dias Guimarães – lattes.cnpq.br/7137001589681910

Emelyn Glorys Herasme Henríquez – lattes.cnpq.br/7314295633439757

George Luiz Néris Caetano – lattes.cnpq.br/0598052051026256

2026 - Thesis Editora Científica

Copyright © Thesis Editora Científica

Copyright do texto © 2026 O autor

Copyright da edição © 2026 Thesis Editora Científica

Direitos para esta edição cedidos à Thesis Editora Científica pelo autor

Open access publication by Thesis Editora Científica

Editor Chefe: Felipe Cardoso Rodrigues Vieira

Diagramação, Projeto Gráfico e Design da Capa: Thesis Ed. Cien. e o autor

Revisão: O autor

Catalogação na Publicação

Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

D517e

Dewes, Gustavo Luiz dos Santos

ErgoMotion: simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos / Gustavo Luiz dos Santos Dewes. – Teresina-PI: Thesis Editora Científica, 2026.

Livro em PDF

ISBN 978-65-83199-91-1

1. Ergonomia. 2. Simulação computacional. 3. Captura de movimentos. I. Dewes, Gustavo Luiz dos Santos. II. Título.

CDD 620.82

Índice para catálogo sistemático

I. Ergonomia

Thesis Editora Científica

Teresina – PI – Brasil

contato@thesiseditora.com.br

www.thesiseditora.com.br

Créditos e fontes

Autor
Gustavo Luiz dos Santos Dewes

Pesquisa de origem
Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientação
Fábio Gonçalves Teixeira

Coorientação
Clariana Fischer Brendler

Infraestrutura
Laboratório de Virtual Design da UFRGS

A pesquisa de origem recebeu apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES), código de financiamento 001.

Fonte principal

DEWES, Gustavo Luiz dos Santos. ErgoMotion: simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos. Tese de doutorado em Design, UFRGS, 2024. Versão disponível no Lume: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/277249.

As figuras foram selecionadas da tese e receberam numeração própria. Cada legenda identifica a figura e a página de origem. O crédito autoral dos registros não substitui a identificação e o licenciamento dos ativos de terceiros incorporados às capturas, que permanecem sujeitos à conferência antes da publicação.

Imagem da capa: registro da identidade visual do projeto, por Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzido de Dewes (2024, figura 117, p. 184).

Esta versão descreve o estágio do protótipo documentado na pesquisa de 2024. Não foi atribuída a ele nenhuma atualização técnica posterior.

Declaração de uso de IA

Na preparação desta obra, foi utilizada a ferramenta ChatGPT, da OpenAI, como apoio à adaptação da tese de doutorado do autor para o formato de livro técnico. O uso compreendeu a organização dos capítulos, a reescrita de trechos e a revisão linguística ao longo do manuscrito, visando melhorar a clareza, a coesão e a acessibilidade da linguagem, preservando o conteúdo científico da pesquisa original. Todo o conteúdo produzido com esse apoio foi revisado e validado pelo autor. A autoria intelectual da pesquisa e da obra, assim como a responsabilidade integral pelo conteúdo final e por eventuais erros ou imprecisões, são de Gustavo Luiz dos Santos Dewes. A tese original foi feita sem inteligência artificial.

Apresentação

O ErgoMotion nasceu de uma questão de Design: como aproximar os movimentos executados por uma pessoa, durante o uso de um produto real, das possibilidades de observação oferecidas por um ambiente digital? A pesquisa reuniu captura de movimentos, representação tridimensional e referências de goniometria e cinesiologia para construir um simulador voltado à interpretação visual de ângulos articulares.

Neste livro, apresento as escolhas que deram forma a esse artefato. O interesse está em compreender a passagem entre um conhecimento sobre o corpo e uma experiência digital capaz de torná-lo observável. Essa passagem envolveu decisões sobre sensores, preparação das animações, bibliotecas, parâmetros e interface. Conhecer o percurso permite examinar tanto as possibilidades da solução quanto as condições que limitaram seu desenvolvimento.

A obra foi organizada para quem estuda, ensina, pesquisa ou projeta nas relações entre corpo, produto e tecnologia. Os capítulos iniciais estabelecem o vocabulário necessário para distinguir movimento, amplitude e interpretação ergonômica. Em seguida, o percurso de investigação conduz às decisões técnicas e à organização do simulador. Os ensaios mostram respostas obtidas com as bibliotecas de Cinesiologia e Bike Fit, incluindo situações em que o comportamento esperado não foi alcançado.

O resultado documentado foi um protótipo funcional no ambiente de desenvolvimento. A captura integrada em tempo real, a validação comparativa completa e a execução independente permaneceram como questões a resolver. Essa condição integra o conhecimento apresentado: as demonstrações ajudam a compreender o funcionamento do sistema, enquanto suas limitações estabelecem o que ainda precisa ser investigado.

A contribuição que compartilho é um percurso de desenvolvimento em Design. Ao relacionar movimentos capturados, referências angulares e recursos de visualização, o ErgoMotion oferece material para discutir como se constrói uma ferramenta de apoio à análise. Seu estudo exige atenção à atividade humana que deu origem aos dados e aos critérios que transformaram esses dados em informação visual.

Gustavo Luiz dos Santos Dewes

Sumário

Capítulos

1 Design e movimento humano 9
2 Descrever e medir o movimento 14
3 Da investigação às decisões de projeto 20
4 Do corpo real à animação digital 25
5 Bibliotecas e regras de interpretação 32
6 Interface e arquitetura do ErgoMotion 38
7 Ensaios e leitura dos resultados 44
8 Limites e continuidade da pesquisa 53
Referências 57

CAPÍTULO 01

1 Design e movimento humano

O movimento humano oferece ao Design informações sobre a maneira como as pessoas utilizam produtos, alcançam comandos, modificam posturas e respondem às condições de uma atividade. Transformar essas informações em decisões de projeto exige observar o corpo em relação ao que ele faz. Medidas corporais, posições articulares e características do artefato participam dessa análise, mas precisam ser compreendidas em conjunto. Uma dimensão adequada no desenho pode produzir uma interação diferente daquela esperada quando o produto é utilizado.

O ErgoMotion foi desenvolvido a partir desse encontro entre representação digital e experiência física. A pesquisa resultou em um protótipo de simulador que reúne animações obtidas por captura de movimentos, um modelo humano tridimensional e regras de interpretação visual de ângulos articulares. O livro examina o artefato e as decisões de sua construção. Antes de examinar essas decisões, convém estabelecer o que o movimento pode informar ao projeto e quais questões exigem outras formas de investigação.

1.1 Projetar a relação entre corpo produto e atividade

A ergonomia considera as interações entre o ser humano e os elementos do sistema em que uma atividade acontece. No desenvolvimento de produtos, essa perspectiva permite relacionar características físicas do objeto às capacidades, necessidades e limitações de quem o utiliza. A análise envolve a função pretendida, as condições de uso e as exigências impostas ao usuário. Assim, o produto participa de uma situação mais ampla: suas dimensões, regulagens e comandos fazem sentido quando associados à atividade que devem apoiar (IIDA, 2005).

Considere, como exemplo de leitura projetual, o alcance de um comando. Conhecer a posição final da mão ajuda a verificar se o elemento está acessível. Observar o movimento permite investigar também como o usuário chegou até ele: se elevou o braço, inclinou o tronco ou alterou a posição inicialmente adotada. Essas observações não constituem, por si, uma avaliação completa, mas ajudam a formular perguntas sobre o posicionamento do comando e sobre as regulagens necessárias ao produto.

A mesma posição corporal pode assumir significados diferentes conforme a tarefa. Uma flexão do braço durante um alcance breve precisa ser interpretada em relação a uma finalidade e a um contexto distintos daqueles de uma postura mantida durante uma atividade. O ângulo descreve parte dessa configuração. A análise ergonômica precisa estabelecer por que ela ocorreu e quais condições acompanharam seu uso. Essa passagem da descrição para a interpretação impede que um único número substitua o entendimento da situação observada (THOMPSON; FLOYD, 2016).

Ao desenvolver o ErgoMotion, procurei aproximar essa necessidade de interpretação das possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais. A intenção foi tornar visíveis relações entre movimentos capturados e parâmetros da literatura, oferecendo ao usuário uma forma de acompanhar suas variações. Essa escolha orientou o projeto de um sistema de apoio à análise. O conhecimento sobre o corpo e sobre a atividade continuou necessário para decidir o que observar e para atribuir sentido às representações apresentadas pelo simulador.

1.2 Do dimensionamento ao movimento

A antropometria trata das medidas físicas do corpo humano e de suas variações. No projeto, esse conhecimento apoia decisões sobre dimensões, proporções, alcances e espaços disponíveis para o usuário. Ele permite relacionar o tamanho do artefato às características da população a que se destina. Essa relação requer atenção às diferenças entre pessoas: adotar uma única representação corporal não resolve automaticamente as necessidades de usuários com outras dimensões ou condições de uso (IIDA, 2005).

O movimento acrescenta outra camada a esse problema. As partes do corpo se articulam, mudam de orientação e assumem posições relativas diferentes ao longo da atividade. Por isso, saber onde um segmento pode chegar não esclarece integralmente quais movimentos foram necessários para realizar a ação. A observação dinâmica permite acompanhar essas mudanças e verificar como elas se relacionam com a geometria do produto, com seus pontos de contato e com a posição de seus elementos (THOMPSON; FLOYD, 2016).

O ciclismo tornou essa relação particularmente concreta no desenvolvimento do ErgoMotion. O ciclista interage com um objeto que possui pontos de apoio e possibilidades de ajuste, enquanto seu corpo realiza movimentos durante a pedalada. Uma imagem isolada pode registrar determinada configuração, mas a sequência permite observar variações entre momentos do ciclo. Na pesquisa, esse contexto ofereceu uma aplicação específica para relacionar o corpo em movimento a um produto físico, preservando a necessidade de critérios próprios de interpretação.

Dimensionamento e análise do movimento, portanto, fornecem informações complementares ao projeto. A primeira aproximação ajuda a estabelecer relações espaciais; a segunda permite acompanhar como essas relações se modificam durante o uso. A escolha de uma ferramenta depende da pergunta formulada. Para investigar uma folga, um alcance ou uma variação angular, podem ser necessários dados e representações diferentes. A clareza dessa pergunta é anterior à escolha do modelo digital ou do dispositivo de captura (IIDA, 2005; BUBB, 2019).

1.3 Modelos humanos como instrumentos de projeto

Um modelo humano digital é uma representação computacional do corpo utilizada para estudar relações entre pessoas, produtos e ambientes. Seus recursos variam

conforme a finalidade e a estrutura do sistema. Há modelos orientados ao dimensionamento e ao posicionamento de segmentos, assim como modelos destinados a análises biomecânicas mais específicas. Reconhecer essa diversidade evita atribuir a qualquer figura humana tridimensional todas as capacidades de um sistema de simulação especializado (BUBB, 2019).

A revisão apresentada na tese examinou ferramentas com enfoques distintos. Modelos como JACK e Human Builder foram discutidos em relação ao posicionamento corporal e à análise de atividades em ambientes virtuais. Outras soluções abordaram problemas como impactos, interação entre assento e corpo ou estimativa de forças musculares. Esse panorama mostrou que a representação visual é apenas uma parte do sistema: os cálculos possíveis dependem dos dados incorporados e dos modelos que sustentam cada ferramenta (BUBB, 2019).

No Laboratório de Virtual Design da UFRGS, o ErgoMotion surgiu como um desdobramento do HERIP (Humano Ergonômico Interativo e Paramétrico), desenvolvido no doutorado de Clariana Fischer Brendler, coorientadora da tese que deu origem a este livro. O HERIP articulou parametrização antropométrica e simulação virtual para apoiar análises de produtos (BRENDLER et al., 2019). A possibilidade de representar o corpo e examinar sua relação com uma estação de trabalho ajudou a situar o problema do ErgoMotion. O novo projeto concentrou-se na interpretação de movimentos capturados e na organização de referências angulares, estabelecendo seu próprio recorte de desenvolvimento.

1.4 Aproximar a experiência física da representação digital

A proposta do ErgoMotion partiu de uma pergunta sobre a integração entre prototipagem física e ferramentas virtuais. Em uma simulação construída inteiramente no computador, o pesquisador pode configurar um modelo e explorar relações espaciais. Na abordagem investigada, movimentos executados por uma pessoa no ambiente físico forneceram material para a representação digital. Essa conexão permitiu estudar uma situação em que o produto real participou da execução do movimento que depois foi visualizado no simulador.

A Figura 1 apresenta uma visão do cenário construído para o ErgoMotion. O modelo esquelético ocupa um ambiente tridimensional organizado para a observação. A imagem ajuda a reconhecer o espaço em que os movimentos são apresentados ao usuário, antes do exame dos procedimentos de captura e das regras de análise. Cenário, personagem e enquadramento integram a comunicação do projeto: determinam como o corpo digital aparece e como suas mudanças de posição podem ser acompanhadas.

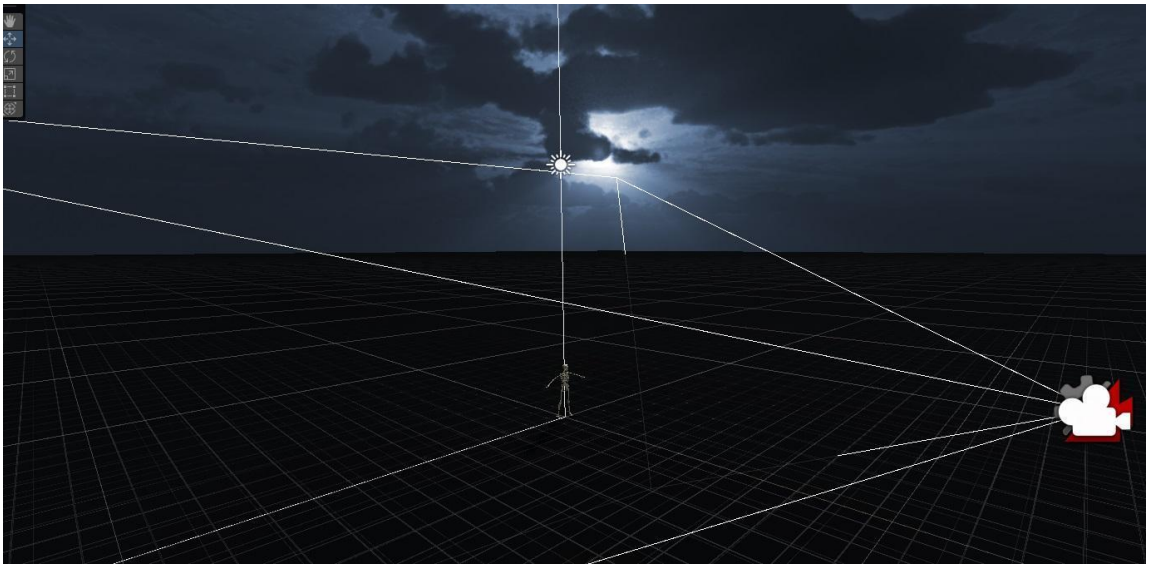


Figura 1 — Cenário tridimensional desenvolvido para o ErgoMotion
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 100, p. 169).

Entre o movimento físico e a imagem existe uma cadeia de operações. O registro precisa ser processado, relacionado a um esqueleto digital e apresentado de acordo com os parâmetros adotados. No projeto, foram utilizados sensores Kinect V1, ferramentas de processamento de captura e o ambiente Unity 3D. Essa organização será examinada adiante. Aqui, importa reconhecer que a animação visualizada é uma representação produzida por procedimentos técnicos, cuja compreensão faz parte da leitura do resultado.

Essa aproximação entre físico e digital interessa ao Design porque permite retornar à observação do uso. O leitor pode relacionar o que aparece no modelo ao movimento executado e às características do produto envolvido. Para isso, precisa preservar a conexão entre o registro e seu contexto. Uma animação destacada da atividade que a originou perde informações necessárias à interpretação, mesmo quando sua apresentação gráfica é clara e os segmentos corporais são facilmente identificáveis.

1.5 O recorte do ErgoMotion

O desenvolvimento se concentrou em duas aplicações: movimentos articulares organizados na biblioteca de Cinesiologia e posicionamentos associados a bicicletas de competição na biblioteca de Bike Fit. As aplicações compartilham recursos de representação e programação, mas respondem a perguntas diferentes. A primeira apresenta movimentos e amplitudes de referência; a segunda relaciona configurações corporais a parâmetros específicos do ciclismo. Essa diferença precisa permanecer clara, pois o significado de uma indicação visual depende da biblioteca em análise.

Na biblioteca de Cinesiologia, a progressão cromática foi associada à variação de amplitude dos movimentos selecionados. Na biblioteca de Bike Fit, a leitura considera referências de posicionamento próprias da aplicação. Em ambos os casos, a cor constitui uma forma de comunicar os parâmetros programados. Seu significado depende do

movimento, do intervalo utilizado e da regra correspondente. A interpretação exige conhecer esses elementos, em vez de atribuir o mesmo sentido a uma cor em qualquer situação corporal.

A intenção de trabalhar com tecnologias financeiramente acessíveis também orientou o recorte. A pesquisa utilizou dispositivos e recursos disponíveis em seu contexto de realização, buscando construir uma alternativa de investigação com esses meios. A acessibilidade foi uma diretriz do desenvolvimento, e deve ser compreendida junto das exigências de preparação da captura, processamento e operação do protótipo. O estudo dessas escolhas permite ao leitor reconhecer as relações entre recursos disponíveis, decisões técnicas e alcance do artefato.

A contribuição apresentada neste livro está nesse processo de articulação. O corpo forneceu movimentos; a literatura ofereceu referências para descrevê-los; os recursos digitais permitiram construir uma representação interativa. Essa passagem exige um vocabulário comum. O próximo capítulo estabelece as diferenças entre descrever um movimento, medir um ângulo e interpretar uma situação ergonômica. Essas distinções sustentam tanto a compreensão do ErgoMotion quanto a avaliação cuidadosa de suas possibilidades de uso.

CAPÍTULO 02

2 Descrever e medir o movimento

Para construir uma representação digital do movimento, é necessário decidir o que será descrito e como essa descrição será medida. Termos como amplitude, flexão e rotação precisam de referências explícitas. Um valor angular isolado não informa qual articulação foi observada, em que direção ela se moveu ou qual posição foi adotada como início. No ErgoMotion, essas definições ligaram o conhecimento sobre o corpo às variáveis utilizadas na programação e às informações oferecidas ao usuário (THOMPSON; FLOYD, 2016; MARQUES, 2003).

