

Uma abordagem de visão computacional para correção de postura em tempo real da técnica de agachamento

Daniel Michelin¹, Rafael Rieder¹

¹Ciência da Computação – Universidade de Passo Fundo (UPF)
Passo Fundo – RS – Brazil

{178311, rieder}@upf.br

Abstract. *Correctly performing physical exercises is essential to avoid injuries and desire effective results, especially for squat movements. However, a person cannot be supervised frequently by a gym attendant. With this in mind, this work aims to present a computer vision approach for real-time posture correction of the squat technique. The web app **Me Exercite** was developed in Python using MediaPipe Pose Landmark Detection resources to detect human poses. The application integrates different back-end technologies (OpenCV, FastAPI, WebSockets, and Nginx) and front-end (Flutter, BLoC, and JavaScript), which facilitate its use by the end user. Our work also carried out a pilot study to evaluate **Me Exercite** by volunteers, using the technology acceptance model, Likert scale 1-5. Ten gym students_(a) and two physical education professionals_(p) participated in the experiment. The results indicated positive acceptance for both groups, with the potential to support new exercises in the future. The evaluations highlighted the ease of use of the solution ($\bar{x}_{(a)} = 4.90$, $\bar{x}_{(p)} = 5.00$), as well as the usefulness for carrying out training ($\bar{x}_{(a)} = 4.80$, $\bar{x}_{(p)} = 5.00$). Our proposed approach focuses on its availability as a platform-independent application and its reliability as a support tool for physical exercises to the squat technique.*

Resumo. *A execução correta de exercícios físicos é essencial para evitar lesões e buscar resultados eficazes, especialmente para movimentos de agachamento. Porém, nem sempre uma pessoa pode ter o acompanhamento de um profissional nessa atividade. Com isso em mente, o objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem de visão computacional para correção de postura em tempo real da técnica de agachamento. O web app **Me Exercite** foi desenvolvido em Python utilizando recursos do MediaPipe Pose Landmark Detection para detectar poses humanas. O aplicativo integra diferentes tecnologias de back-end (OpenCV, FastAPI, WebSockets e Nginx) e front-end (Flutter, BLoC e JavaScript), que facilitam sua utilização pelo usuário final. O trabalho também realizou um estudo piloto para avaliar o **Me Exercite** por voluntários, usando o modelo de aceitação de tecnologia, escala Likert 1-5. Dez alunos de academias_(a) e dois profissionais de educação física_(p) participaram do experimento. Os resultados indicaram aceitação positiva para os dois grupos, com potencial para suportar novos exercícios no futuro. As avaliações destacaram a facilidade de uso da solução ($\bar{x}_{(a)} = 4,90$, $\bar{x}_{(p)} = 5,00$), bem como na utilidade para realização de treinos ($\bar{x}_{(a)} = 4,80$, $\bar{x}_{(p)} = 5,00$). Os diferenciais da abordagem proposta são a disponibilidade como aplicativo independente de plataforma, e a confiabilidade como ferramenta de apoio de atividades físicas à técnica de agachamento.*

1. Introdução

A prática de exercícios físicos é fundamental para a saúde e o bem-estar, como melhora do sono, melhora nos aspectos psicológicos e aos transtornos de humor, como a ansiedade e a depressão, e aos aspectos cognitivos, como a memória e a aprendizagem [Mello et al. 2005]. A execução correta dos movimentos é essencial para evitar lesões e buscar resultados eficazes, sendo assim, as pessoas julgam importante contar com o acompanhamento de um profissional da área que possua o conhecimento necessário para orientar na realização correta dos exercícios, garantindo que sejam maximizados os benefícios dos exercícios e também minimizar os riscos, tornando a prática física mais saudável e satisfatória [Freitas 2018].

No entanto, o acompanhamento constante de um profissional para verificar se a execução do exercício está sendo feita corretamente pode conter limitações. Em ambientes de treinamento nem sempre é viável ter um profissional disponível o tempo todo acompanhando cada cliente, o que pode comprometer a qualidade da orientação e o orçamento do estabelecimento. Por outro lado, o praticante pode não ter condições financeiras de frequentar locais com esse propósito, tendo que realizar seus exercícios em sua própria residência sem auxílio profissional [Kumar Reddy Boyalla 2021].

Uma área que está revolucionando a forma como interagimos com a tecnologia é a visão computacional. Ela é uma área do conhecimento que apresenta recursos computacionais que possibilitam que computadores compreendam e interpretem o mundo visualmente, como os humanos, extraindo informações significativas a partir de imagens capturadas por câmeras de vídeo, sensores, scanners, entre outros dispositivos, para reconhecer, manipular e pensar sobre o que reconhecer na imagem [Ballard & Brown 1982]. Nesse sentido, é possível usar a visão computacional em tarefas de identificação e acompanhamento de movimentos e poses, abrindo portas para a criação de sistemas inteligentes que respondam a gestos e movimentos do usuário, de forma natural e intuitiva.

Uma alternativa para ajudar na correção da postura é o uso de um aplicativo que utiliza a tecnologia de visão computacional, usando a câmera do *smartphone* para capturar o movimento durante o exercício para o software analisar a postura e retornar em tempo real uma avaliação sobre a execução do movimento [Kotte et al. 2023]. Para o profissional de Educação Física, pode ser uma ferramenta interessante para auxiliá-lo durante atendimentos individualizados ou em massa, como forma de identificar aqueles que estão com mais dificuldades em sua postura. Para alunos de academia e praticantes de exercícios físicos, pode ser uma solução de apoio a suas práticas esportivas em um local de treinamento, bem como ser uma opção para a ausência de acompanhamento de um profissional, possibilitando executar seus exercícios de forma segura em sua própria residência.

Com isso em mente, o objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem de visão computacional para correção de postura em tempo real da técnica de agachamento. A ideia é desenvolver uma solução, em formato de aplicativo, que seja útil ao usuário como ferramenta de apoio à atividade física, e que facilite seu uso em diferentes dispositivos móveis. Para tanto, o trabalho está organizado como segue: a Seção 2 mostra uma fundamentação teórica a respeito da técnica de agachamento; a Seção 3 apresenta trabalhos relacionados recentes que abordam o uso de visão computacional para correção de postura; a Seção 4 apresenta os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do

web app e os instrumentos de avaliação; a Seção 5 divulga os resultados obtidos com um estudo piloto; a Seção 6 analisa e discute os resultados de avaliação da solução proposta; e a Seção 7 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

A pesquisa em questão tem como foco central a investigação da aplicação de visão computacional na análise da técnica de agachamento, com o intuito de orientar o usuário sobre o movimento correto em tempo real, melhorando a execução e prevenindo lesões. As próximas subseções apresentam uma breve fundamentação do tema em questão.

2.1. Técnica do Agachamento

O entendimento da técnica do agachamento é essencial para a contextualização da pesquisa, principalmente a biomecânica envolvida na execução do agachamento, considerando fatores como postura, amplitude de movimento e distribuição de carga. Ele pode ser executado de diversas formas, livre, com anilhas, no aparelho Smith (Figura 1), entre outros.

A utilidade do agachamento se torna realmente perceptível quando se analisa a manutenção das estruturas atômicas a qual o exercício oferta, posicionando bem o corpo durante a realização estimula o desenvolvimento de mobilidade articular e flexibilidade muscular, habilitando a possibilidade de prevenir lesões [de Moraes Alves Almeida et al. 2019].



Figura 1. Agachamento sendo executado no aparelho Smith¹.

Aspectos como alinhamento corporal e distribuição de peso são fundamentais para o agachamento. A ênfase na técnica correta de execução permite que o exercício ofereça segurança as estruturas ósseas e articulares [Preto et al. 2014]. Além disso, o agachamento é um exercício que demanda grande controle, movimentos inadequados aumentam significativamente o risco de lesões, destacando a importância de aprimorar a técnica do exercício para reduzir tais riscos [Thompson & Floyd 2002].

¹Créditos: Lio Putra. Disponível em <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/man-doing-smith-machine-barbell-squat-2406537921>

O movimento correto é composto de duas fases, como ilustrado na Figura 2. Observa-se que na fase concêntrica existe a extensão do joelho, a ativação muscular difusa e a ativação prévia do músculo quadríceps femoral, e na fase excêntrica a flexão do joelho a 90°, a ativação muscular basal e a flexão do quadril [Araujo et al. 1996]. Também é preciso reforçar que a participação dos músculos isquiotibiais é maior quando se obtém uma amplitude do movimento maior [Caterisano et al. 2002], como também sofre influência da carga utilizada, portanto, terá maior ativação dessa musculatura com cargas altas e amplitudes completas [Shields et al. 2005].

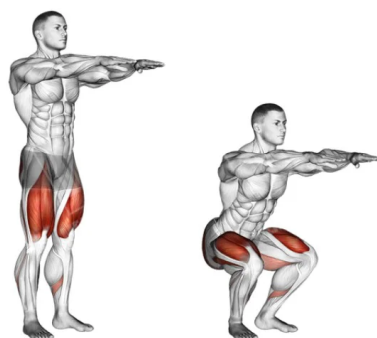


Figura 2. Músculos ativados no agachamento².

2.2. Lesões no Exercício de Agachamento

Apesar do agachamento ser um exercício comum e benéfico à saúde, ele pode resultar em lesões no sistema musculoesquelético quando realizado de forma incorreta ou excessiva. A posição dos pés e joelhos a longo prazo pode resultar em lesões de desgaste irreversíveis, como mostra a Figura 3.

Nesse âmbito, a magnitude da força patelofemoral desempenha um papel crucial, contribuindo para a degeneração da cartilagem da patela e superfície do fêmur, podendo levar a patologias como condromalácia patelar e osteoartrite [Hirata & Duarte 2006], como na Figura 4.

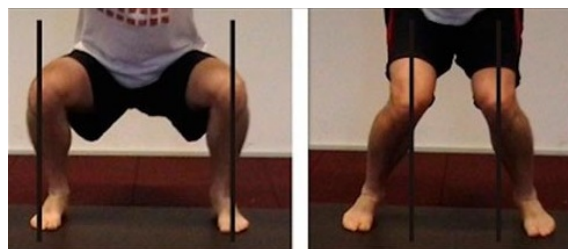


Figura 3. Posição correta x posição incorreta dos joelhos³.