A base conceitual da pesquisa reuniu ergonomia, antropometria, cinesiologia e goniometria. Dentro do estudo mecânico do movimento, também é necessário distinguir cinemática e cinética. Esses campos se relacionam, mas não descrevem o mesmo fenômeno nem autorizam as mesmas conclusões. Entender suas diferenças permite identificar o tipo de informação efetivamente representado no simulador e evita interpretar uma mudança de posição como se ela expressasse, automaticamente, esforço muscular ou condição de conforto.

2.1 As perguntas que cada campo responde

A antropometria responde a questões relacionadas às dimensões do corpo e às suas variações. Comprimentos e proporções ajudam a estabelecer relações espaciais entre pessoa e produto. No ambiente digital, esses dados contribuem para a construção ou configuração da representação humana. Conhecer uma dimensão corporal, entretanto, não descreve toda a movimentação de uma articulação. Para examinar os movimentos, é necessário considerar também a organização e o funcionamento das estruturas envolvidas (IIDA, 2005).

A cinesiologia estuda o movimento humano a partir de conhecimentos de anatomia, fisiologia e mecânica. Ela permite relacionar os segmentos corporais, as articulações e as ações que podem executar. Na pesquisa, esse conhecimento apoiou a identificação e a organização dos movimentos apresentados pelo ErgoMotion. Sua utilização exigiu selecionar quais articulações e quais ações seriam consideradas, em vez de tratar o corpo como uma estrutura que se move de maneira uniforme em todas as direções (THOMPSON; FLOYD, 2016).

A cinemática descreve o movimento sem recorrer às forças que o produzem. O acompanhamento de posições e orientações ao longo de uma sequência pertence a esse domínio. A cinética, por sua vez, examina as forças que atuam sobre um sistema e suas relações com o movimento. Essa distinção é decisiva para ler uma animação corporal: visualizar uma articulação mudando de posição fornece informação sobre seu movimento, mas não equivale a medir a força que atuou sobre ela (BARBOSA, 2015).

A goniometria se ocupa da mensuração de ângulos articulares. Ela estabelece procedimentos para relacionar segmentos corporais e expressar suas posições ou amplitudes em graus. No ErgoMotion, as referências goniométricas ajudaram a definir os intervalos dos movimentos e a associá-los às representações visuais. Essa aplicação dependeu de uma descrição clara da articulação, da posição de referência e do sentido do movimento, elementos necessários para que o número tivesse significado dentro da análise (MARQUES, 2003).

A ergonomia utiliza conhecimentos sobre o corpo para examinar sua interação com produtos, atividades e ambientes. Uma descrição cinemática ou uma medida goniométrica pode contribuir para essa análise, desde que seja relacionada às condições de uso. Ao organizar o ErgoMotion, parti dessa articulação entre campos: as medidas forneceram referências para a representação, enquanto a questão de projeto permaneceu ligada à experiência humana com o produto. O simulador foi construído para apoiar a leitura de parte dessa experiência (IIDA, 2005).

2.2 Planos e movimentos articulares

Os movimentos podem ser descritos em relação a três planos anatômicos principais: sagital, frontal e transverso. O plano sagital divide o corpo em porções direita e esquerda; o frontal, em porções anterior e posterior; e o transverso, em porções superior e inferior. Esses referenciais ajudam a organizar a descrição espacial. Sua utilidade está em permitir que o leitor compreenda a direção do movimento e relacione a ação observada à articulação examinada (THOMPSON; FLOYD, 2016).

Flexão e extensão descrevem movimentos de aproximação e afastamento entre segmentos, frequentemente apresentados no plano sagital. Dobrar o antebraço em direção ao braço exemplifica a flexão do cotovelo; seu retorno em direção à posição estendida exemplifica a extensão. Abdução e adução são descritas em relação ao afastamento e à aproximação da linha média corporal. Rotações medial e lateral expressam o giro do segmento para dentro ou para fora, conforme a articulação e o referencial adotados (SACCO; TANAKA, 2008; MARQUES, 2003).

As possibilidades variam entre articulações. O ombro e o quadril permitem movimentos em diferentes planos, enquanto outras articulações apresentam organização mais restrita. A Figura 2 reúne as representações dos movimentos do ombro elaboradas durante a pesquisa. O conjunto permite comparar ações diferentes na mesma região corporal e reconhecer que uma análise precisa identificar o movimento selecionado. A aparência geral do braço na tela não substitui essa identificação, especialmente quando a ação combina mudanças em mais de um plano (THOMPSON; FLOYD, 2016; SACCO; TANAKA, 2008).

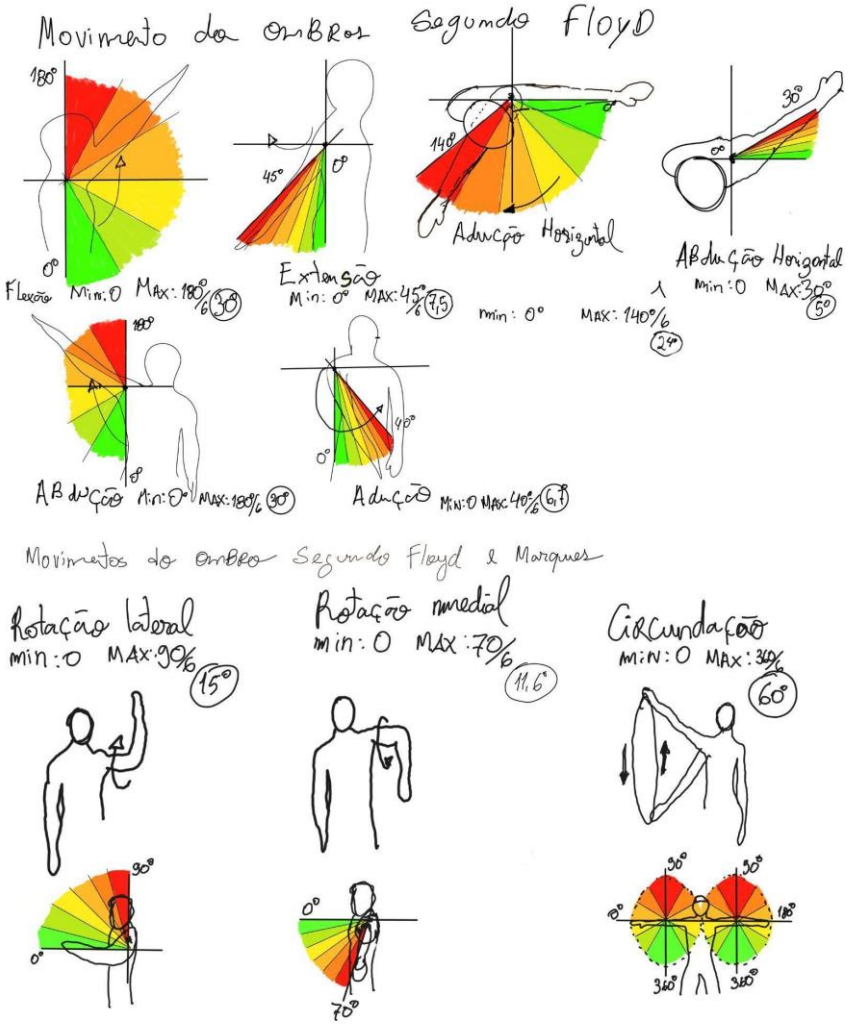


Figura 2 — Estudos gráficos dos movimentos do ombro
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 69, p. 138).

Essa nomenclatura também tem uma função prática na organização de uma biblioteca digital. Nomear cada movimento permite relacionar o ícone, a animação, a articulação e os parâmetros correspondentes. O usuário precisa saber qual ação está sendo observada antes de interpretar sua amplitude. No desenvolvimento do ErgoMotion, as descrições de cinesiologia serviram de base para essa organização. A representação foi, assim, construída a partir de movimentos definidos, com escolhas explícitas sobre o que integrar ao sistema (THOMPSON; FLOYD, 2016).

2.3 Goniometria e posição de referência

Medir um ângulo requer definir as direções entre as quais ele será observado. Na goniometria, o posicionamento do instrumento e sua relação com os segmentos corporais são parte do procedimento. O valor obtido depende dessa convenção. Por isso, informar apenas um número é insuficiente para permitir que outra pessoa compreenda ou reproduza a leitura. É necessário identificar a articulação, o movimento e a posição que serviu de referência à mensuração (MARQUES, 2003).

O cotovelo oferece um exemplo útil. A flexão foi apresentada na pesquisa com referência de 0° a 145°, e a extensão como o retorno da flexão, de 145° a 0°. Nessa convenção, a posição de referência e o sentido do percurso determinam como a sequência é descrita. O número maior não significa, por si, uma condição melhor ou pior: ele expressa um ponto no intervalo adotado para aquele movimento (MARQUES, 2003).

Uma representação computacional precisa preservar essa relação entre valor e movimento. Se a animação é observada no sentido contrário, o leitor deve reconhecer que o percurso também se inverteu. Da mesma forma, uma mudança de referencial pode produzir outro modo de expressar a posição, exigindo explicação antes de qualquer comparação. Esse cuidado é particularmente relevante quando dados provenientes de uma captura são relacionados a parâmetros descritos em manuais ou em bibliotecas com finalidades distintas.

As amplitudes apresentadas na literatura funcionaram como referências para o desenvolvimento. Elas não dispensam a consideração das diferenças entre pessoas e das condições de mensuração. A leitura de um intervalo pressupõe conhecer sua origem e sua aplicação. Para o Design, esse cuidado ajuda a evitar a transformação de um valor de referência em uma prescrição geral para qualquer usuário, tarefa ou produto. A medida fornece informação para a análise; seu significado precisa ser construído no contexto investigado (MARQUES, 2003; THOMPSON; FLOYD, 2016).

2.4 Do valor de referência à regra visual

Na biblioteca de Cinesiologia, os movimentos selecionados foram representados por uma progressão cromática associada às amplitudes adotadas. A pesquisa utilizou seis cores para organizar essa leitura, partindo da posição inicial e avançando até o limite de referência do movimento. Essa decisão transformou um intervalo numérico em informação gráfica. Para interpretá-la, o usuário precisa reconhecer o movimento e o intervalo correspondente, pois amplitudes diferentes podem compartilhar uma organização visual semelhante.

A Figura 3 apresenta as representações dos movimentos do punho elaboradas pelo autor. Entre as referências empregadas, a abdução, também denominada desvio radial, foi descrita de 0° a 20°, e a adução, ou desvio ulnar, de 0° a 45°. Os exemplos mostram que movimentos da mesma região corporal podem ter intervalos distintos. Assim, uma cor situada em determinada etapa da progressão não corresponde necessariamente ao mesmo número de graus em todas as análises (MARQUES, 2003).

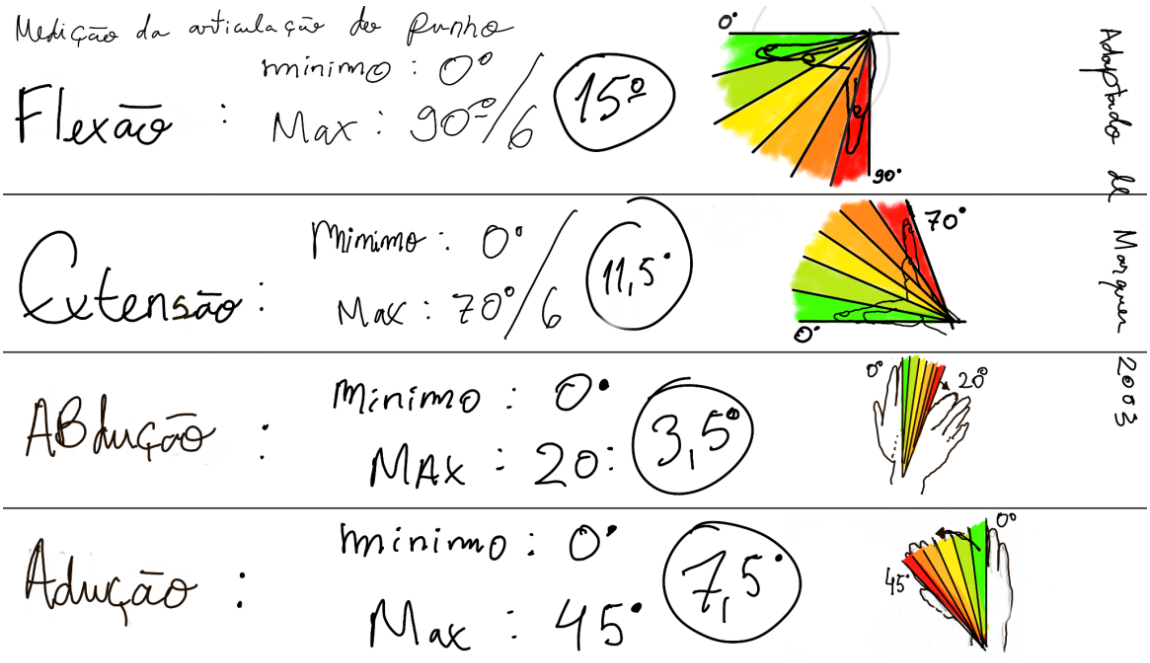


Figura 3 — Estudos gráficos dos movimentos do punho
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 67, p. 137).

A gradação serviu para comunicar a posição do movimento em relação à referência programada. Ela não mediu diretamente força muscular, pressão de contato ou sensação de desconforto. Também não demonstrou, apenas por aparecer na tela, a precisão do registro que lhe deu origem. A distinção entre dado e apresentação é necessária: a resposta cromática pode tornar uma variação mais fácil de acompanhar, enquanto a qualidade da informação depende de como o movimento foi registrado e processado (BARBOSA, 2015).

Esse entendimento permite empregar a visualização de maneira informada. Ao observar uma mudança de cor, interessa perguntar qual parâmetro foi comparado, a que movimento ele pertence e qual intervalo foi adotado. As respostas ligam a imagem aos critérios do sistema. A partir delas, o usuário pode discutir o que a representação mostra e quais informações adicionais seriam necessárias para analisar a situação de uso do produto. A interface ganha utilidade quando seus critérios permanecem compreensíveis.

2.5 Conhecimento goniométrico aplicado ao Design

Aplicar goniometria ao Design envolve escolher medidas pertinentes ao problema investigado. Um produto pode exigir a observação de várias articulações, e cada uma delas pode executar mais de um movimento. A seleção precisa considerar a atividade e as informações que a ferramenta consegue representar. No ErgoMotion, o recorte reuniu movimentos dos punhos, cotovelos, ombros, regiões cervical e lombar, quadris, joelhos e tornozelos, conforme as referências consultadas e as possibilidades de desenvolvimento (MARQUES, 2003; THOMPSON; FLOYD, 2016).

A passagem do conhecimento anatômico para uma variável digital exige escolhas de representação. O sistema precisa relacionar o segmento observado à estrutura do modelo, identificar a direção pertinente e utilizar a referência correspondente. Esses procedimentos serão detalhados nos capítulos de desenvolvimento. A questão conceitual é anterior: o nome da articulação, a convenção angular e o sentido do movimento precisam permanecer coerentes entre a literatura, a animação e a informação oferecida ao leitor.

Para estudantes e profissionais, a observação dos movimentos pode funcionar como exercício de leitura das relações entre corpo e artefato. Interessa acompanhar a posição dos segmentos, identificar o movimento envolvido e relacioná-lo aos elementos do produto. Essa leitura precisa distinguir o que foi observado da interpretação atribuída à observação. Descrever uma amplitude e discutir sua adequação à atividade são operações relacionadas, mas exigem fundamentos diferentes e não devem ser confundidas durante o registro da análise (IIDA, 2005; BARBOSA, 2015).

Esse vocabulário estabelece a base para compreender as decisões que deram forma ao ErgoMotion. A descrição do movimento oferece categorias; a goniometria fornece referências angulares; a ergonomia relaciona essas informações à situação de uso. A construção do simulador exigiu organizar essas contribuições em procedimentos, bibliotecas e regras de apresentação. O capítulo seguinte examina como a investigação foi conduzida e como a seleção de informações e recursos orientou o desenvolvimento do artefato.

CAPÍTULO 03

3 Da investigação às decisões de projeto

O ErgoMotion foi desenvolvido para investigar uma relação concreta: como fazer com que movimentos realizados durante o uso de um produto físico pudessem ser observados e interpretados em um ambiente digital. A resposta exigiu mais do que escolher um sensor. Foi necessário articular referências sobre o corpo humano, tecnologias de registro, modelos tridimensionais e critérios de comunicação visual. Este capítulo apresenta o percurso que orientou essas escolhas e mostra como o problema de pesquisa se transformou em decisões de projeto.

3.1 Uma pesquisa orientada à construção de um artefato

A investigação adotou a Design Science Research, abordagem voltada à construção e à avaliação de artefatos destinados a enfrentar problemas identificados. Nessa perspectiva, uma solução é examinada em relação às condições em que foi concebida, aos recursos disponíveis e ao conhecimento que permite produzir. O artefato não precisa representar uma solução ideal para toda situação; precisa tornar explícita a relação entre o problema abordado, as decisões adotadas e as evidências obtidas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

No caso do ErgoMotion, o artefato reuniu um modelo humano digital, bibliotecas de movimentos, regras de interpretação angular e uma interface de visualização. Seu desenvolvimento procurou aproximar a prototipagem física da simulação virtual. O produto observado permaneceu no ambiente real; o movimento de quem o utilizava foi registrado, processado e aplicado ao modelo digital. Essa organização permitiu estudar a interação sem exigir que toda a situação de uso fosse previamente reconstruída como uma cena virtual detalhada.

O problema foi acompanhado por uma hipótese de integração: um motor de jogos e um sistema óptico de captura sem marcadores poderiam apoiar a representação de movimentos e sua comparação com referências angulares. Essa hipótese orientou a construção do simulador. Sua formulação, entretanto, não constitui, por si, uma confirmação de exatidão das medidas ou de adequação ergonômica dos produtos analisados. Para avaliar o alcance da proposta, a pesquisa precisou observar o funcionamento efetivo do conjunto e reconhecer os pontos em que sua implementação permaneceu incompleta.