²Créditos: Epulari. Disponível em <https://www.useepulari.com.br/blog/entenda-tudo-sobre-a-biomecanica-do-agachamento>

³Créditos: Basefitness. Disponível em <https://www.basefitness.com.br/agachamento-livre>

⁴Créditos: Leonardo Rocha Thomaz. Disponível em <https://drleonardorochathomaz.com.br/artrose-do-joelho>

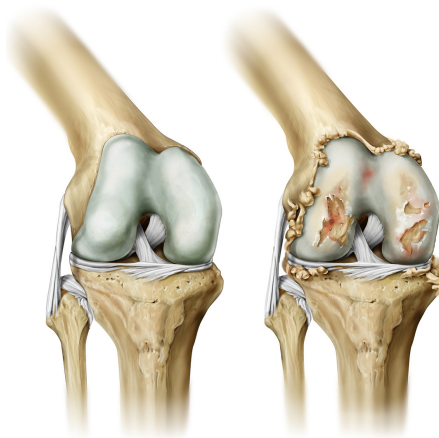


Figura 4. Joelho saudável x joelho com osteoartrite⁴.

3. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta estudos que aplicam visão computacional para o rastreamento de movimentos e a identificação precoce de padrões de movimento suscetíveis a lesões.

O projeto de [Patil 2022] apresenta um sistema de detecção de ângulos durante agachamentos, para uma análise da postura humana. A implementação envolve um pipeline de aprendizado de máquina de dois passos, utilizando um detector para localizar a região de interesse (ROI) da pose da pessoa e um rastreador para prever os pontos de referência e a máscara de segmentação dentro da ROI. Utilizando bibliotecas como NumPy, cv2 e MediaPipe, o projeto explora especificamente a detecção de ângulos durante o exercício de agachamento, considerando sua importância no treinamento de força e potencial para prevenção de lesões quando executado com técnica adequada.

[Kotte et al. 2023] mostram uma estratégia que emprega visão computacional para monitorar e fornecer feedback em tempo real sobre a postura durante exercícios físicos. Utilizando o modelo de aprendizado profundo YOLOv7-pose, o sistema identifica pontos-chave humanos e fornece correções de postura imediatas. A técnica foi testada em vídeos de fitness e avaliada com participantes inexperientes, mostrando uma reação positiva e sugerindo melhorias na interface do usuário.

[Kumar Reddy Boyalla 2021] exploram a detecção de pose humana por meio da visão computacional. O projeto usa um modelo pré-treinado OpenPose Caffé com dois conjuntos de dados, COCO e MPII, para corrigir exercícios. Ele ressalta que devido à pandemia de COVID-19, tornou-se difícil o acesso a espaços de exercícios e os novatos foram deixados sem a orientação pessoal que normalmente recebem na academia. A detecção de pose humana pode ser um meio de substituir um treinador pessoal humano, desenvolvendo um sistema de correção de postura de exercício em tempo real em vídeos gravados ou transmissão de imagem em tempo real que permite às pessoas se exercitarem com segurança em casa, evitando lesões.

[Rodrigues 2022] apresenta um sistema de software que utiliza a tecnologia de rastreamento de pose humana, o BlazePose, para auxiliar na prática de exercícios físicos. O sistema fornece dados de amplitude do movimento, tempo de execução e frequência do treino, permitindo uma avaliação mais completa do exercício para o instrutor e o aluno. O

sistema foi projetado para ser uma alternativa ao treinamento pessoal humano, especialmente útil durante a pandemia de COVID-19, quando muitas pessoas estão se exercitando em casa.

O projeto de [Mehta 2021] é um assistente que promove feedback de exercícios fornecendo análise de postura em tempo real durante a execução. Utilizando tecnologias como Python, TensorFlow, MediaPipe, OpenCV e Flask, o sistema fornece feedback audiovisual para ajudar a melhorar a forma durante o exercício. Ele analisa os exercícios de agachamento e prancha relatando sobre erros de postura.

Nesse contexto, o estudo proposto por este trabalho procura trazer algumas inovações e melhorias em relação às abordagens relacionadas. Entre elas, pode-se citar como diferencial a integração de tecnologias como OpenCV, Flutter, Python, MediaPipe, WebSockets e Fast API em uma aplicação web para detecção do movimento em tempo real. O usuário tem acesso ao esqueleto que representa o seu movimento natural, permitindo um feedback imediato se estiver com algum problema na posição dos pés e joelhos, a posição dos joelhos em relação aos pés e o alinhamento de ombros - o que pode identificar má distribuição de carga.

Além disso, esta proposta é executada como *web app*, o que permite seu uso em navegadores de uma gama maior de dispositivos que oferecem acesso à internet e à câmera. Isso aumenta significativamente a acessibilidade e a praticidade para os usuários, permitindo que eles verifiquem se estão executando o exercício corretamente.

4. Materiais e Métodos

Diferentes recursos foram empregados para propor uma abordagem de visão computacional que faça rastreamento de movimentos e identifique situações de correção de postura em tempo real, para a técnica de agachamento. As próximas subseções destacam as tecnologias empregadas, o software proposto denominado **Me Exercite**, e a definição do estudo piloto para validar a solução.

4.1. Back-end

As tecnologias utilizadas no *back-end* foram específicas para usufruir dos recursos da linguagem de programação Python, no que tange o recebimento das informações coletadas, o processamento delas e o retorno ao usuário. Além disso, a aplicação como um todo foi projetada em módulos para facilitar a inclusão de um novo exercício físico para avaliação, dependendo apenas um novo parâmetro e uma função para tal.

Para tanto, a principal ferramenta empregada foi o Pose Landmark Detection. Ela faz parte da biblioteca MediaPipe, desenvolvida pelo Google, e tem por objetivo rastrear e traçar pontos nos humanos detectados em uma imagem, permitindo a análise detalhada de movimentos naturais [Google 2024] [Vakunov et al. 2020]. Como mostra a Figura 5, por meio de algoritmos de visão computacional, a ferramenta é capaz de realizar a detecção em tempo real de 33 pontos no corpo humano. Além disso, ela identifica a posição e a orientação de diferentes partes do corpo, como, por exemplo, articulações durante o agachamento [Lugaresi et al. 2019].

No âmbito desse projeto, ao proporcionar uma representação visual das posturas adotadas durante um exercício, a ferramenta permite uma avaliação da técnica do movimento realizando cálculos comparando a distância entre os parâmetros biomecânicos do

exercício. Essa capacidade viabiliza o feedback imediato para indicar ao usuário possíveis desalinhamentos corporais ou má distribuição de carga.

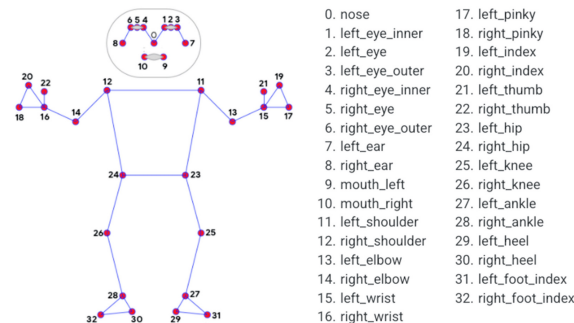


Figura 5. Pontos Captados pelo Pose Landmark Detection.

Em conjunto com a Pose Landmark Detection, utilizou-se também recursos da OpenCV, uma biblioteca multiplataforma e gratuita para o desenvolvimento de aplicativos na área de Visão computacional. Ela dispõe de funcionalidades divididas em cinco grupos de funções: processamento de imagens; análise estrutural; análise de movimento e rastreamento de objetos; reconhecimento de padrões; e calibração de câmera e reconstrução 3D [Marengoni & Stringhini 2010].

Para receber e retornar as informações coletadas durante o uso do aplicativo, foi escolhida a tecnologia Websockets, que permite abrir um canal de comunicação de dados entre usuário e servidor. Sendo assim, é possível fazer aplicações trabalharem em tempo real, pois consegue-se enviar mensagens para o servidor e receber respostas sem precisar realizar uma consulta. Para facilitar o processo, foi utilizado o framework FastAPI, que contempla uma estrutura moderna e com alto desempenho para construção de APIs em Python 3.8+ [FastAPI 2024].

4.2. Front-end

A principal tecnologia para construção da interface gráfica do aplicativo foi o Flutter. Conforme descrito na sua documentação [Flutter 2024], é um framework open source de desenvolvimento multiplataforma que utiliza a linguagem Dart, que facilita o reuso de código, e mantém o padrão modular da solução para a inclusão futura de novos exercícios de maneira simples e rápida.

Durante o desenvolvimento, os aplicativos Flutter são executados em uma máquina virtual e, para o lançamento, são compilados diretamente para código de máquina ou para JavaScript se estiverem direcionados para a web. Nesse projeto, ele também ficou responsável por fazer a transmissão da imagem para o *back-end* trabalhar, atualizando as informações em tempo real.

4.3. Abordagem Proposta

A aplicação **Me Exercite** fica hospedada em um servidor web, com o objetivo de corrigir problemas de postura durante a execução do exercício de agachamento, prevenindo assim lesões. Ela pode ser utilizada pelo praticante para ter independência interpessoal no seu treino e por parte do educador físico ter o auxílio na correção da postura do agachamento de seus alunos. As camadas de *front-end* e *back-end* são empregadas para centralizar o

processamento em um computador com mais recursos computacionais do que os dispositivos móveis dos usuários.

Para tanto, as camadas foram hospedadas em um computador desktop com sistema operacional Ubuntu 22.04.4 LTS, processador Intel i7 3770 de 3.40 GHz, 16 GB de memória RAM DDR3 a 1600 MHz, Placa de Vídeo AMD Radeon RX480 com 8GB GDDR5 de memória e uma interface de 256-bit. A solução em JavaScript gerada pelo Flutter para utilização web foi hospedada utilizando um servidor Nginx com certificação SSL. Aproveitando a tecnologia, criou-se também um proxy-reverso para encaminhar e proteger as conexões WebSockets. A configuração de rede local onde o computador estava conectado era de 100 Mbps de download e upload.