O percurso metodológico passou pela identificação do problema, pelo levantamento de soluções existentes, pela definição de requisitos, pelo desenvolvimento e pelas avaliações do protótipo. A revisão bibliográfica e a experimentação técnica alimentaram essas etapas. Não se tratou apenas de cumprir uma sequência formal: uma limitação

encontrada na captura, por exemplo, alterou a maneira de obter as animações, enquanto a necessidade de distinguir movimentos levou à organização das bibliotecas e de seus parâmetros (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015).

O Quadro 1 reorganiza esse percurso segundo as decisões que o leitor precisa compreender. A distinção entre intenção e evidência é especialmente importante na etapa de avaliação. A pesquisa demonstrou comportamentos do protótipo e documentou experiências de captura; a validação comparativa completa, prevista entre os objetivos, não foi concluída.

Quadro 1 — Relação entre etapas da investigação e decisões de projeto

Etapa	Decisão ou produto da etapa
Compreender o problema	Integrar movimentos de usuários de produtos físicos a uma representação digital interpretável.
Examinar o conhecimento existente	Reunir referências de ergonomia, goniometria, modelos humanos digitais e tecnologias de captura.
Selecionar a solução técnica	Combinar Kinect V1, ferramentas iPi Soft e Unity 3D, segundo os recursos da pesquisa.
Projetar e desenvolver	Organizar bibliotecas, animações, interface, parâmetros e respostas cromáticas.
Examinar o funcionamento	Observar sequências capturadas, respostas visuais e verificações angulares em situações descritas na tese.
Explicitar os limites	Registrar falhas de captura, validação comparativa pendente e ausência de executável independente.

Fonte: Reorganizado de Dewes (2024, p. 88–110 e 281–282).

3.2 O recorte da revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica sistemática foi estruturada em entrada, processamento e saída. O procedimento procurou identificar pesquisas relacionadas à captura de movimentos, aos modelos humanos digitais, aos motores de jogos e à avaliação ergonômica. A pergunta central era como integrar ferramentas virtuais e prototipagem física para mapear e analisar ângulos de movimento no design de produtos. Essa formulação direcionou o levantamento, evitando que a revisão se tornasse um inventário indiferenciado de tecnologias (CONFORTO; DA SILVA, 2011).

As buscas contemplaram Scopus, Web of Science, MEDLINE via PubMed, IEEE Xplore e SpringerLink. Foram combinadas as expressões em inglês Motion Capture, Game Engine, Digital Human Model e Ergonomic Assessment, em consultas com diferentes graus de abrangência. Uma combinação reuniu os quatro termos com o operador AND; outras exploraram relações entre dois ou três desses eixos. O interesse estava tanto nos sistemas

integrados quanto nos componentes capazes de fundamentar o desenvolvimento do simulador.

O recorte temporal abrangeu publicações de 2012 a 2022. O levantamento inicial reuniu 1.806 documentos, organizados no Zotero 6.0.4. Na triagem, apoiada pelo Rayyan, foram examinados títulos, palavras-chave e resumos segundo a pertinência para a questão de pesquisa. Esses números descrevem o levantamento realizado durante o doutorado; não representam uma atualização da literatura até o ano de preparação deste livro.

O direcionamento para soluções ópticas sem marcadores produziu exclusões temáticas. Entre os termos afastados da triagem estavam aplicações odontológicas, realidade virtual ou aumentada, captura inercial, sensores vestíveis, acelerômetros, Arduino e sistemas Vicon. A exclusão não estabeleceu que essas abordagens fossem inadequadas para a ergonomia. Ela delimitou o conjunto de trabalhos que se aproximava da solução técnica investigada. Assim, as conclusões da revisão precisam ser entendidas em relação a esse recorte, e não como uma comparação exaustiva de todas as modalidades de captura.

Ao final do primeiro filtro, foram selecionados 42 artigos. Em seguida, foram acrescentados um trabalho sobre Bike Fit e o estudo de Brendler et al. (2019) sobre a aplicação do HERIP em uma estação de trabalho, totalizando 44 textos considerados na etapa seguinte. A análise aprofundada apresentada na tese reuniu quatro estudos, discutidos por sua contribuição às decisões de desenvolvimento.

Na leitura aprofundada, o estudo de Haggag e colaboradores aproximou a captura com Kinect da avaliação postural em operações de montagem, empregando o método RULA. Para a pesquisa, esse trabalho ajudou a situar a possibilidade de transformar dados de movimento em informação para a ergonomia, mas também a reconhecer dificuldades de oclusão e de representação das mãos. O fato de outro sistema empregar uma classificação ergonômica não significa que essa classificação tenha sido automaticamente implementada ou validada no ErgoMotion (HAGGAG et al., 2013).

O estudo de Vox e colaboradores examinou rastreadores associados à tecnologia de realidade virtual em comparação com um sistema de captura com marcadores. A síntese realizada na tese chamou atenção para a dependência dos resultados em relação às articulações e aos ângulos avaliados. A lição para o projeto foi que uma animação visualmente plausível não basta para assegurar a qualidade de uma medida. Os participantes e os desvios angulares descritos naquele estudo pertencem à pesquisa revisada, não aos ensaios do ErgoMotion (VOX et al., 2021).

Wagner, Reed e Rasmussen investigaram a importância da dinâmica do movimento em análises ergonômicas de manipulação de materiais com o sistema AnyBody. Shippen e May apresentaram o BoB, desenvolvido em MATLAB, com recursos de dinâmica inversa e análise musculoesquelética. Esses estudos ajudaram a distinguir a representação cinemática da investigação de forças e cargas. O ErgoMotion concentrou-se na

visualização de movimentos e em referências angulares; não incorporou, por essa aproximação bibliográfica, os cálculos musculares ou as capacidades analíticas daqueles sistemas (WAGNER; REED; RASMUSSEN, 2007; SHIPPEN; MAY, 2016).

3.3 A escolha das tecnologias

A seleção do hardware considerou o orçamento, a disponibilidade no laboratório e o tipo de informação necessário. Foram utilizados dois sensores Kinect V1, disponíveis no Laboratório de Virtual Design da UFRGS. A opção permitiu explorar um recurso originalmente associado aos videogames para registrar movimentos corporais sem marcadores fixados ao ator. A escolha pelo menor custo não suprimiu as limitações do equipamento: a pesquisa reconheceu a dificuldade de captar extremidades e a importância de múltiplas perspectivas para reduzir oclusões.

O iPi Soft foi adotado como intermediário para o registro e o processamento dos movimentos. A disponibilidade de tutoriais e de uma versão de avaliação por 30 dias favoreceu a experimentação durante a pesquisa. Essa condição também restringiu o tempo de trabalho e a quantidade de animações produzidas. O uso da versão de avaliação deve ser compreendido como uma circunstância histórica do desenvolvimento, sem pressupor gratuidade permanente, licenciamento de distribuição ou condições comerciais atuais.

O Unity 3D forneceu a base para reunir modelo, animação, interface e programação em C#. Um motor de jogos oferece recursos de renderização e interação que podem ser utilizados fora do entretenimento. Sua adoção, neste caso, permitiu construir um ambiente em que a reprodução dos movimentos acionava respostas gráficas. A escolha não transformou o projeto em um jogo, nem tornou automáticas as etapas de medição e interpretação ergonômica (ANDRADE, 2015).

A familiaridade do autor com ferramentas de computação gráfica, a disponibilidade de material de aprendizagem e a possibilidade de organizar os comportamentos por scripts participaram dessa decisão. A pesquisa procurou um equilíbrio entre viabilidade de desenvolvimento e qualidade de representação. Não foi conduzido um teste comparativo que demonstrasse superioridade do Unity sobre outros motores para todas as análises ergonômicas.

3.4 Requisitos e estado de implementação

A definição dos requisitos traduziu necessidades em características a desenvolver. Foram consideradas funções de visualização, organização dos movimentos, armazenamento das animações, navegação e interpretação cromática. Os parâmetros de avaliação foram vinculados à literatura de goniometria e cinesiologia e, no ciclismo, às referências selecionadas de Bike Fit. Essa explicitação é importante porque permite compreender o que o sistema foi programado para mostrar e quais escolhas dependiam de conhecimento especializado (BACK et al., 2008).

Um requisito descreve um comportamento desejado; a existência de um item no planejamento não demonstra sua realização. O Quadro 2 resume diferenças decisivas para a leitura dos capítulos seguintes. Na versão estudada, a reprodução de animações previamente preparadas e a resposta cromática ocorreram no ambiente de desenvolvimento. A integração direta da captura em tempo real e a distribuição como executável independente permaneceram como problemas a resolver.

Quadro 2 — Funções demonstradas e desenvolvimentos pendentes

Recurso	Situação documentada na pesquisa
Bibliotecas de Cinesiologia e Bike Fit	Desenvolvidas para seleção, reprodução e interpretação de movimentos no protótipo.
Navegação no modelo e na animação	Interface com controles de visualização e linha do tempo documentada.
Seleção pelo botão Upload	Seleção de animações já preparadas e organizadas no projeto; não comprova importação geral de arquivos externos.
Captura direta no ErgoMotion	Integração em tempo real não concluída; o botão Kinect não funcionava na versão descrita.
Modelos de zero meses, dois e sete anos	Modelos animados desenvolvidos, ainda sem sinalizadores de conforto.
Comparação com sistema independente	Validação comparativa completa não realizada.
Executável autônomo	Não obtido com comportamento consistente fora do ambiente de desenvolvimento.

Fonte: Reorganizado de Dewes (2024, p. 163, 171–181 e 277–282).

A facilidade de uso orientou a interface, mas a pesquisa não apresentou resultados de avaliação com usuários ou da escala de diferencial semântico prevista. Essa distinção permite reconhecer as decisões implementadas e as questões que ainda exigem evidência.

CAPÍTULO 04

4 Do corpo real à animação digital

A construção do ErgoMotion exigiu relacionar duas estruturas distintas: o corpo que executou os movimentos e o modelo digital que passou a reproduzi-los. Essa relação não foi automática. Entre a ação do ator e a animação apresentada na tela, houve preparação da malha tridimensional, organização das articulações virtuais, calibração dos sensores e revisão do rastreamento. O percurso adotado separou a aquisição dos movimentos de sua interpretação no simulador. Os registros foram processados no iPi Soft e incorporados ao projeto desenvolvido no Unity, no qual receberam os parâmetros de análise e os recursos de interação. Compreender essa cadeia ajuda a localizar tanto as decisões de projeto quanto as possíveis origens de uma representação inadequada.

4.1 A preparação do modelo esquelético

A representação esquelética foi escolhida para tornar visíveis as articulações e as relações entre segmentos corporais. No desenvolvimento, o contato com modelos humanos digitais empregados em ergonomia e biomecânica contribuiu para essa escolha. A aparência do esqueleto permitiu concentrar a atenção nos movimentos e nos sinalizadores, sem acrescentar as camadas superficiais de um personagem humano completo. Trata-se de uma opção de representação: mostrar ossos em uma cena tridimensional não significa que o sistema tenha reproduzido todas as estruturas anatômicas, forças musculares ou condições fisiológicas envolvidas na ação observada.

O modelo adulto utilizado como ponto de partida foi adquirido na plataforma Sketchfab. Essa decisão reduziu o trabalho necessário para iniciar a construção do simulador, mas não elimina a distinção entre a autoria da malha original e as intervenções realizadas no projeto. A contribuição do desenvolvimento envolveu preparar o modelo para a aplicação, produzir variações e integrá-lo às animações e à interface. A aparência final da representação resultou, portanto, da combinação de um recurso previamente existente com decisões de modelagem, articulação e programação tomadas durante a pesquisa. Essa origem precisa ser considerada ao descrever a autoria dos componentes do simulador.

Para receber movimentos, uma malha precisa estar associada a uma estrutura de articulação e controle. Esse processo é conhecido como rigging. Os bones são elementos digitais que organizam as cadeias articuladas; os pesos definem como a geometria acompanha seu deslocamento. No ErgoMotion, a preparação foi realizada com apoio da plataforma Adobe Mixamo. O personagem foi organizado em T-pose, posição na qual os braços permanecem abertos horizontalmente. Essa pose forneceu uma referência inicial para o trabalho com animações.

O desenvolvimento também contemplou modelos correspondentes a recém-nascido, criança de dois anos e criança de sete anos. Eles foram produzidos a partir da malha

adulta, com ajustes de proporção no Autodesk 3ds Max. A técnica empregada permitiu selecionar, redimensionar e reorganizar partes da geometria por edição de polígonos. Depois das modificações, cada modelo passou novamente pela preparação no Mixamo. Assim, a criação dessas variações envolveu modelagem e articulação próprias, em vez de uma simples mudança de altura do personagem adulto. As referências visuais procuraram representar as diferenças entre cabeça, tronco e membros nas idades escolhidas.

O alcance dessas variações precisa permanecer explícito. Ao final da pesquisa, os modelos infantis estavam animados, mas ainda não possuíam os sinalizadores de conforto presentes no modelo adulto. Sua existência não demonstrou a validade de análises pediátricas nem uma equivalência entre amplitudes de movimento de crianças e adultos. Diferenciar geometria, animação e parâmetros de avaliação evita que uma mudança visual seja interpretada como uma funcionalidade analítica já concluída. A inclusão de sinalizadores e critérios específicos para essas faixas etárias permaneceu como possibilidade de continuidade do projeto.

4.2 Os sensores e as condições de captura

As gravações utilizaram dois sensores Kinect V1 disponibilizados pelo Laboratório Virtual Design da UFRGS: uma unidade para Windows e outra destinada ao Xbox 360. A operação exigiu instalar os drivers necessários e configurar o ambiente computacional de aquisição. O uso de duas perspectivas procurou reduzir os trechos em que um segmento corporal encobria outro. Essa escolha, entretanto, não eliminou a oclusão nem estabeleceu, por si só, a precisão das medidas obtidas. A quantidade e a disposição das câmeras compõem as condições de observação; a qualidade do rastreamento também depende do movimento, do enquadramento e da possibilidade de reconhecer os segmentos ao longo da sequência.

O projeto inicial previa aproximar a aquisição de movimentos e o ambiente de análise por uma integração direta entre sensores e simulador. Essa integração não foi concluída. A programação necessária para administrar múltiplos dispositivos e as restrições enfrentadas durante a pandemia levaram à adoção do iPi Soft como intermediário. Essa decisão permitiu concentrar o desenvolvimento no tratamento das animações, na parametrização das articulações e na comunicação visual das amplitudes. O resultado foi uma cadeia de processamento de movimentos previamente registrados. A reprodução interativa dessas sequências no Unity não deve ser confundida com captura ao vivo do corpo pelo ErgoMotion.

A solução intermediária reuniu o iPi Recorder 4 e o iPi Mocap Studio 4. O primeiro participou da aquisição dos registros; o segundo permitiu trabalhar com calibração e rastreamento. A versão de teste utilizada limitava o arranjo a dois sensores durante seu período de disponibilidade. Embora quatro dispositivos tenham sido considerados desejáveis no planejamento, eles não foram empregados nessa configuração. Portanto,

uma eventual redução de oclusões com um conjunto maior permaneceu uma expectativa técnica, sem comparação experimental realizada no estudo. As limitações de orçamento e de acesso aos recursos participaram diretamente da definição do procedimento possível.

As primeiras gravações ocorreram na residência do pesquisador e no laboratório VID. O arranjo buscou espaço livre, iluminação uniforme e ausência de obstáculos que interferissem na leitura do corpo. Para as duas câmeras, foi escolhida uma abertura entre 60° e 90°, condicionada pelo espaço disponível e pelo alcance dos cabos. A documentação consultada também apresentava uma alternativa próxima de 180°, com sensores em posições opostas. O esquema reproduzido nessa documentação indicava distâncias aproximadas de 2,5 a 3 m entre ator e sensores; esses números não constituem um levantamento dimensional do estúdio utilizado. As dimensões exatas das salas não foram registradas no relato da pesquisa.

4.3 Calibrar antes de interpretar

A calibração estabeleceu a referência espacial necessária para relacionar as observações dos sensores. O trabalho começou pelo reconhecimento do ambiente vazio e prosseguiu com o registro de um quadro apresentado às câmeras. Ao longo do desenvolvimento, foram experimentados quadros com diferentes características visuais e tamanhos. O pesquisador observou que um quadro maior, movimentado lentamente, favorecia o reconhecimento. Essa observação orientou o procedimento adotado, mas não foi acompanhada de um ensaio quantitativo que comparasse dimensões ou velocidades. A Figura 4 apresenta o registro inicial dessa preparação, permitindo observar as duas perspectivas usadas na aquisição.

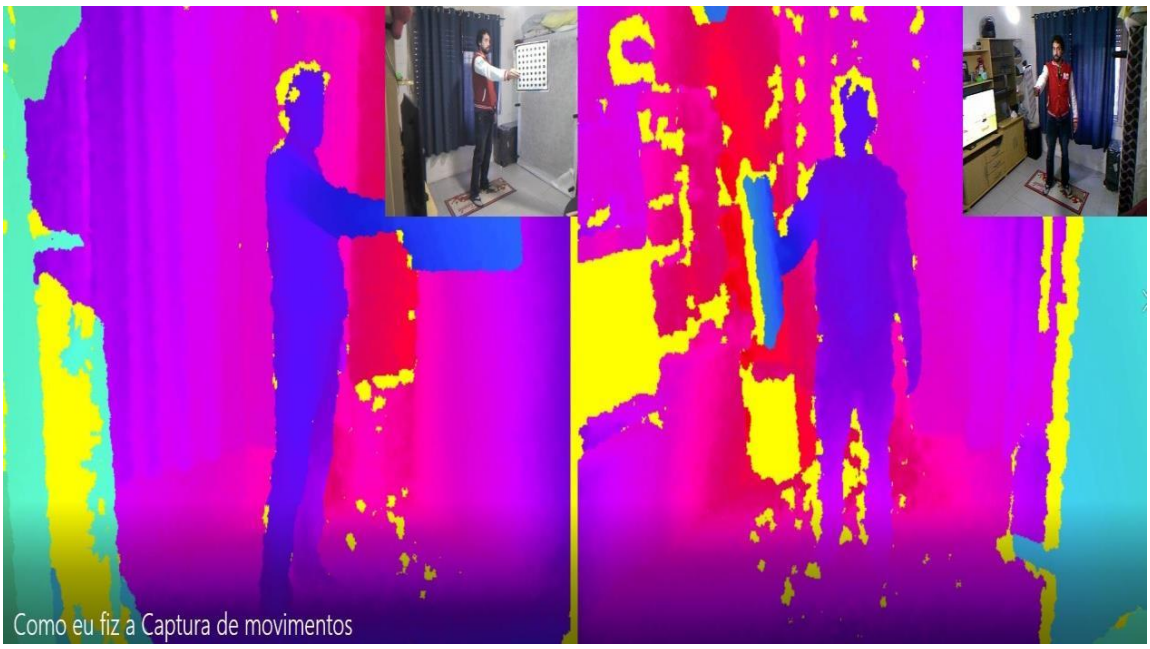


Figura 4 — Preparação da calibração com duas perspectivas de captura

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 94, p. 161).