Por meio do framework FastAPI, foi criado um serviço que recebe conexões via tecnologia WebSockets. Todas as mensagens recebidas contém uma imagem que são analisadas pela biblioteca MediaPipe Pose Landmark Detection, com o intuito de detectar se existe um corpo humano presente na imagem para iniciar o processamento.

Quando um corpo é detectado, a aplicação determina a posição dos pontos de articulação no corpo do usuário para o desenho de referência. Com base nisso, é possível calcular a distância e o alinhamento entre os membros, considerando medidas da imagem, como dimensão, resolução e densidade. Usando recursos do Flutter, com o auxílio da biblioteca BLoC, foi possível também gerenciar os estados e atualizar a imagem sempre que ela era retornada do *back-end*.

As informações que transitavam entre o *front-end* e o *back-end* são estruturadas em arquivos JSON, com os seguintes dados:

- Do *front-end* para o *back-end*:
 - Texto com o nome do exercício;
 - Imagem transformada em uma lista de comprimento fixo de inteiros sem sinal de 8 bits;
 - Booleano indicando se o exercício foi iniciado ou não.
- Do *back-end* para o *front-end*:
 - Imagem processada e transformada em uma lista de comprimento fixo de inteiros sem sinal de 8 bits;
 - Booleano indicando se o exercício estava correto e um texto com o status do exercício.

Para usar o **Me Exercite**, basta abrir um navegador web e acessar o endereço da hospedagem. Após a tela de apresentação, o usuário pode ler as instruções iniciais de uso (Figura 6a) e concordar com o aviso de consumo de dados (Figura 6b). Em seguida, escolhe a câmera a ser utilizada (Figura 6c) e o exercício para monitoramento em tempo real (Figura 6d). Cabe lembrar que, neste momento, apenas a opção agachamento está disponível no *web app*. Após essas configurações iniciais, o sistema entrega algumas dicas de execução, informa sobre limitações da plataforma e permite o usuário iniciar a experiência (Figura 7a).

Ao iniciar o monitoramento do exercício, a imagem processada é mostrada com o esqueleto desenhado no corpo do usuário em branco, e um botão de iniciar a avaliação é exibido (Figura 7b). Ao pressionar o botão de início, o esqueleto desenhado é mostrado em duas cores: vermelho, no caso de algum alinhamento incorreto; e verde, quando

o corpo está em conformidade com a execução esperada do movimento (Figura 7c e Figura 7d).

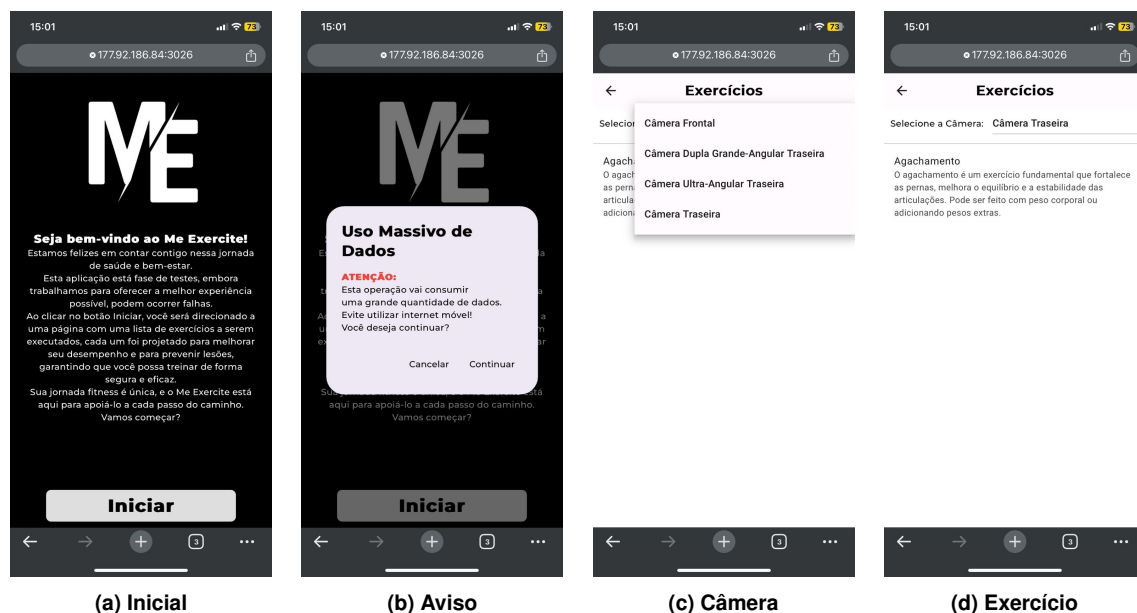


Figura 6. Telas de navegação do aplicativo, na ordem em que são apresentadas ao usuário.