O registro de calibração foi trabalhado no iPi Mocap Studio como um Calibration Project. Para os sensores de profundidade, foi selecionado o procedimento por quadro; a alternativa de calibração por luz foi mencionada para outros arranjos de câmeras. Durante o processamento, o programa identificou pontos nas extremidades do plano de referência. A Figura 5 mostra essa identificação. O quadro, nesse caso, não era um marcador preso ao corpo: ele integrava a preparação do espaço de captura. Essa distinção é relevante para compreender como um procedimento de calibração com uma referência visível coexistiu com a captura corporal sem marcadores fixados ao ator.

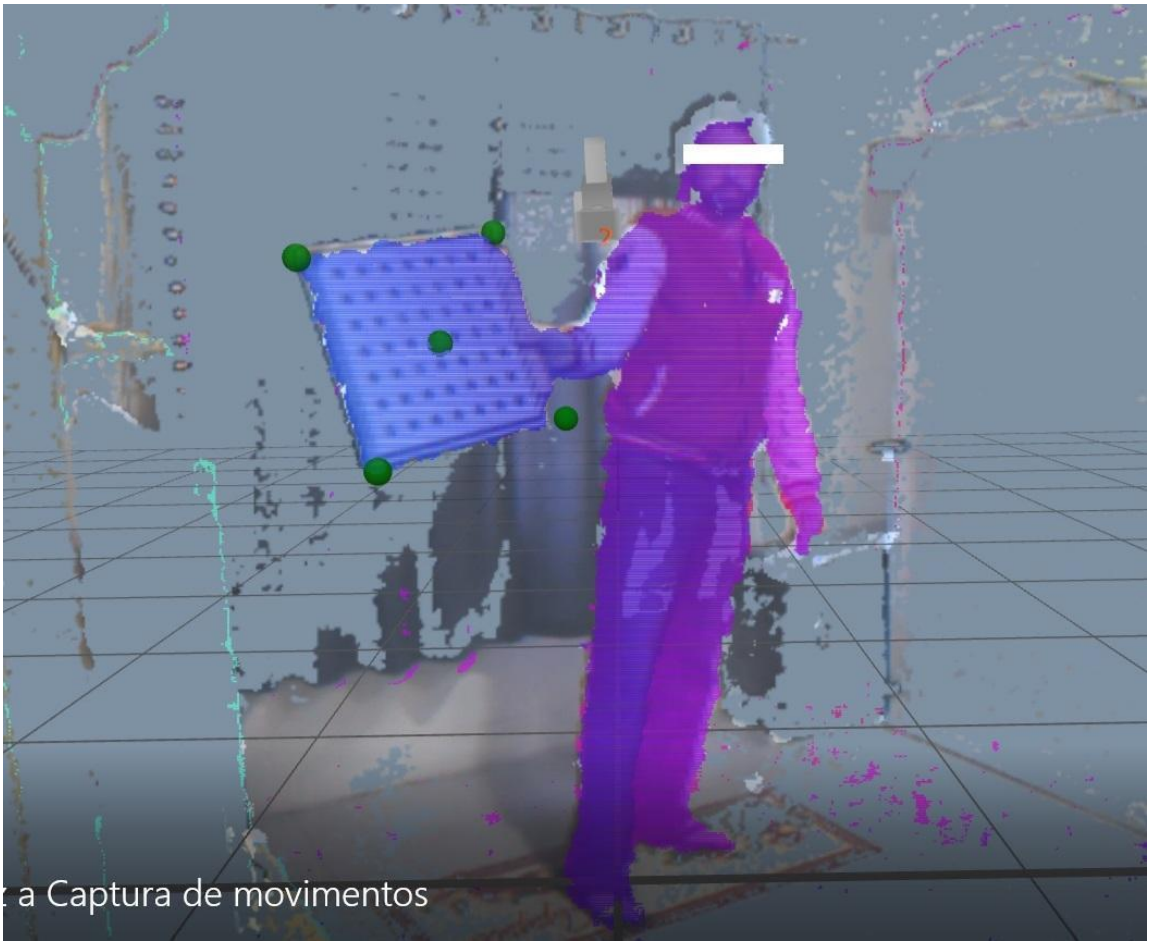


Figura 5 — Identificação dos pontos do quadro de calibração
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 96, p. 163).

Na conferência da calibração, foram buscadas classificações Good ou Perfect fornecidas pelo programa. O pesquisador também relatou situações em que a indicação automática de falha não parecia corresponder ao alinhamento observado entre quadro e pontos detectados. Esse registro revela uma dificuldade prática do desenvolvimento, sem estabelecer um critério independente para aceitar resultados reprovados. Para interpretar os ensaios, interessa preservar a existência dessa revisão visual e reconhecer que ela não substituiu uma avaliação metrológica do conjunto. Um sinal de calibração satisfatória representa uma condição de trabalho do sistema de captura, e não uma certificação da exatidão de todas as amplitudes posteriormente calculadas.

4.4 Do rastreamento à animação

As tomadas dos movimentos articulares começaram em T-pose. A posição de referência ajudou a organizar o rastreamento antes da execução de cada ação. Foram produzidas 38 animações, orientadas pelo repertório de movimentos e amplitudes adotado na pesquisa. A preparação procurou tornar reconhecíveis ações como flexão, extensão e rotações, mas a execução do ator e a resposta dos sensores continuaram sujeitas a limitações. O total de animações difere das 42 análises disponíveis no simulador; essas quantidades identificam conjuntos distintos e não devem ser usadas como sinônimos (THOMPSON; FLOYD, 2016; MARQUES, 2003).

No projeto de ação, foram informados dados do ator, como altura, e realizados ajustes da representação corporal. A nuvem de pontos fornecida pela captura foi relacionada ao esqueleto virtual, conforme mostra a Figura 6. O trabalho consistiu em aproximar essas duas representações para que o rastreamento acompanhasse os segmentos observados. A animação resultante dependeu dessa correspondência. Um movimento visualmente contínuo pode ser útil para apresentação, mas sua fluidez não demonstra, isoladamente, que cada ângulo correspondeu ao movimento físico com erro conhecido.

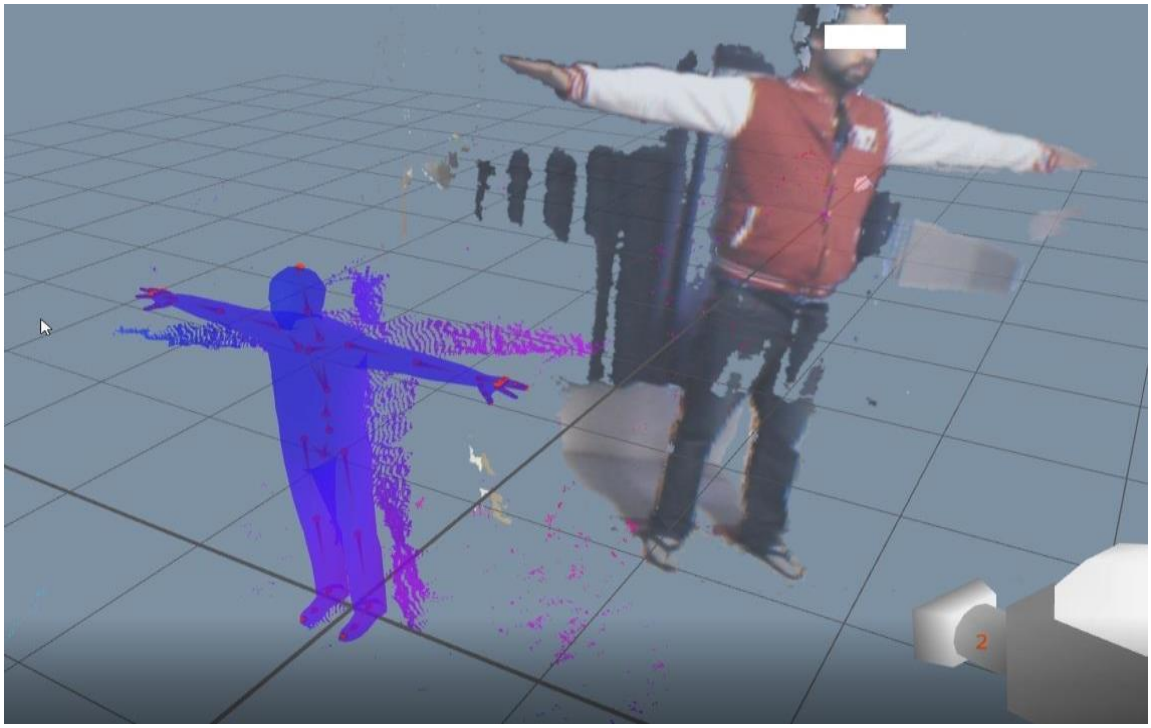


Figura 6 — Correspondência entre nuvem de pontos e esqueleto digital
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 97, p. 164).

O processamento permitiu rastrear a sequência para a frente e para trás e interromper o trabalho para reposicionar a pose quando necessário. Essa possibilidade de revisão foi relevante nos trechos em que o acompanhamento automático não representou adequadamente o corpo. Depois do rastreamento, a sequência de movimento foi utilizada na preparação da animação do modelo esquelético e em sua integração ao projeto do simulador. A Figura 7 apresenta o modelo em movimento no ambiente de processamento.

A documentação não caracteriza um importador geral de arquivos de captura acionado pelo usuário final. O procedimento desenvolvido permaneceu dependente das ferramentas de produção e de sua preparação no ambiente de desenvolvimento.

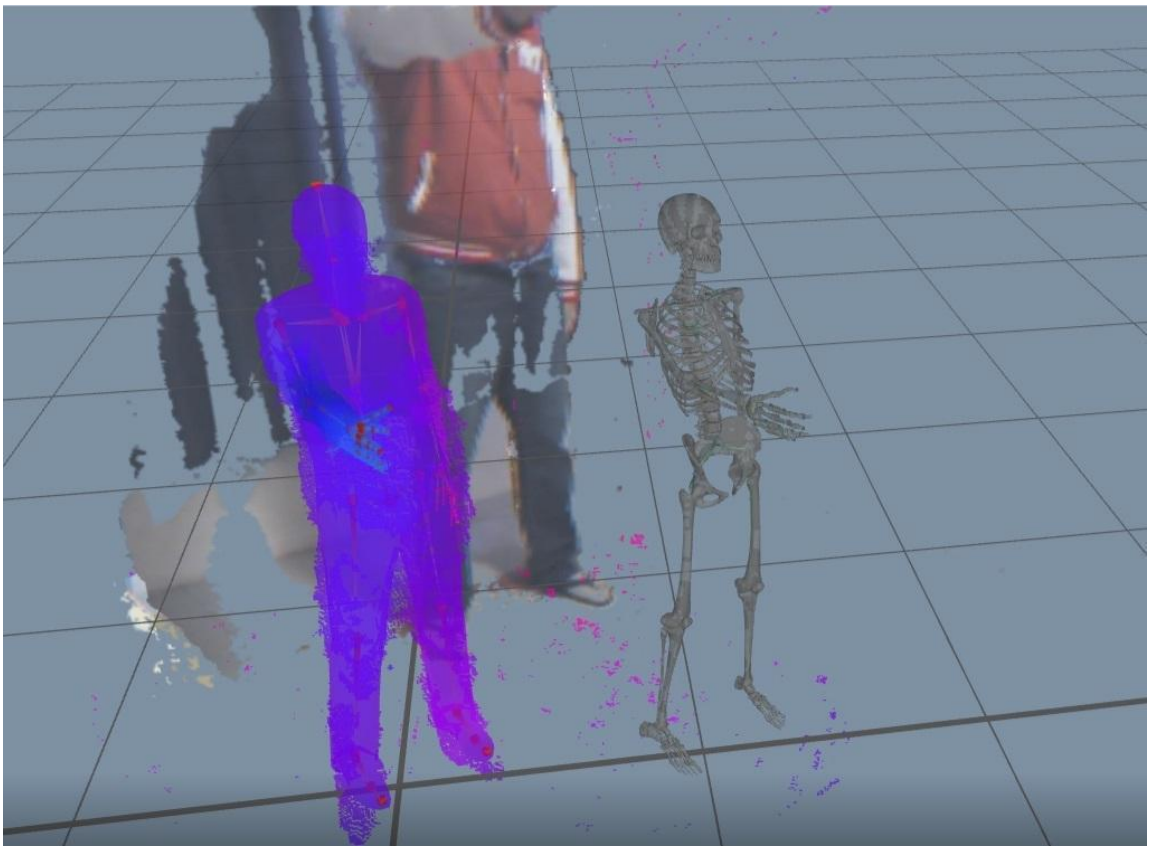


Figura 7 — Modelo esquelético em movimento no ambiente de processamento
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 98, p. 165).

4.5 A presença da bicicleta no espaço de captura

As gravações para Bike Fit utilizaram os mesmos recursos de captura e processamento, com a inclusão de bicicleta e rolo de treino. Esse acréscimo alterou a cena: regiões antes livres passaram a conter quadro, guidão, rodas e apoios que podiam dificultar a observação das articulações. A Figura 8 documenta uma captura em Mountain Bike. As primeiras experiências empregaram uma bicicleta aro 26 com quadro pequeno. O objetivo dessas gravações foi obter movimentos para investigar a leitura postural no simulador; sua existência não constituiu uma avaliação representativa de todas as geometrias de bicicleta ou dos diferentes perfis de ciclistas.

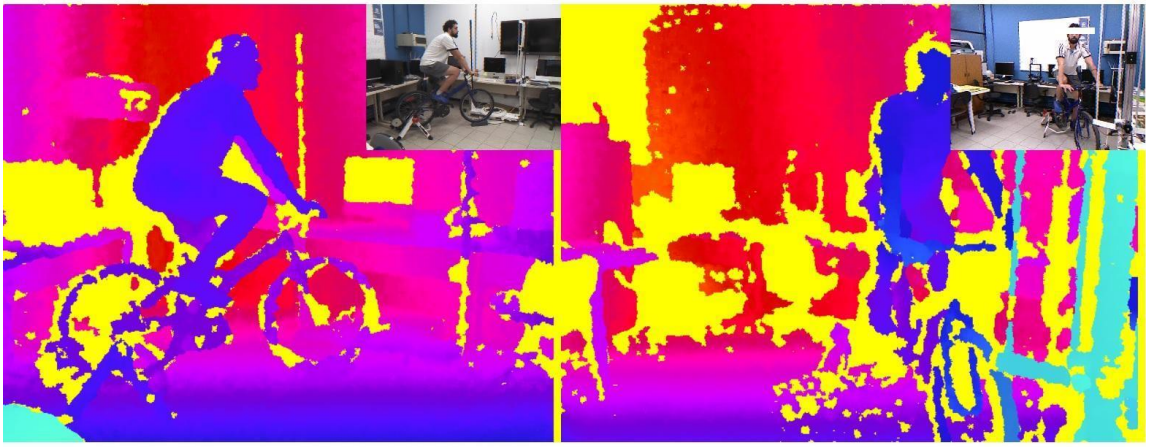


Figura 8 — Registro de movimentos de pedalada em Mountain Bike
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 99, p. 166).

Houve acesso a bicicletas Road Bike e Mountain Bike, mas não a exemplares específicos de Time Trial e Triathlon para essa etapa, devido ao custo e à dificuldade de obter colaboração com esses equipamentos. A disponibilidade das quatro categorias na biblioteca de análise precisa ser compreendida à luz dessa restrição. Parâmetros programados para uma modalidade e captura realizada em uma bicicleta daquela modalidade são evidências diferentes. O material produzido permitiu desenvolver e examinar a resposta do protótipo, mantendo em aberto a necessidade de ampliar os registros e os procedimentos de comparação.

CAPÍTULO 05

5 Bibliotecas e regras de interpretação

Uma animação registra a evolução de uma postura; uma biblioteca de análise estabelece o que observar nessa evolução. No ErgoMotion, a mesma representação esquelética pode ser examinada segundo referências diferentes. A biblioteca de Cinesiologia organiza movimentos articulares e suas amplitudes; a de Bike Fit relaciona determinadas posições à modalidade de ciclismo selecionada. Essa diferença muda o significado das cores e a forma de interpretar cada sinalizador.

5.1 Cinesiologia e amplitude de movimento

A biblioteca de Cinesiologia foi construída com referências do Manual de goniometria e do Manual de cinesiologia estrutural. Foram considerados movimentos de punhos, cotovelos e antebraços, ombros, regiões cervical e lombar, quadris, joelhos e tornozelos. A escolha procurou relacionar as descrições anatômicas aos segmentos que o conjunto de captura e animação conseguia representar. O recorte não corresponde a um levantamento de todos os movimentos possíveis do corpo, sobretudo nas mãos, nos dedos e em articulações não individualizadas pelo modelo (MARQUES, 2003; THOMPSON; FLOYD, 2016).

A pesquisa produziu 38 animações de Cinesiologia e descreveu capacidade para até 42 análises de movimentos. A diferença se relaciona à organização das análises e às direções dos movimentos, e não à existência de 42 registros independentes completos. Uma sequência pode permitir observar mais de um sentido ou comportamento articular. É necessário, portanto, distinguir a contagem das animações disponíveis da contagem dos movimentos que o sistema foi configurado para analisar.

Antes da implementação, os movimentos foram estudados por meio de desenhos. Esses registros ajudaram a identificar o segmento envolvido, a direção da ação e os limites de amplitude adotados. Parte das ilustrações foi convertida em sprites, utilizados como elementos de seleção na interface. O trabalho gráfico não teve apenas função de apresentação: serviu como uma etapa intermediária de projeto, na qual descrições de manuais foram transformadas em informação que pudesse orientar a programação e a navegação.

A classificação cromática da Cinesiologia foi organizada em seis estágios, do verde-lima aos tons intermediários de verde, amarelo e laranja, até o vermelho. Em sua lógica geral, o verde-lima assinala o início ou a condição neutra do movimento selecionado, e o vermelho, o limite de amplitude adotado para a análise. Essa progressão representa a posição no arco configurado. Um vermelho ao final de uma animação não equivale, por si, à constatação de dor ou lesão no ator.

A direção precisa ser considerada em conjunto com a escala. A extensão pode ser apresentada como retorno de uma flexão, e uma sequência pode começar com a articulação já deslocada em relação à posição inicial esperada. Nesses casos, o primeiro quadro disponível não necessariamente corresponde ao início do arco teórico. Por isso, a interpretação exige conferir o movimento selecionado, seu sentido e o trecho efetivamente capturado, em vez de tomar a primeira cor da animação como prova de calibração adequada.

A parametrização preserva outra distinção essencial: os valores de um manual descrevem condições de referência; o registro obtido de uma pessoa pode apresentar amplitude menor. A finalidade da animação não é obrigar o participante a alcançar o limite indicado. No projeto, os valores selecionados serviram para construir a representação e examinar o comportamento dos sinalizadores. A investigação das diferenças individuais e da qualidade das medidas depende de procedimentos específicos, discutidos na leitura dos ensaios (MARQUES, 2003; THOMPSON; FLOYD, 2016).

5.2 Bike Fit e referências dependentes da atividade

A bicicleta ofereceu um contexto em que as relações entre corpo, produto e postura podiam ser examinadas em conjunto. A altura e a posição dos componentes, a modalidade e a maneira de pedalar interferem na configuração corporal. Uma biblioteca voltada ao ciclismo precisou, portanto, ir além de indicar a amplitude máxima de uma articulação. Foi necessário escolher referências relativas à atividade e considerar em qual momento da pedalada cada posição deveria ser observada (BURT, 2022).

Foram contempladas quatro categorias: Road Bike, Mountain Bike, Time Trial e Triathlon. Os parâmetros apresentados por Burt, associados ao sistema Retül, constituíram a principal referência utilizada. A seleção de uma categoria no ErgoMotion altera o conjunto de análises e os valores com os quais os movimentos são comparados. Dessa forma, a interpretação de uma mesma postura pode mudar conforme o modo escolhido, sem que o movimento capturado tenha sido alterado (BURT, 2022).

O estudo dos cotovelos exemplifica essa dependência. No recorte utilizado, a referência para Mountain Bike e Road Bike foi de 150° a 170°, enquanto para Time Trial e Triathlon foi de 90° a 100°. A Figura 9 registra a tradução dessas faixas para desenhos de projeto. Os números não são apresentados aqui como uma recomendação universal para todo ciclista: são parâmetros escolhidos para a biblioteca desenvolvida e precisam ser relacionados à situação e à convenção de medição descritas na pesquisa (BURT, 2022).



Figura 9 — Referências de posicionamento do cotovelo nas quatro modalidades
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 76, p. 146).

O ombro introduz uma atenção adicional. A referência gráfica pode considerar o braço, o antebraço ou a relação do tronco com os membros superiores, conforme a posição estudada. No material de Bike Fit, expressões como ângulo da axila ao cotovelo e ângulo da axila ao punho identificam relações distintas. A Figura 10 apresenta o estudo produzido para as modalidades. A proximidade visual das medidas não autoriza tratar todos esses ângulos como se fossem uma única flexão anatômica obtida pelo mesmo procedimento (BURT, 2022).



Figura 10 — Estudos das referências do ombro nas quatro modalidades
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 77, p. 147).

Para joelhos e tornozelos, o ciclo de pedalada exigiu observar dois momentos de referência. As posições próximas ao ponto mais alto e ao ponto mais baixo do pedal foram descritas, respectivamente, pela analogia com 12 horas e 6 horas em um relógio. Essa indicação situa o instante da observação; ela não define sozinha quais segmentos formam o ângulo. A localização do pedal e a convenção angular precisam aparecer juntas para que o valor possa ser interpretado e comparado.

A biblioteca também manteve termos associados às duas áreas de origem. No tornozelo, extensão e flexão foram relacionadas, respectivamente, à flexão plantar e à dorsiflexão. Essa equivalência terminológica ajuda a transitar entre a Cinesiologia e o Bike Fit, mas não resolve eventuais diferenças numéricas entre tabelas, desenhos e implementação. A aprendizagem do projeto foi que padronizar o nome do movimento e explicitar a medição são tarefas complementares (THOMPSON; FLOYD, 2016; BURT, 2022).

5.3 Do parâmetro angular ao sinalizador

Os parâmetros foram organizados no ambiente Unity por articulações, movimentos e bibliotecas. A estrutura de dados reuniu informações sobre amplitudes, direções e tolerâncias. A Figura 11 mostra a interface de configuração no Inspector. Esse registro é

importante porque torna visível uma camada que a interface de uso tende a ocultar: a cor depende de valores previamente definidos pelo desenvolvimento, e não de uma avaliação autônoma do conforto que o sistema descobriria durante a reprodução.

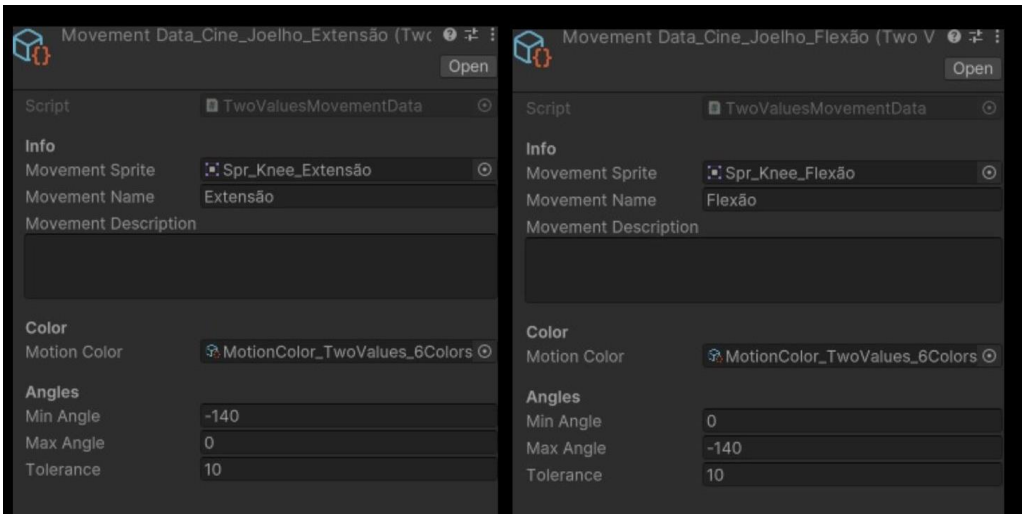


Figura 11 — Configuração dos parâmetros de movimento no Inspector do Unity
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Recorte de Dewes (2024, figura 119, p. 186).

O editor de gradientes permitiu configurar cores e posições de transição no ambiente de desenvolvimento. A localização de cada cor e seus componentes RGB constituem escolhas de implementação. Alterar essa configuração muda a resposta gráfica; não produz, por si, uma nova justificativa científica para os limites empregados. A definição das faixas precisa continuar vinculada à referência e à finalidade da análise.

No Bike Fit, foram utilizadas quatro cores principais: verde, amarelo, laranja e vermelho. O verde representa o ponto ou intervalo adotado como referência. As demais cores indicam afastamentos progressivos dessa região. A categoria denominada Ponto Perfeito expressa essa organização em torno de um alvo central, ilustrada na Figura 12. Trata-se do nome atribuído a uma regra do sistema; a expressão não demonstra a existência de uma postura perfeita para todas as pessoas ou condições de pedalada.



Figura 12 — Configuração cromática do Ponto Perfeito para Bike Fit
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 121, p. 189).

As tolerâncias não foram iguais para todas as articulações. O desenvolvimento empregou variações associadas às amplitudes e às referências escolhidas, com exemplos de transições a cada 5° ou 10°. Essa lógica permite comparar uma articulação com um intervalo e outra com um ponto de referência. Um esquema único, aplicado

indiscriminadamente ao corpo inteiro, apagaria as diferenças entre as análises que motivaram a organização em bibliotecas.

O cinza transparente possui uma função específica: assinalar estados fora do domínio configurado, movimentos opostos ou situações em que determinada análise não está ativa. Na avaliação de extensão de um joelho, por exemplo, uma fase de flexão pode ficar fora da condição selecionada. O cinza não deve ser entendido como uma gradação clínica acima do vermelho. Para interpretá-lo, é necessário saber qual movimento e qual regra estão acionados naquele instante.

O Quadro 3 reúne as diferenças entre as duas bibliotecas. O significado da cor nasce da combinação entre modalidade, movimento, direção e parâmetro. Essa dependência explica por que não é possível comparar duas imagens apenas contando quantas articulações aparecem verdes ou vermelhas. Antes de avaliar a resposta gráfica, é preciso identificar a análise que a produziu.

Quadro 3 — Significado das cores nas bibliotecas do ErgoMotion

Aspecto	Cinesiologia	Bike Fit
Objeto da representação	Progressão no arco de movimento configurado.	Afastamento de uma referência escolhida para a modalidade.
Escala principal	Seis estágios entre verde-lima e vermelho.	Quatro cores principais entre verde e vermelho.
Verde	Condição inicial ou neutra na lógica geral do movimento selecionado.	Ponto ou intervalo de referência parametrizado.
Vermelho	Extremo de amplitude configurado.	Afastamento maior da referência, dentro da regra programada.
Cinza transparente	Estado fora do domínio ou direção em análise.	Estado não avaliado, movimento oposto ou fora da tolerância configurada.
Limite da leitura	A cor não demonstra dor, força muscular ou lesão.	A cor não substitui avaliação individual do ciclista e da atividade.

Fonte: Reorganizado de Dewes (2024, p. 106–107 e 185–189).

5.4 Convenções angulares e divergências da documentação

A passagem de uma medida obtida no corpo para um parâmetro de animação requer definir o vértice do ângulo, os segmentos que o formam, a posição de referência e o sentido de rotação. Uma descrição verbal semelhante pode esconder medidas diferentes. O problema apareceu com especial clareza no joelho, quando a pesquisa procurou relacionar os valores de Bike Fit à convenção utilizada no modelo. A documentação registrou adaptações, mas alguns intervalos apresentados não correspondem diretamente às transformações numéricas descritas.

Há também divergência entre a tabela inicial e o desenvolvimento quanto à associação das faixas de 95°–105° e 70°–80° à flexão plantar e à dorsiflexão. Essa diferença impede unificar os valores como se a pesquisa tivesse estabelecido uma única convenção consistente em todos os trechos. A divergência requer conferência entre a referência de Bike Fit, o texto da pesquisa e os parâmetros cadastrados antes da utilização desses intervalos em ajustes.

A rastreabilidade dos parâmetros é, assim, uma condição para ampliar as bibliotecas. Uma nova análise exige identificar a referência utilizada, documentar a transformação de coordenadas e verificar a correspondência entre dados e representação. A possibilidade de editar um campo no Unity facilita a configuração do protótipo; a validade da interpretação depende de um trabalho adicional. É nessa relação entre decisões de design e seus fundamentos que a biblioteca se torna um instrumento de pesquisa, com alcance e limites identificáveis.

CAPÍTULO 06

6 Interface e arquitetura do ErgoMotion

A interpretação de uma animação depende também de como suas informações são apresentadas. No ErgoMotion, a interface foi desenvolvida para relacionar seleção de movimentos, observação do modelo e acesso às bibliotecas. A programação organizou os dados necessários para que essas escolhas alterassem a cena e os sinalizadores. A intenção de facilitar o uso orientou o projeto. O conjunto descrito neste capítulo corresponde aos recursos documentados no protótipo e às decisões tomadas em sua construção.

6.1 Uma hierarquia para localizar os movimentos

O menu lateral foi organizado segundo as regiões corporais consideradas na aplicação. A sequência reúne punhos, cotovelos, ombros, cervical, lombar, quadris, joelhos e tornozelos. Ao lado das articulações, controles permitem ativar a visualização e expandir os movimentos disponíveis. Quando há estruturas bilaterais, o usuário pode selecionar o lado direito, o esquerdo ou ambos. Essa disposição aproxima a navegação da organização do corpo e evita que todas as decisões de análise precisem ser tomadas diretamente sobre o modelo tridimensional. A Figura 13 mostra a estrutura do menu e sua relação com a área de visualização.

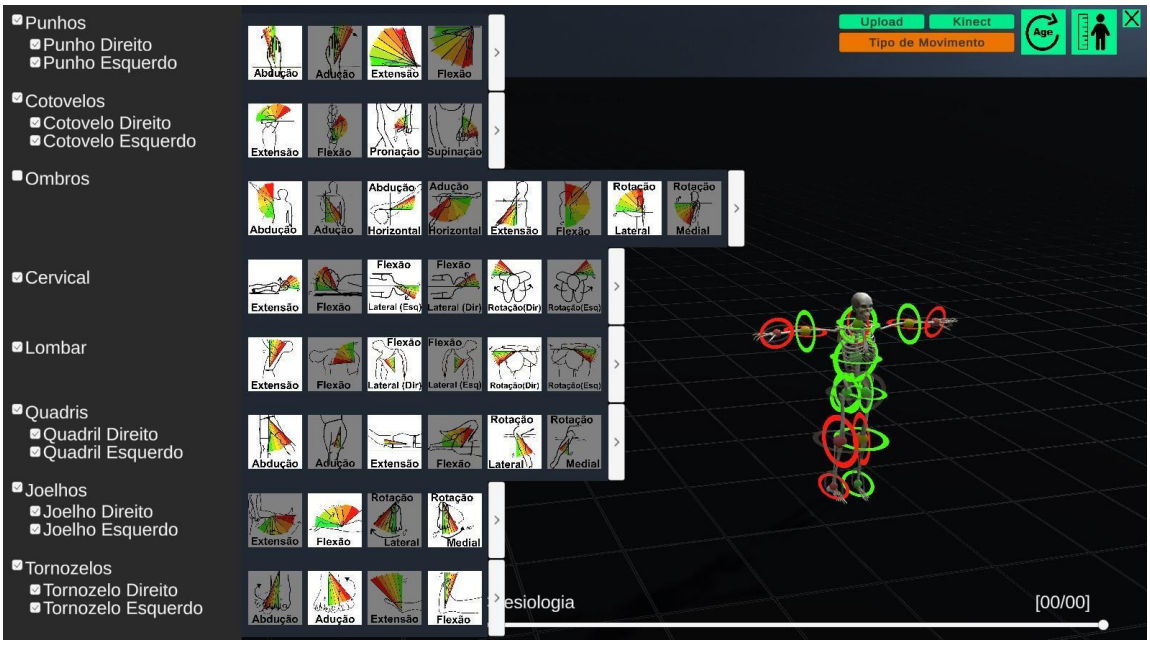


Figura 13 — Menu de seleção de articulações e movimentos

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 101, p. 171).

Os ícones de movimento foram derivados das ilustrações produzidas no desenvolvimento das bibliotecas. Sua presença procurou aproximar uma escolha

abstrata, como o nome de uma rotação, de uma referência gráfica da ação. Na interface, a ativação altera o destaque visual do ícone. Também foram estabelecidas relações entre movimentos antagônicos: flexão e extensão de uma mesma articulação, por exemplo, não ficam selecionadas simultaneamente para a mesma interpretação. Esse comportamento explicita que observar diversas articulações ao mesmo tempo não significa aplicar indiscriminadamente critérios opostos ao mesmo movimento.

A escolha da biblioteca organiza o contexto da leitura. Em Cinesiologia, a galeria apresenta as animações dos movimentos articulares; em Bike Fit, a seleção se desdobra nas modalidades Time Trial, Mountain Bike, Road Bike e Triathlon. A Figura 14 apresenta essas categorias. Ao ativar uma modalidade de ciclismo, o sistema reorganiza os ícones e desativa articulações que não integram aquela configuração, como cervical e punhos. O retorno à Cinesiologia reativa os elementos pertinentes a essa biblioteca. Desse modo, a interface participa da delimitação do que está sendo analisado, em vez de apenas mudar o título exibido na tela.

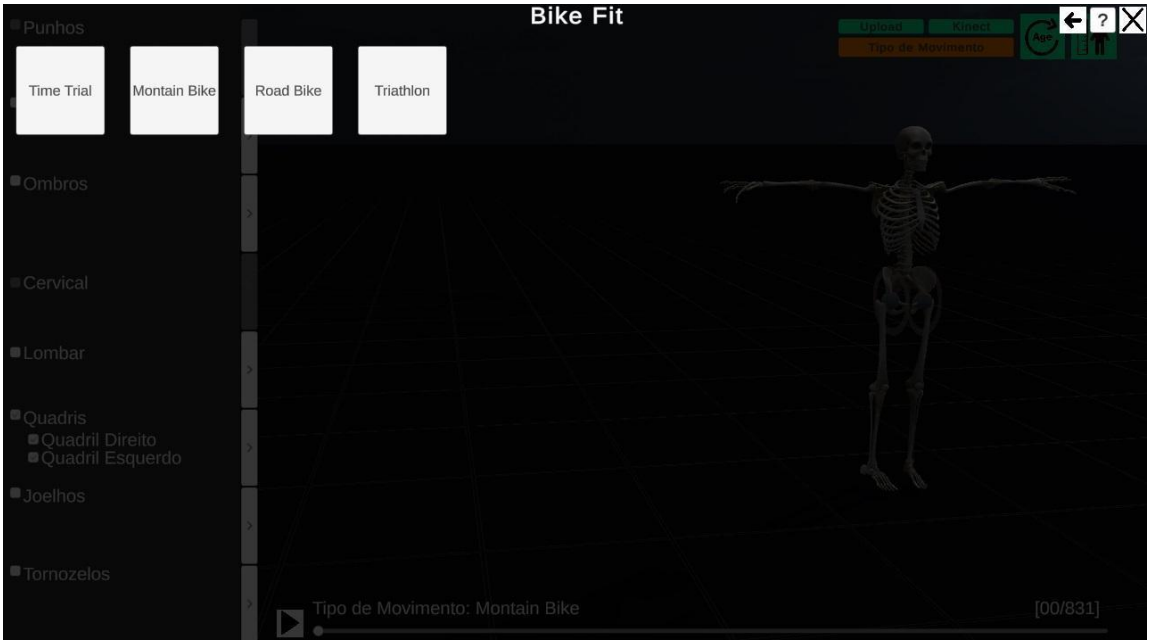


Figura 14 — Seleção das modalidades da biblioteca de Bike Fit

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 106, p. 176).