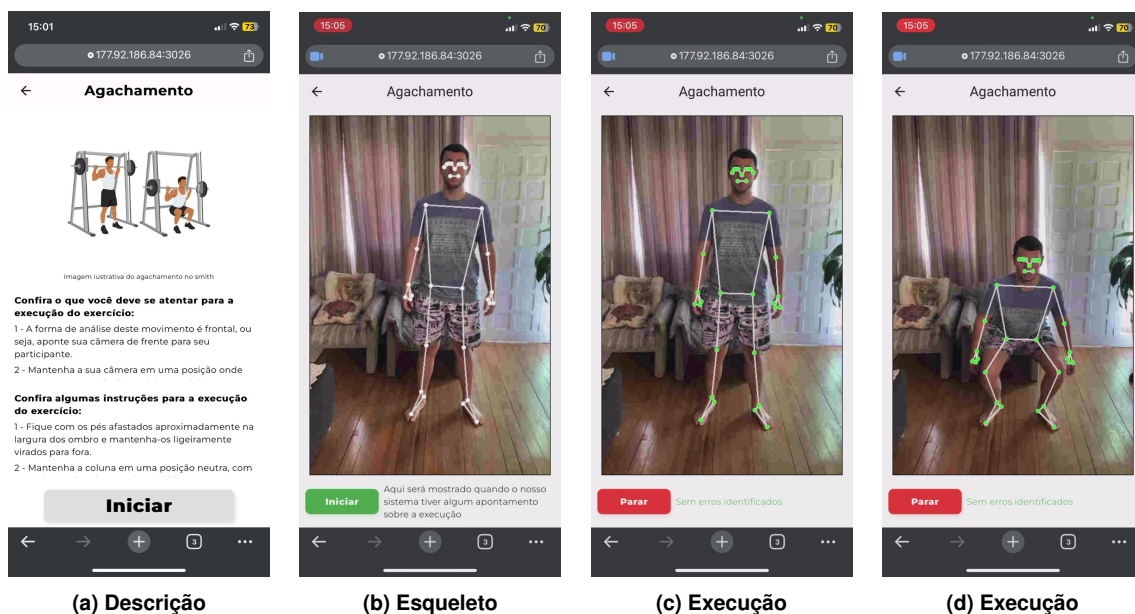
A solução **Me Exercite** também exibe um texto ao lado do botão indicando que encontrou possíveis erros durante o acompanhamento do exercício. Os alinhamentos que a aplicação está capacitada a avaliar para correção de postura em tempo real da técnica de agachamento são: alinhamento dos ombros (Figura 8a), alinhamento dos pés (Figura 8b) e alinhamento dos joelhos (Figura 8c). Todos os alinhamentos foram desenvolvidos com medição entre os pontos do corpo, permitindo que a pose do usuário seja validada em qualquer ângulo de rotação do celular estando com o corpo na parte frontal.

4.4. Instrumentos de Validação

Este trabalho considerou aplicar uma pesquisa exploratória e tecnológica, usando amostragem por conveniência, com a finalidade de avaliar a aceitação da tecnologia e a utilidade do aplicativo **Me Exercite**. O estudo piloto contou com uma amostra de 12 sujeitos voluntários, sendo 02 profissionais de educação física e 10 alunos de academias.

O experimento foi conduzido no período de 17 a 25 de maio de 2024, parte em uma academia, parte em um centro de treinamento e parte nas próprias residências dos usuários, ambas no município de Tapejara, RS. O convite aos voluntários foi feito de maneira informal e pessoal. Considerou-se duas etapas: uma de teste com o aplicativo, realizada individualmente; e outra de pós-teste, para avaliar a solução por meio de questionários disponibilizados em formulários on-line.

O teste consistiu em o usuário deslocar-se para um ambiente com condições para a execução de exercícios físicos, conectar-se a uma rede Wi-Fi e acessar a aplicação pelo navegador. Foi recomendado o uso do Google Chrome. Após realizar o acesso, o usuário atentou-se a ler as instruções do aplicativo, seguiu as indicações até a tela do exercício