Na galeria de Cinesiologia, os 38 ícones correspondentes às animações permitem acionar sua reprodução contínua. Eles convivem com o conjunto de 42 análises de movimentos disponibilizado pelos controles do sistema. A Figura 15 registra a organização dessa galeria. As páginas de ajuda explicam as bibliotecas e suas convenções visuais, enquanto setas de retorno e controles de fechamento apoiam a navegação entre janelas. Esses recursos foram concebidos para reduzir dúvidas de operação.

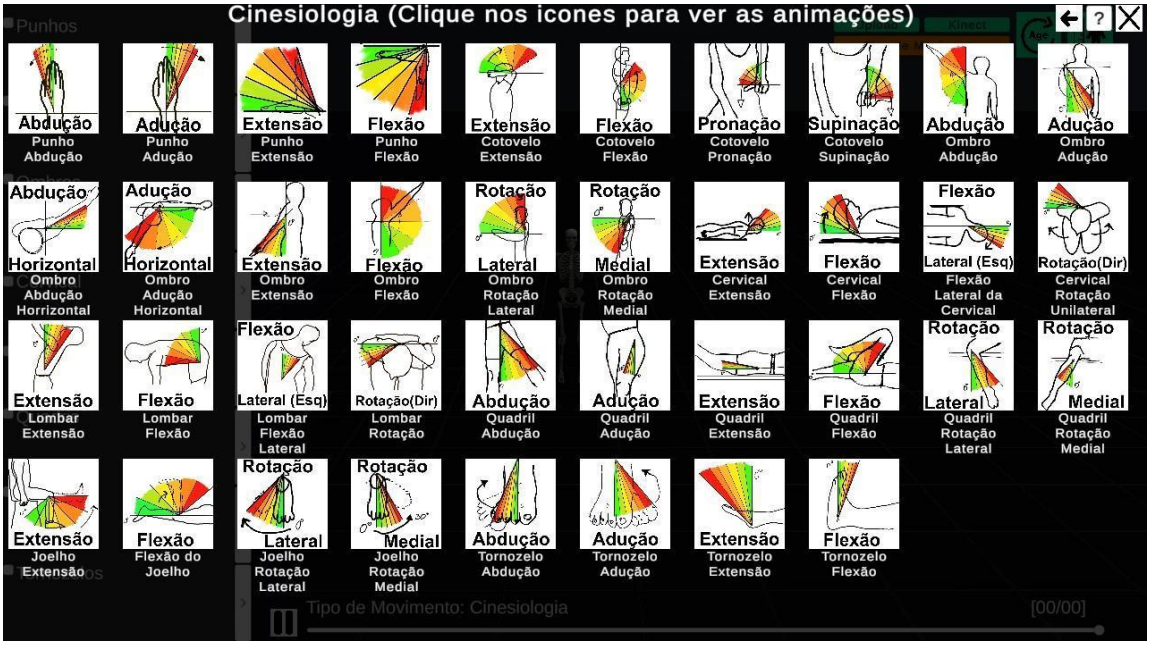


Figura 15 — Galeria de animações da biblioteca de Cinesiologia

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 114, p. 181).

6.2 Observar e controlar a animação

A linha do tempo, posicionada abaixo do modelo, permite alternar reprodução e pausa e acompanhar os quadros da animação. Acima dela, um texto identifica o tipo de movimento ou a modalidade selecionada. Esse vínculo entre controle temporal e identificação do contexto é importante porque a mesma sequência pode ser observada sob diferentes critérios. A Figura 16 apresenta o componente. A navegação temporal oferece acesso à ação registrada, sem transformá-la em um novo ensaio de captura: ao interromper a reprodução, o usuário examina uma posição da animação previamente preparada.



Figura 16 — Linha do tempo para controle da animação

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 102, p. 171).

A cena tridimensional também pode ser explorada por recursos de câmera. A configuração empregou uma câmera Cinemachine e controles de rotação, aproximação, ajuste do foco e deslocamento da vista. Foram programados atalhos para ocultar menus, centralizar o personagem e alternar a reprodução da animação. Esses recursos procuraram permitir que uma articulação fosse examinada a partir de perspectivas diferentes. Mudar o ponto de observação facilita a leitura da representação, mas não modifica o registro original nem corrige uma falha de rastreamento. A câmera é um recurso de inspeção visual do modelo, com uma função diferente daquela desempenhada pelos sensores físicos.

No cenário, um chão quadriculado com módulos de 1 m por 1 m fornece uma referência visual de escala. A iluminação foi composta para destacar o modelo e seus sinalizadores

sobre um ambiente escuro. O céu noturno veio de um ativo externo incorporado ao projeto, acompanhado de fontes de luz configuradas na cena. A composição procurou criar contraste entre o modelo, os sinalizadores e o fundo. Efeitos sobre a fadiga ocular não foram avaliados.

O menu superior reúne controles de escala e troca do personagem. O modelo adulto foi configurado com altura inicial de 1,70 m e um controle deslizante entre 1,35 m e 2,31 m. Outro comando alterna as representações de recém-nascido, dois anos, sete anos e adulto. A troca do modelo e a alteração da altura são operações distintas, pois mudar uniformemente a escala não reproduz as mudanças de proporção próprias do crescimento. Os modelos infantis foram oferecidos como representações animadas, ainda sem sinalizadores analíticos.

6.3 Dados e comportamentos na programação

A implementação reuniu 45 scripts em C#, desenvolvidos e depurados com apoio do Visual Studio. Eles foram organizados em três grupos: Comportamento, Dados e Interface. Essa organização separou responsabilidades que o usuário percebe como uma única operação. Quando uma animação é escolhida, por exemplo, a seleção gráfica precisa chegar ao componente que controla o personagem, enquanto os dados da articulação orientam a resposta dos sinalizadores. O interesse dessa estrutura está na relação entre os componentes e no tipo de informação que cada um administra, sem pressupor que a quantidade de scripts seja uma medida de qualidade ou de validação do software. O Quadro 4 sintetiza os componentes e suas responsabilidades.

Quadro 4 — Componentes de programação

Função	Componentes documentados	Responsabilidade
Controle da cena	CameraMovement; Character; CharacterManager	Controlar a câmera, administrar animações e selecionar o modelo de personagem.
Organização dos dados	MovementData; JointMovementData; AnimationData	Organizar informações dos movimentos, parâmetros articulares e registros das animações.
Interface	AnimationGalery; MovementMenu; UiHandler	Apresentar a galeria, gerenciar opções de movimento e apoiar a interação com os controles.
Resposta visual	JointData; JointColor; CircleColor	Relacionar os dados de movimento à configuração e à exibição dos sinalizadores.
Critérios angulares	PerfectPointMovementData; TwoValuesMovementData	Distinguir critérios de referência do Bike Fit e amplitudes da biblioteca de Cinesiologia.

Fonte: Elaboração editorial a partir de Dewes (2024, p. 189–193), com preservação dos nomes dos componentes.

Entre os componentes de comportamento, CameraMovement controla o deslocamento da câmera, Character administra a animação e CharacterManager participa da escolha do modelo ativo. Nos dados, MovementData reúne informações descritivas dos movimentos; JointMovementData organiza parâmetros relacionados às articulações e às relações entre ações opostas; AnimationData associa os registros das sequências animadas. A distinção favoreceu a separação entre uma animação e o critério utilizado para interpretá-la. Por isso, trocar o contexto de análise não precisa ser entendido como produzir novamente todo o movimento registrado.

A resposta cromática foi articulada por componentes como JointData, JointColor e CircleColor. O primeiro relaciona informações e estratégias de movimento; os demais participam da configuração e da visualização dos sinalizadores associados às articulações. PerfectPointMovementData contém a estratégia utilizada para referências do Bike Fit, enquanto TwoValuesMovementData reúne parâmetros de amplitude empregados na Cinesiologia. Essa separação permite compreender por que uma mesma cor não possui significado universal no simulador: o comportamento visual depende dos dados e do contexto ativados. Os critérios angulares e sua interpretação devem ser examinados junto à biblioteca correspondente.

O projeto organizou esses recursos em uma estrutura de dados acessível no ambiente Unity. A pasta ScriptableObjectDatas incluiu associações entre animações e ícones e diretórios relativos às partes do corpo e às bibliotecas. Os valores de referência e as tolerâncias foram configurados no Inspector. Essa possibilidade de edição pressupôs acesso ao projeto e conhecimento de seu ambiente de desenvolvimento. Assim, a existência de parâmetros modificáveis não autoriza descrever uma ferramenta geral de criação de bibliotecas já disponível ao usuário comum. Acrescentar uma análise requer, além da programação, definir as referências que darão sentido aos dados.

Outros componentes apoiaram a integração. MovementHandler exerceu uma função central na administração dos movimentos e utilizou a estrutura Singleton descrita no projeto; JointValue guardou informações de estado e habilitação; Direction distinguiu direções e regiões corporais por um conjunto de valores enumerados. Na interface, CanvasEnable participou da ativação das telas e HumanScaleSlider do ajuste de altura. Esses elementos mostram como navegação e representação corporal dependeram de uma coordenação entre dados e eventos. A estrutura documentou a construção do protótipo, sem substituir uma análise do código quanto à manutenção, desempenho ou portabilidade.

6.4 Os limites entre interface e implementação

A presença de um botão não demonstra que sua função esteja concluída. O comando identificado como Kinect permaneceu sem operação no protótipo e sinalizou uma

intenção de integração futura com sensores. Upload, por sua vez, permitiu acessar conjuntos de animações já preparados, organizados em categorias como Road Bike, Mountain Bike e Miscelânea. A perspectiva de importar arquivos externos nos formatos FBX e BVH foi apresentada como continuidade do desenvolvimento. Essa distinção é decisiva para quem examina imagens da interface: a aparência de um recurso previsto pode coexistir com uma versão em que sua operação ainda é restrita.

O projeto da interface buscou clareza e facilidade de navegação por meio de hierarquia, ícones, identificação das bibliotecas e páginas explicativas. O mapeamento da experiência do usuário contribuiu como referência para pensar essas relações. Ainda assim, a familiaridade do pesquisador com o próprio software e a observação de seu funcionamento não permitem concluir que a curva de aprendizagem foi reduzida para diferentes públicos. Permaneceram necessárias avaliações com tarefas e usuários definidos para examinar compreensão dos controles, interpretação das cores e dificuldades de operação. A intenção de tornar o sistema acessível pertence ao projeto; seu alcance precisa ser investigado (SZABO, 2017).

Como apoio à comunicação do desenvolvimento, foram produzidos vídeos no canal ErgoMotionVID sobre captura e calibração, interface, Cinesiologia e Bike Fit. Esses materiais registraram a operação do protótipo e ofereceram outra forma de observar ações que uma imagem estática apresenta apenas parcialmente. Eles complementam a descrição técnica, mas não constituem resultados de validação ou evidência de adoção por uma comunidade de usuários. Ao relacionar interface, arquitetura e documentação, o projeto tornou visível parte do percurso entre a ação registrada e sua interpretação no modelo. A continuidade desse trabalho depende de conferir essa interpretação e de resolver as restrições técnicas identificadas.

CAPÍTULO 07

7 Ensaios e leitura dos resultados

A avaliação do ErgoMotion examinou como os movimentos capturados eram reproduzidos pelo modelo digital e como os indicadores cromáticos respondiam às amplitudes programadas. Os ensaios reuniram movimentos articulares isolados, conferências angulares no ambiente virtual e experiências de pedalada. Essas situações permitiram acompanhar o funcionamento do protótipo, identificar respostas inadequadas e reconhecer dificuldades que permaneceram abertas ao final da pesquisa. A leitura dos resultados exige distinguir o comportamento observado na interface da qualidade da medição que alimentou esse comportamento.

O procedimento não consistiu em uma comparação sistemática entre o ErgoMotion e um equipamento de referência independente. Na primeira etapa, dedicada à Cinesiologia, os movimentos foram executados por um ator diante de dois sensores Kinect V1, sem conferência simultânea por goniômetro. Na etapa de Bike Fit, foram realizadas verificações com um goniômetro de acetato sobre a tela e ajustes angulares no corpo do ator. Cada procedimento ofereceu um tipo de evidência e precisa ser compreendido dentro de seu alcance.

7.1 Respostas da biblioteca de Cinesiologia

Após a captura e o processamento das animações, os valores correspondentes às amplitudes foram configurados no Unity. O teste inicial verificou se a reprodução dos movimentos acionava os indicadores e percorria os estágios de cor previstos. A posição de partida exigiu atenção: como as gravações começaram com a T-pose, os valores das articulações no modelo precisaram ser relacionados aos limites descritos na literatura. Essa transposição foi feita individualmente, considerando o eixo e a orientação do movimento analisado (MARQUES, 2003; THOMPSON; FLOYD, 2016).

A abdução do punho oferece um exemplo dessa relação entre referência e implementação. A literatura empregada no projeto indicou uma amplitude de 0° a 20°, enquanto a configuração experimental admitiu valores a partir de −10° para acomodar o posicionamento inicial do modelo. Na sequência apresentada na Figura 17, o indicador percorreu as seis cores previstas. O resultado documentou a resposta visual ao movimento naquela configuração; não demonstrou, por si só, que o ângulo estimado pelo sistema coincidiu com a amplitude real do punho em todos os instantes.

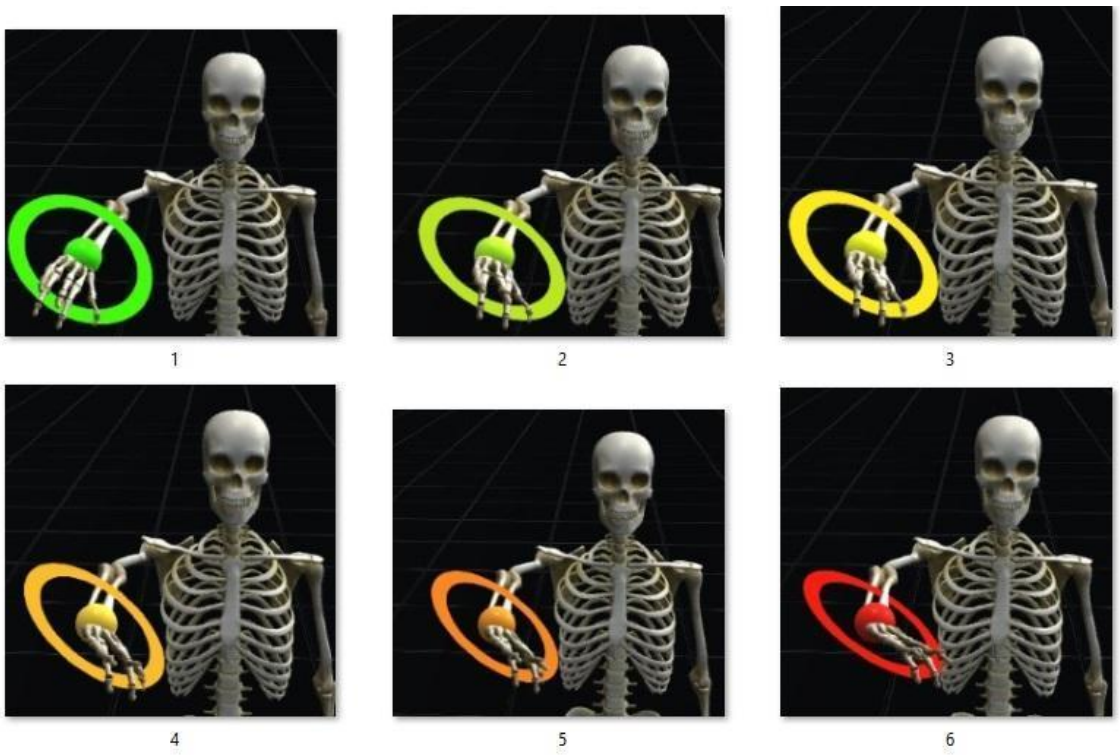


Figura 17 — Resposta cromática na sequência de abdução do punho
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 132, p. 203).

A distinção é necessária porque nem todas as sequências percorreram a escala completa. Na extensão do punho, o último estágio não apareceu. Na flexão do punho, a reprodução começou sem a primeira cor, correspondente à posição inicial programada. O relato da pesquisa considerou possibilidades como o ator não ter iniciado ou terminado o gesto na amplitude esperada e a captura não ter registrado integralmente o movimento. As imagens disponíveis não permitem escolher uma dessas causas como explicação definitiva.

Também houve diferenças entre movimentos de uma mesma região corporal. A abdução do ombro apresentou apenas parte dos estágios cromáticos, enquanto a adução permaneceu predominantemente verde. Essa permanência não deve ser interpretada como confirmação de uma postura confortável: nesse ensaio, ela indicou que a variação esperada não foi representada adequadamente. A leitura de uma cor depende, portanto, de saber qual movimento estava selecionado, qual faixa havia sido programada e se a captura produziu uma sequência coerente com o gesto realizado.

A flexão cervical tornou essa limitação particularmente visível. Embora o projeto previsse a análise desse movimento, a sequência da Figura 18 não apresentou a resposta esperada. A tese registrou a necessidade de investigar a discrepância entre o gesto do ator e sua representação digital. O resultado estabelece uma restrição concreta para o uso daquela captura. Não há base para tratar a ausência de mudança do indicador como confirmação de normalidade, nem para atribuir a falha exclusivamente ao sensor, à execução do gesto ou à parametrização.

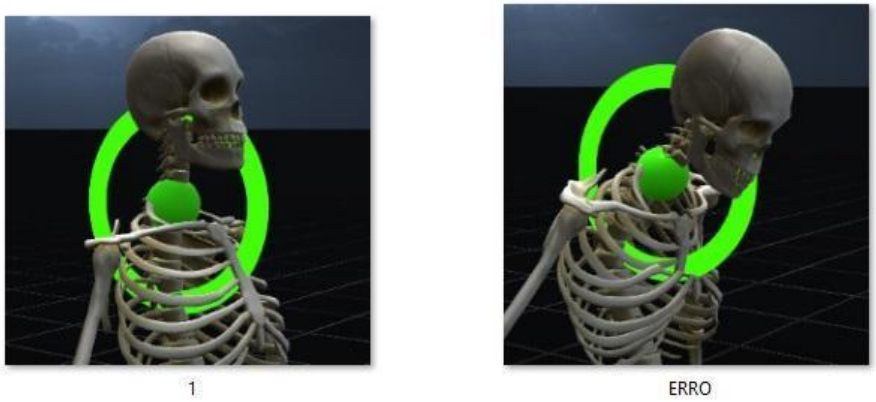


Figura 18 — Discrepância na representação da flexão cervical

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 149, p. 219).

As análises lombares apresentaram outro tipo de resposta incompleta. Na extensão, o sistema exibiu estágios intermediários, sem alcançar a cor correspondente ao limite final configurado, como mostra a Figura 19. A documentação também registrou representação parcial da flexão lombar. A hipótese de limitação do ator coexistiu com a possibilidade de imprecisão na captura. Essas ocorrências são relevantes porque impedem uma conclusão geral de que todos os movimentos cadastrados foram registrados integralmente ou tiveram seus extremos confirmados.

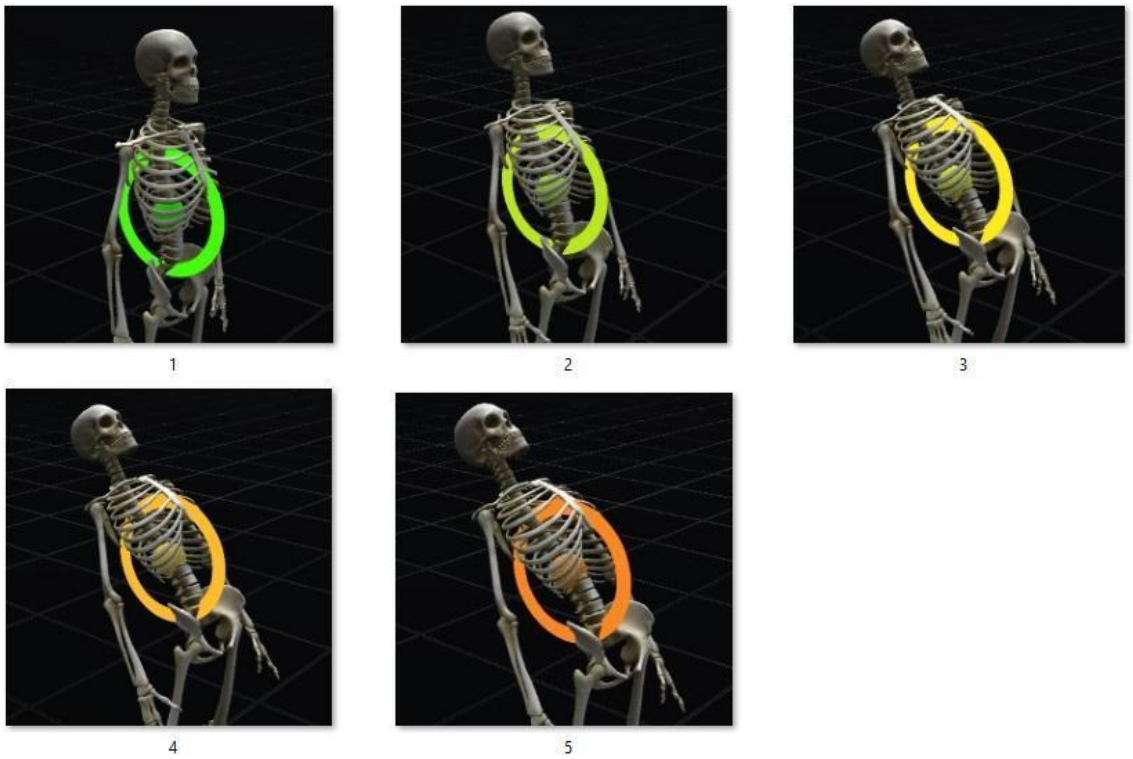


Figura 19 — Representação parcial da extensão lombar

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 152, p. 222).

A contribuição dessa etapa foi demonstrar uma cadeia funcional e, ao mesmo tempo, revelar seus pontos frágeis. A animação pôde ser associada a parâmetros e convertida em retorno cromático, mas a presença de uma resposta gráfica não resolveu a incerteza sobre o movimento de origem. Na própria avaliação, a prioridade foi construir um software

capaz de alterar dinamicamente os indicadores conforme os dados recebidos. A investigação quantitativa da precisão das capturas permaneceu como uma etapa posterior.

7.2 Conferência angular na imagem do modelo

No Bike Fit, a avaliação incluiu a aplicação de um goniômetro de acetato sobre a tela do computador. O instrumento foi utilizado para conferir ângulos apresentados nas imagens do modelo e relacioná-los às faixas cadastradas no protótipo. Trata-se de uma verificação importante da representação visual, mas diferente de medir simultaneamente o movimento do ciclista por outro sistema de captura. A concordância observada na tela não caracteriza, isoladamente, uma validação de toda a cadeia que começou no corpo do ator.

O ombro na configuração Road Bike oferece um exemplo simples de leitura dos indicadores. Nesse caso, o parâmetro nominal foi fixado em 90°. Desvios de 5° para cada lado foram representados em amarelo; de 10°, em laranja; e de 15°, em vermelho. As posições de 70° e 110° apareceram em cinza transparente, fora da faixa adotada para a análise. A imagem da Figura 20 documenta a conferência com o goniômetro. Esses valores descrevem a configuração examinada na pesquisa e não constituem uma prescrição universal para o posicionamento do ombro de qualquer ciclista.

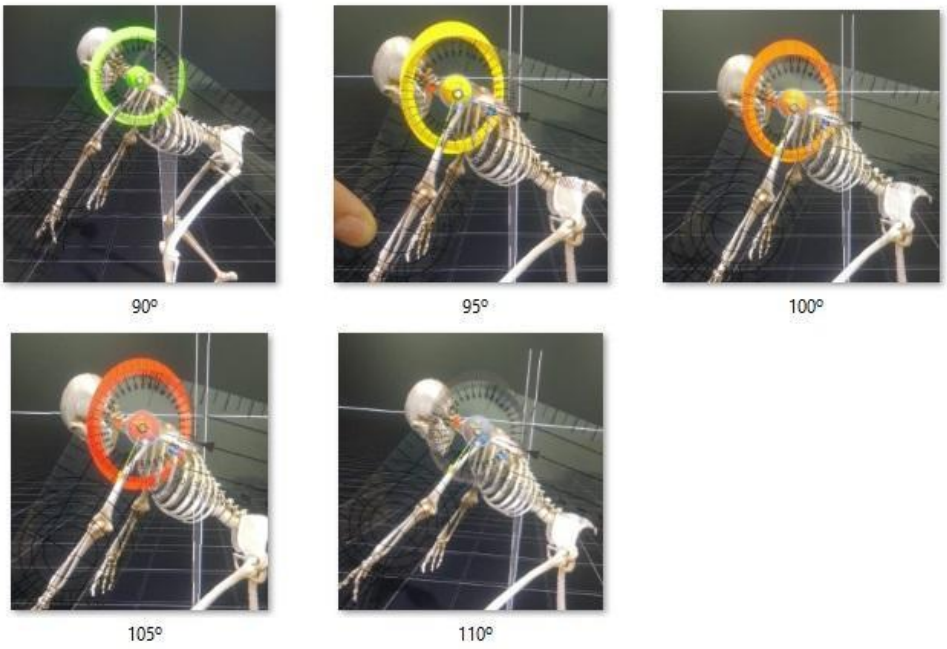


Figura 20 — Conferência do ângulo do ombro em Road Bike com goniômetro sobre a tela

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 177, p. 243).

As demais articulações não utilizaram necessariamente o mesmo padrão. Algumas análises partiram de um intervalo nominal, outras de um valor central e outras consideraram fases específicas da pedalada. Por essa razão, os limiares do exemplo do ombro não podem ser estendidos a todos os movimentos. A seleção da biblioteca e da

modalidade antecede a interpretação da cor. Também é necessário reconhecer quando um indicador corresponde a um movimento que não está sendo avaliado naquele momento do ciclo.

A interpretação dos demais parâmetros de joelho e tornozelo permanece condicionada à conferência das convenções discutidas no capítulo 5.

7.3 Variações de postura em uma bicicleta de estrada

Os ensaios de pedalada foram realizados no Laboratório de Virtual Design da UFRGS, com uma bicicleta de estrada montada em um rolo e dois sensores Kinect V1. A bicicleta havia sido feita sob medida para uma ciclista de 1,43 m. O ator que realizou a pedalada media 1,88 m.

Com o selim na posição mais alta, os ângulos dos cotovelos e da região lombar ficaram dentro das faixas de referência do ErgoMotion. Os ângulos dos ombros e dos joelhos ficaram fora dessas faixas (Figura 21). Mesmo com o selim elevado, a bicicleta era pequena para o ator.

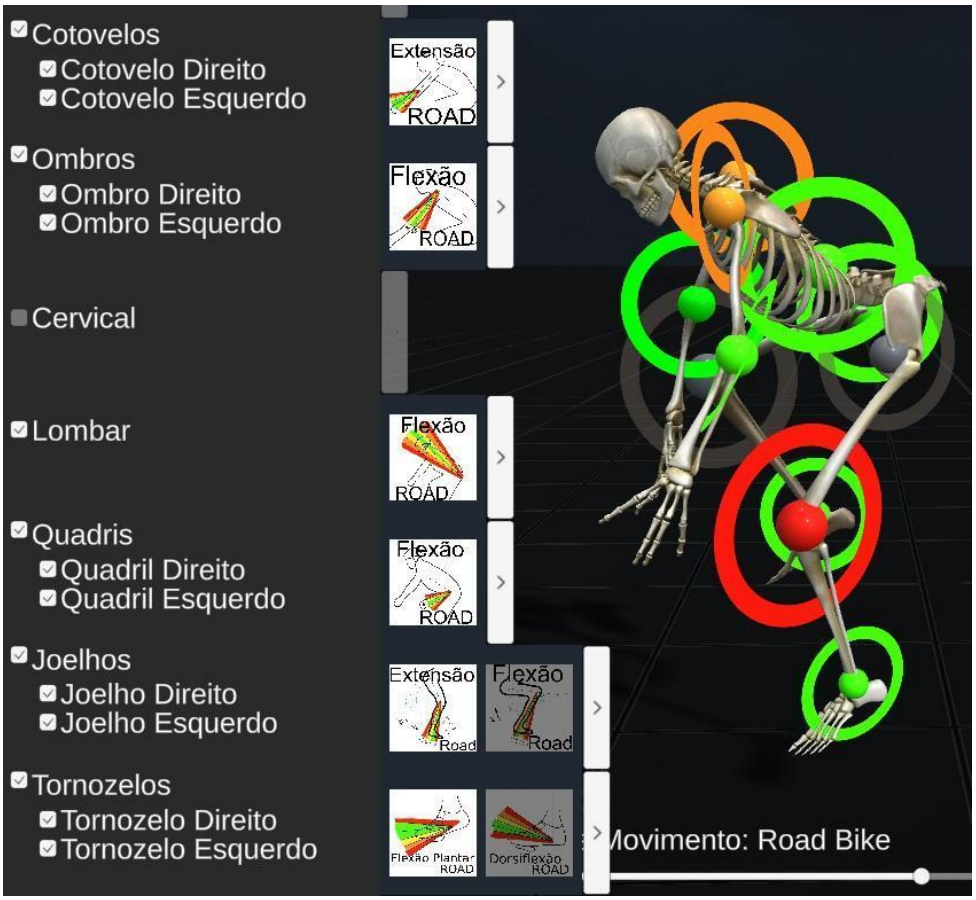


Figura 21 — Representação da pedalada em bicicleta de estrada com selim elevado
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 194, p. 260).

Com o selim na posição mais baixa, vários ângulos ficaram fora das faixas de referência. Na Figura 22, os ombros e os cotovelos aparecem em cinza transparente, um dos joelhos em vermelho e os tornozelos em laranja. Esse registro mostra a postura assumida pelo ator ao pedalar em uma bicicleta feita para uma ciclista 45 cm mais baixa.

Nesse ensaio, o ErgoMotion respondeu como previsto ao sinalizar, por meio das cores, o afastamento dos ângulos observados em relação às faixas de referência.

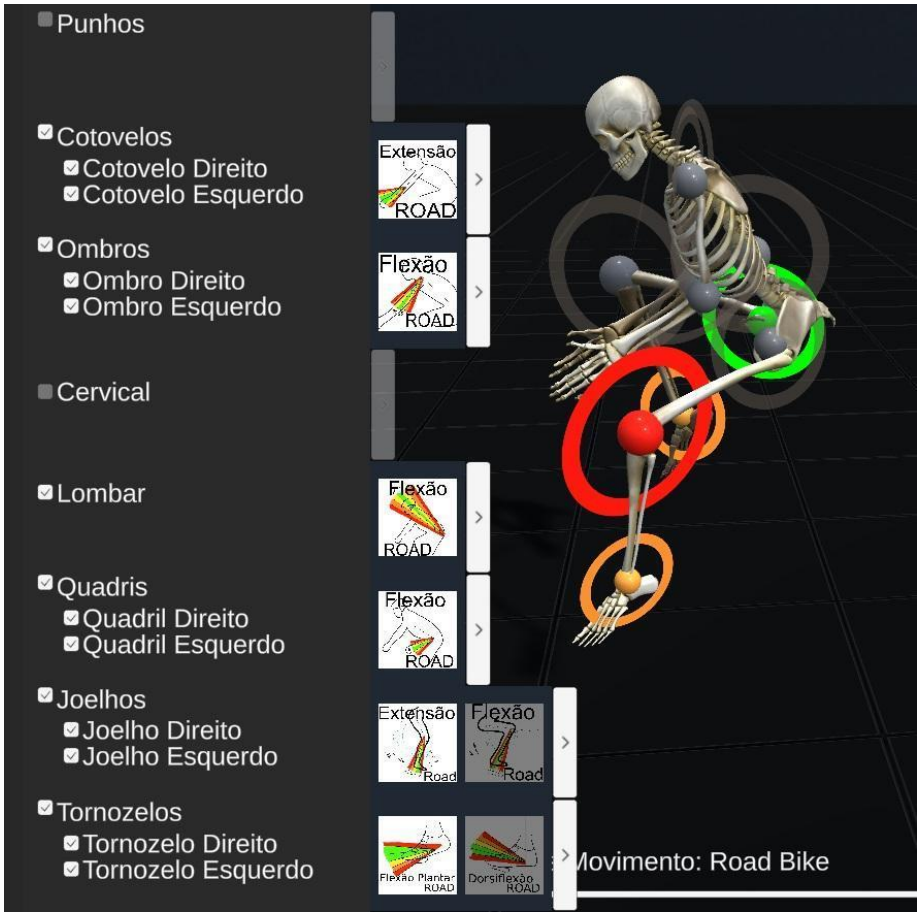


Figura 22 — Representação da pedalada com o selim na posição mais baixa
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 195, p. 261).

As experiências com a Mountain Bike de quadro pequeno e aro 26 acrescentaram observações sobre diferentes instantes da pedalada. Alguns indicadores mudaram entre os quadros examinados e houve diferenças entre os lados do corpo.

7.4 Simulações de modalidades em bicicleta ergométrica

Uma bicicleta ergométrica regulável permitiu ampliar as experiências para posturas associadas a Road Bike, Mountain Bike, Time Trial e Triathlon. Essa solução foi utilizada porque não houve acesso a bicicletas reais das duas últimas modalidades. Os ajustes procuraram reproduzir os ângulos de referência no corpo do ator, com auxílio de um goniômetro, antes da captura. A imagem da Figura 23 registra parte desse procedimento. A simulação reproduziu condições posturais selecionadas; não reproduziu integralmente a geometria, a dinâmica ou o contexto de uso de cada bicicleta de competição (BURT, 2022).



Figura 23 — Ajustes posturais com goniômetro no corpo do ator em bicicleta ergométrica

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 200, p. 267).

Os movimentos foram gravados e organizados em animações identificadas pela modalidade e pelas características do ator. A possibilidade de rever essas sequências no ErgoMotion ajudou a examinar os indicadores em fases distintas do ciclo. O emprego do goniômetro no corpo deve ser distinguido da conferência posterior na tela: o primeiro procedimento orientou a postura de captura, enquanto o segundo examinou sua representação no modelo. A pesquisa não apresentou uma série sincronizada de medições independentes que quantificasse a diferença entre as duas situações.

Na simulação Triathlon da Figura 24, o quadro selecionado apresentou sinais verdes em articulações como cotovelo, tornozelo e joelho, conforme a fase examinada. Ao mesmo tempo, o ombro e a região lombar apareceram em cinza transparente. O relato considerou tanto uma possível inadequação da postura executada quanto limitações do registro pelo Kinect. A coexistência dessas respostas impede interpretar a imagem como confirmação de uma postura integralmente adequada ou de uma captura correta em todos os segmentos.