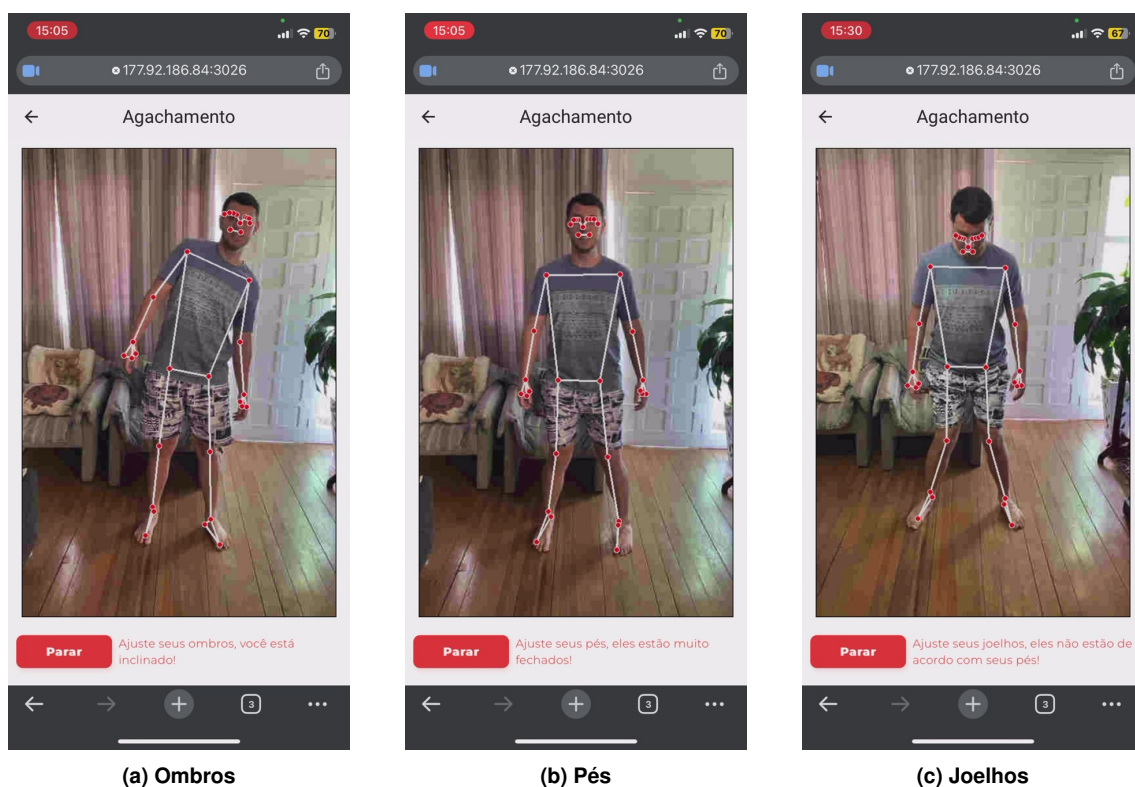
(a) Descrição

(b) Esqueleto

(c) Execução

(d) Execução

Figura 7. Execução do exercício de agachamento e indicação das marcações corretas das poses.



(a) Ombros

(b) Pés

(c) Joelhos

Figura 8. Avisos do movimento e indicação das marcações incorretas das poses durante o exercício.

e iniciou a gravação da tela do *smartphone*. Todos receberam as mesmas instruções de como usar o **Me Exercite** no navegador de seu *smartphone*.

Com a tela sendo gravada, o usuário teve a opção de posicionar o celular a uma

distância onde a câmera enquadrava o corpo inteiro ou solicitar auxílio de outra pessoa para segurar. Após o enquadramento feito, o usuário iniciou o uso do aplicativo, clicando sobre o botão “Iniciar”, e posicionando-se para a execução do movimento. Com o aplicativo executando, o usuário teve que simular, com muito cuidado, poses de movimento incorretas, realizar cinco repetições corretas do exercício e finalizar o aplicativo clicando sobre o botão “Parar”. Depois, o usuário podia reagir à sua gravação, verificar os apontamentos e o comportamento do aplicativo, antes de responder aos instrumentos de validação.

Para avaliar a aceitação da aplicação pelos usuários, utilizou-se o modelo de aceitação de tecnologia - TAM [Davis et al. 1989], instrumento projetado para compreender a relação causal entre variáveis externas de aceitação dos usuários e o uso real do sistema de informação. O modelo sugere que quando os usuários são apresentados a uma nova tecnologia, uma série de fatores influenciam sua decisão sobre como e quando eles a usarão, principalmente utilidade percebida e facilidade de uso percebida.

As afirmativas apresentadas no questionário TAM para os alunos, considerando uma escala de 1 a 5, foram:

- Quanto à Facilidade de Uso:
 - Q1a) Foi fácil aprender e usufruir dos recursos do “Me Exercite” no meu treino.
 - Q2a) Foi fácil encontrar na interface gráfica do “Me Exercite” as funcionalidades que preciso.
 - Q3a) Foi fácil me tornar habilidoso com as diversas opções do “Me Exercite”.
 - Q4a) Foi fácil e prático de usar o “Me Exercite”.
- Quanto à Utilidade Percebida:
 - Q5a) O “Me Exercite” foi preciso na detecção do movimento e na indicação do movimento correto.
 - Q6a) O “Me Exercite” apresentou um bom desempenho, retornando detecções em tempo aceitável.
 - Q7a) O “Me Exercite” passou confiança e segurança para realização do meu treino.
 - Q8a) O “Me Exercite” foi útil como ferramenta de apoio de treinos físicos.

Para os profissionais, também considerando uma escala de 1 a 5, as afirmativas apresentadas no questionário TAM foram:

- Quanto à Facilidade de Uso:
 - Q1p) Foi fácil aprender e usufruir dos recursos do “Me Exercite” para acompanhar o treino de meus alunos.
 - Q2p) Foi fácil encontrar na interface gráfica do “Me Exercite” as funcionalidades que preciso para acompanhar o treino de meus alunos.
 - Q3p) Foi fácil me tornar habilidoso com as diversas opções do “Me Exercite” para acompanhar o treino de meus alunos.
 - Q4p) Foi fácil e prático de usar o “Me Exercite”.
- Quanto à Utilidade Percebida:
 - Q5p) O “Me Exercite” foi preciso na detecção do movimento e na indicação do movimento correto para meus alunos.