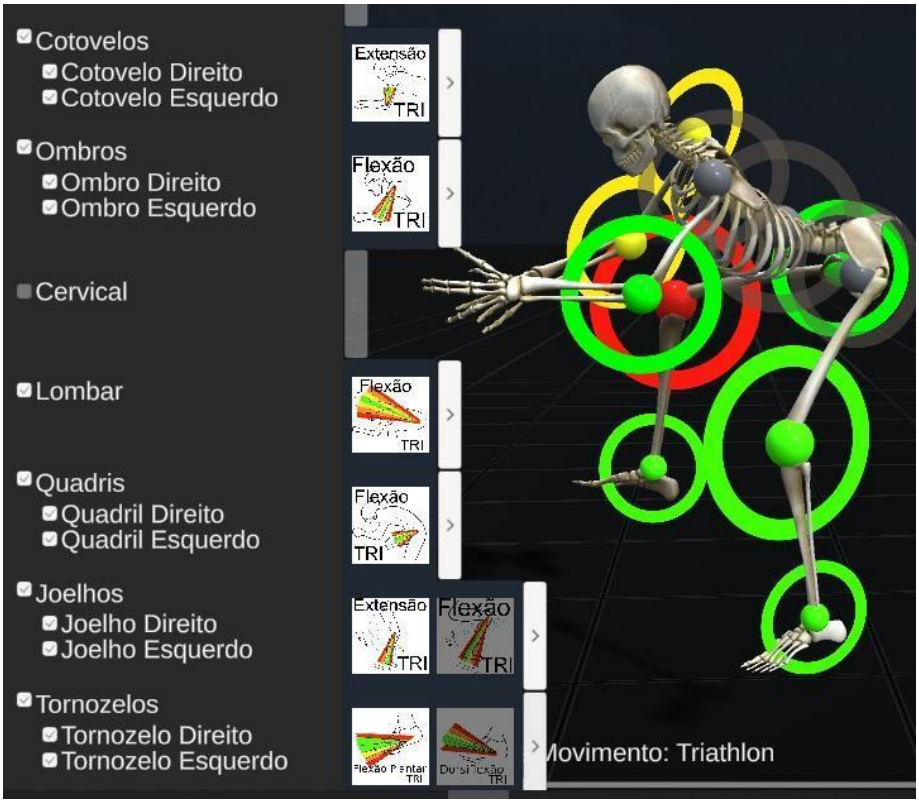


Figura 24 — Simulação da modalidade Triathlon e respostas dos indicadores

Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 213, p. 274).

A simulação Time Trial apresentada na Figura 25 mostrou uma resposta diferente do ombro e manteve a dificuldade na região lombar. A postura mais fechada do tronco continuou sem uma interpretação conclusiva: poderia haver dificuldade do ator em alcançar a posição adotada como referência ou uma restrição do sensor para registrá-la. O ensaio documentou o uso da bicicleta ergométrica na composição de posturas e a reprodução das capturas no simulador. A origem da discrepância lombar permaneceu aberta à investigação.

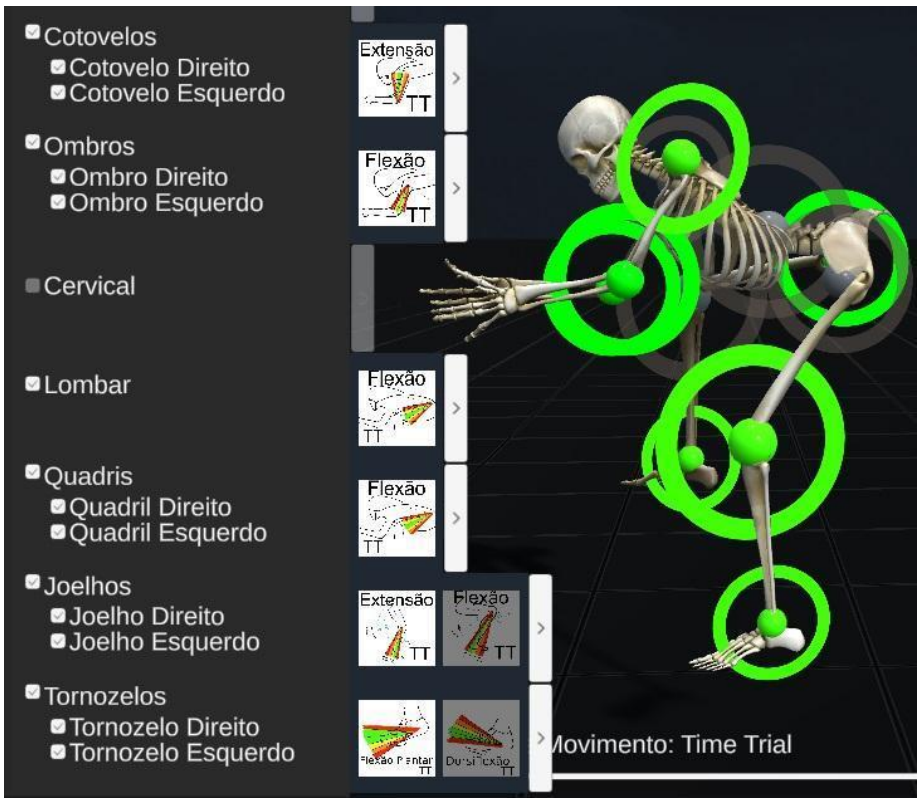


Figura 25 — Simulação da modalidade Time Trial com discrepância na região lombar
Fonte: Gustavo Luiz dos Santos Dewes, 2023. Reproduzida de Dewes (2024, figura 214, p. 275).

7.5 O alcance dos resultados observados

Os ensaios demonstraram que o protótipo reuniu animações, parâmetros articulares e sinalização cromática em uma interface comum. Também documentaram movimentos incompletos, ausência de respostas esperadas e dificuldades de interpretação em posturas específicas. A comparação entre esses casos é mais informativa do que uma apresentação restrita aos resultados visualmente bem-sucedidos. Ela permite localizar quais partes da cadeia funcionaram nas situações demonstradas e quais precisam de investigação antes de sustentar decisões mais exigentes.

A tese relatou correspondência entre algumas medidas sobre a tela e os valores representados no ambiente Unity, mas não apresentou um conjunto de métricas que permitisse estabelecer erro angular, repetibilidade ou concordância em uma população de usuários. Também registrou variações de tonalidade entre monitores. Assim, a evidência disponível sustenta uma demonstração de integração tecnológica e visualização de movimentos. A extensão desse resultado para aplicações clínicas, avaliações profissionais conclusivas ou comparação com outros sistemas depende de estudos que não foram concluídos nessa etapa.

CAPÍTULO 08

8 Limites e continuidade da pesquisa

O ErgoMotion resultou em um protótipo de pesquisa que articulou captura de movimentos, representação esquelética e interpretação cromática de parâmetros angulares. A contribuição foi construída em condições técnicas e materiais específicas. Compreender seus limites permite avaliar o que foi demonstrado, reconhecer o que ainda não foi verificado e estabelecer prioridades para a continuidade do trabalho. Essa distinção preserva o valor do desenvolvimento sem atribuir ao sistema resultados que a pesquisa não alcançou.

8.1 Uma cadeia de representação sujeita a restrições

A qualidade de uma análise depende das etapas que ligam o movimento físico à informação exibida. No projeto, a captura foi condicionada ao alcance do Kinect V1, à posição dos sensores, à visibilidade do corpo e ao processamento realizado no iPi Soft. O uso de duas perspectivas procurou reduzir oclusões, mas não eliminou as dificuldades observadas. Uma articulação encoberta pelo próprio corpo ou pelos equipamentos de ciclismo pode produzir dados que exigem revisão antes de serem interpretados.

O dispositivo não ofereceu captura detalhada dos movimentos dos dedos das mãos e dos pés. Além dessa restrição, os ensaios indicaram dificuldades em movimentos de menor amplitude e em algumas posturas do tronco. A utilização de quatro sensores foi considerada desejável no planejamento, enquanto a configuração efetivamente empregada permaneceu com dois dispositivos, compatível com os recursos disponíveis e com a versão de avaliação do software intermediário. A pesquisa não quantificou o ganho que outra quantidade de sensores produziria.

O processamento e a preparação do modelo também participaram dessa cadeia. Alinhamento do esqueleto, ajuste da pose, seleção de eixos e parametrização angular influenciaram a representação final. A escala de cores foi aplicada aos valores recebidos pelo sistema; ela não corrigiu automaticamente problemas da captura. Por isso, uma interface visualmente coerente pode coexistir com dados incompletos. A continuidade do projeto depende de examinar as etapas de aquisição, tratamento e visualização, em vez de atribuir toda discrepância a uma única fonte.

8.2 Verificação funcional e validação comparativa

A verificação funcional respondeu se as animações eram reproduzidas e se os indicadores mudavam segundo os parâmetros cadastrados. A conferência com o goniômetro acrescentou observações sobre ângulos no corpo e na tela. Uma validação comparativa exigiria outro desenho de investigação, com procedimentos de referência

capazes de examinar a qualidade das medidas de modo independente. A própria conclusão da tese reconheceu que a comparação com outro processo de captura, envolvendo atletas e profissionais de ergonomia, não foi realizada.

Os exemplos apresentados não formaram uma amostra representativa da diversidade de pessoas, bicicletas e atividades para as quais um sistema desse tipo poderia ser utilizado. A documentação descreveu um ator e situações exploratórias de uso; não estabeleceu um estudo populacional. Também não apresentou medidas de repetibilidade, concordância entre avaliadores ou distribuição dos erros angulares. Essas ausências limitam a generalização dos resultados e impedem afirmar equivalência ou superioridade do ErgoMotion em relação a equipamentos especializados.

Uma investigação comparativa futura precisará tornar rastreável a relação entre o gesto executado, a medida de referência e o valor apresentado pelo modelo. Isso envolve registrar as condições de captura, explicitar a convenção angular e documentar o procedimento usado para comparar as observações. Também será necessário distinguir uma alteração de postura de uma diferença produzida pelo registro ou pelo processamento. Essas exigências decorrem das incertezas encontradas no desenvolvimento e constituem critérios para planejar a próxima etapa; não descrevem um protocolo já executado ou resultados adicionais do ErgoMotion.

A interpretação ergonômica possui uma exigência adicional. A faixa angular não representa, sozinha, a experiência de uma pessoa durante uma atividade. No ciclismo, a postura depende da interação entre características do ciclista, configuração da bicicleta e forma de pedalar. O alcance de um valor nominal não demonstrou ausência de desconforto ou garantia de segurança. O retorno cromático deve ser compreendido como representação de um critério adotado no protótipo, acompanhado da observação da tarefa e da avaliação profissional pertinente (BURT, 2022).

A expressão “indicador de conforto”, utilizada na interface e no desenvolvimento, precisa ser lida com essa delimitação. Não houve mensuração do conforto percebido que permitisse estabelecer uma relação universal entre determinada cor e uma sensação corporal. Do mesmo modo, o cinza transparente informa uma condição fora do domínio programado ou não contemplada pela análise selecionada. Ele exige interpretação contextual e não constitui uma categoria clínica. Essa distinção é essencial para que a clareza visual não seja confundida com certeza sobre o estado da pessoa.

8.3 Execução no Unity e distribuição do software

Ao término da pesquisa, o ErgoMotion funcionou no ambiente de desenvolvimento Unity, mas não foi concluído como executável independente. Essa limitação restringiu sua distribuição para usuários sem acesso ao projeto e impediu considerar integralmente alcançado o objetivo de disponibilizar um software em português para análise e simulação de movimentos. A existência de uma interface navegável no protótipo não

equivale à entrega de um aplicativo autônomo, instalado e utilizado fora do ambiente em que foi desenvolvido.

A tese associou a dificuldade de gerar o executável a inconsistências na interpretação das rotações e na manutenção das respostas cromáticas fora do editor, discutidas em termos de Vector3 e quaternions. Esse relato deve ser entendido como um problema encontrado na implementação específica. Ele não estabelece uma regra geral sobre o funcionamento do Unity, nem demonstra que a geração de um executável implique, por si só, uma mudança obrigatória de convenção angular. A causa técnica e sua solução permaneceram sem confirmação no trabalho.

A continuidade dessa etapa exige revisar as representações de rotação, as referências locais das articulações e a correspondência entre o ângulo calculado e a cor exibida. O objetivo é preservar o comportamento do projeto na aplicação distribuída. Essa revisão deve ser acompanhada da conferência dos parâmetros que apresentaram divergências documentais, especialmente no joelho e no tornozelo. Resolver a execução independente é necessário para ampliar o acesso, mas não substitui a validação das medidas e dos critérios de interpretação.

8.4 Prioridades para novas investigações

A integração da captura diretamente ao simulador permaneceu como uma possibilidade de desenvolvimento. A solução efetivamente utilizada passou pelo iPi Soft e por animações previamente processadas. Embora a interface pudesse reproduzir movimentos e atualizar indicadores durante sua execução, isso não significou aquisição e análise integral do corpo em tempo real. A distinção entre reprodução interativa e captura ao vivo deve orientar qualquer apresentação futura do sistema e os critérios empregados para verificar uma nova versão.

Os modelos esqueléticos de recém-nascido, dois anos e sete anos constituíram outra frente incompleta. Foram desenvolvidos e animados, mas não receberam os sinalizadores de conforto presentes no modelo adulto. Portanto, sua existência não demonstra que o protótipo tenha realizado avaliações ergonômicas pediátricas. Qualquer expansão nessa direção demanda parâmetros apropriados ao público, investigação das condições de captura e conferência das respostas do sistema. A aparência de um corpo com determinada idade não é suficiente para validar sua utilização analítica.

A realidade aumentada e o aprendizado de máquina também foram apontados como perspectivas. No primeiro caso, a pesquisa considerou a aproximação entre ambiente físico e representação digital em dispositivos móveis. No segundo, discutiu a possibilidade de aprimorar a interpretação dos movimentos. Nenhuma dessas direções foi demonstrada como funcionalidade implementada e validada. Seu desenvolvimento precisaria responder a problemas definidos e apresentar evidências próprias, sem depender apenas do interesse dessas tecnologias ou da expectativa de que resolveriam as limitações existentes.

A organização em bibliotecas oferece um caminho para novas aplicações, desde que cada ampliação explicite o que será observado e quais referências sustentarão sua leitura. Uma biblioteca adicional não consiste apenas em cadastrar movimentos ou escolher cores. Ela precisa relacionar o comportamento corporal à tarefa, registrar a convenção de medida e estabelecer critérios que possam ser examinados. O aprendizado obtido com Cinesiologia e Bike Fit indica a importância dessa documentação para reduzir ambiguidades na implementação e na comunicação dos resultados.

8.5 A contribuição do desenvolvimento para o Design

Durante o desenvolvimento do ErgoMotion, compreendi com maior clareza que alcançar um ângulo de referência não encerra uma análise ergonômica. A postura adotada e a maneira como a pessoa se sente durante a atividade também precisam ser consideradas. Essa aprendizagem aproximou os conhecimentos de cinesiologia e goniometria das decisões de projeto: compreender o movimento foi necessário para escolher o que representar, enquanto investigar a interação com a bicicleta ajudou a dar sentido aos parâmetros utilizados.

A contribuição do trabalho está na documentação de um percurso de desenvolvimento em Design que integrou tecnologias disponíveis, conhecimentos sobre o corpo e recursos de visualização. O protótipo demonstrou uma forma de relacionar capturas processadas a parâmetros e indicadores em um ambiente tridimensional. Seus resultados e dificuldades oferecem material para ensinar, discutir e investigar essa integração. O valor desse percurso depende de manter explícita a diferença entre uma decisão projetual, uma resposta funcional observada e uma conclusão que ainda exige comprovação.

O ErgoMotion documenta como um problema de interação entre corpo e produto foi traduzido em uma experiência digital. Sua continuidade exige conferir os parâmetros, estabilizar a execução independente e ampliar a avaliação das medidas. Os resultados e as limitações registrados oferecem uma base para novas investigações sobre movimento humano no Design.

Referências

ANDRADE, A. Game engines: a survey. EAI Endorsed Transactions on Serious Games, v. 2, n. 6, 2015. DOI: 10.4108/eai.5-11-2015.150615. Acesso em: https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.5-11-2015.150615

BACK, N. et al. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008.

BARBOSA, J. A. Análise cinética, cinemática e eletromiográfica da flexão de braços: estudo exploratório. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2015.

BRENDLER, C. F.; TEIXEIRA, F. G.; SANTOS, S. L.; PIZZATO, G. Z. de A. Processo de análise ergonômica antropométrica virtual utilizando o modelo humano digital HERIP em estação de trabalho. Educação Gráfica, Bauru, v. 23, n. 2, p. 248–267, ago. 2019.

BUBB, H. Why do we need digital human models? In: SCATAGLINI, S.; PAUL, G. (ed.). DHM and Posturography. [S. l.]: Academic Press, 2019. p. 7–32. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816713-7.00002-7.

BURT, Phil. Bike Fit: Optimise Your Bike Position for High Performance and Injury Avoidance. Londres: Bloomsbury Publishing, 2022.

CONFORTO; DA SILVA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. [S. l.], p. 13, 2011.

DEWES, Gustavo Luiz dos Santos. ErgoMotion: simulador digital para análises ergonômicas com captura de movimentos. 2024. Tese (Doutorado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/277249. Acesso em: 2 nov. 2026.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HAGGAG, H.; HOSSNY, M.; NAHAVANDI, S.; CREIGHTON, D. Real Time Ergonomic Assessment for Assembly Operations Using Kinect. In: UKSIM INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER MODELLING AND SIMULATION, 15., 2013. Anais [...]. [S. l.], IEEE, p. 495-500, 2013. DOI: 10.1109/UKSIM.2013.105

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2005.

MARQUES, Amélia Pasqual. Manual de goniometria. São Paulo: Manole, 2003.

SACCO, I. C. N.; TANAKA, C. Cinesiologia e biomecânica dos complexos articulares. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

SHIPPEN, J.; MAY, B. BoB – biomechanics in MATLAB. In: INTERNATIONAL CONFERENCE BIOMDLORE, 11., 2016, Vilnius Gediminas Technical University, Druskininkai, Lituânia. Proceedings of 11th International Conference Biomdlore 2016. Vilnius Gediminas Technical University, Druskininkai, Lituânia: VGTU Technika, 2016. DOI: 10.3846/biomdlore.2016.02.

Disponível em: https://cris.vilniustech.lt/cris/entities/publication/78b815f3-1fe8-4f9e-9d13-194c307fddfd. Acesso em: 17 set. 2022.

SZABO, P. W. User Experience Mapping: Get closer to your users and create better products for them. Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2017.

THOMPSON, J.; FLOYD, R. Manual de cinesiologia estrutural. 19. ed. São Paulo: Editora Manole Saúde, 2016. ISBN 978-8520445921.

VOX, J. P. et al. An evaluation of motion trackers with virtual reality sensor technology in comparison to a marker-based motion capture system based on joint angles for ergonomic risk assessment. Sensors, v. 21, n. 9, 2021. Article n. 3145. DOI: 10.3390/s21093145.

WAGNER, D. W.; REED, M. P.; RASMUSSEN, J. Assessing the Importance of Motion Dynamics for Ergonomic Analysis of Manual Materials Handling Tasks using the AnyBody Modeling System. SAE Technical Paper Series, 2007. DOI: https://doi.org/10.4271/2007-01-2504.

9786583199911ISBN 978-65-83199-91-1

thesis editora científica