- Q6p) O “Me Exercite” apresentou um bom desempenho, retornando detecções em tempo aceitável para meus alunos.
- Q7p) O “Me Exercite” passou mais confiança e segurança para meus alunos realizarem seus treinos.
- Q8p) O “Me Exercite” foi útil como ferramenta de apoio de treinos físicos.

O estudo também considerou um questionário aberto, para coletar dados e avaliar subjetivamente as respostas dos participantes, relacionados a utilidade percebida e facilidade de uso percebida. Eles podiam registrar impressões, aspectos positivos e negativos a respeito da facilidade de uso do aplicativo como ferramenta de apoio (alunos) ou de acompanhamento (profissionais) para prática de treinos.

Um espaço aberto para registrar sugestões de melhoria e críticas ao aplicativo, bem como outros comentários também foi disponibilizado. Ao final, perguntou-se a todos se indicariam a ferramenta para amigos e outros profissionais.

5. Resultados

As seguintes subseções apresentam os resultados da avaliação dos alunos de academia e profissionais de educação física referentes ao uso do aplicativo **Me Exercite**.

5.1. Alunos

Considerando a média geral para todos os alunos de academia, obteve-se uma aceitação da tecnologia muito boa, conforme apresentam a Tabela 1 e a Tabela 2.

Tabela 1. TAM: média gerais dos participantes “alunos de academia”, para aspectos de Facilidade de Uso.

Questão	$\bar{x} \pm DP$
Q1a)	$4,80 \pm 0,42$
Q2a)	$4,50 \pm 0,71$
Q3a)	$4,10 \pm 0,74$
Q4a)	$4,90 \pm 0,32$

Tabela 2. TAM: média gerais dos participantes “alunos de academia”, para aspectos de Utilidade Percebida.

Questão	$\bar{x} \pm DP$
Q5a)	$4,40 \pm 0,52$
Q6a)	$4,30 \pm 0,67$
Q7a)	$4,70 \pm 0,48$
Q8a)	$4,80 \pm 0,42$

Considerando os dados subjetivos coletados, pode-se destacar que todos os alunos participantes marcaram que indicariam a ferramenta para amigos. Eles também manifestaram opiniões positivas na usabilidade, relacionadas a rapidez de acessar o aplicativo, a independência do aluno em seus treinos, a interface fácil de utilizar e entender, a disponibilidade para corrigir seus exercícios diretamente em navegador web, e a experiência em utilizar recursos de visão computacional. Consideraram também o aplicativo útil,

principalmente para alertar e validar a execução da postura correta. Com ênfase em cometer erros por desatenção, relataram que sem o uso do aplicativo não poderiam ter um acompanhamento em tempo real de seus exercícios - especialmente por falta de condições financeiras para contratar um educador físico que atenda de forma individualizada.

Também foram apontados pontos negativos, como a necessidade de um ajudante ou de posicionar o celular para o monitoramento via aplicativo. Além disso, foram mencionadas a limitação de existir apenas um exercício, a falta de uma barra que dividisse os exercícios na lista (dificultando a identificação de um item clicável), e a pequena lentidão ao carregar a imagem, sendo atribuída ao celular de baixa qualidade do usuário (embora tenha afirmado que a correção foi realizada com sucesso).

Os usuários contribuíram com sugestões para aprimorar ainda mais o aplicativo. Eles sugeriram que o aplicativo pudesse rodar nativamente, sem depender do navegador. Além disso, propuseram a criação de um sistema de controle de usuários, permitindo que cada usuário tenha sua própria conta para acompanhar sua evolução nos exercícios. Outras sugestões incluíram a adição de mais exercícios físicos e a inclusão de vídeos explicativos em cada exercício, demonstrando como realizar o movimento corretamente.

5.2. Educadores Físicos

A média das respostas dos dois profissionais participantes também indica uma aceitação da tecnologia muito boa, conforme mostram a Tabela 3 e a Tabela 4.

Tabela 3. TAM: média gerais dos participantes “profissionais de Educação Física”, para aspectos de Facilidade de Uso.

Questão	$\bar{x} \pm DP$
Q1p)	$5,00 \pm 0,00$
Q2p)	$4,50 \pm 0,71$
Q3p)	$4,50 \pm 0,71$
Q4p)	$5,00 \pm 0,00$

Tabela 4. TAM: média gerais dos participantes “profissionais de Educação Física”, para aspectos de Utilidade Percebida.

Questão	$\bar{x} \pm DP$
Q5p)	$4,00 \pm 0,00$
Q6p)	$4,50 \pm 0,71$
Q7p)	$4,50 \pm 0,71$
Q8p)	$5,00 \pm 0,00$

Os educadores físicos que participaram do experimento também marcaram que indicariam a solução para outros profissionais. Os mesmos deram opiniões positivas sobre a usabilidade, destacando que o aplicativo é rápido, de fácil uso e útil por avisar sobre a postura, facilitando assim as aulas e os ensinamentos da execução correta.

Também foram apontados pontos negativos, como uma falta de adaptação na execução do aplicativo, que não foi especificada pelo educador, e a necessidade de outra pessoa segurar o dispositivo móvel ou apoiá-lo em algum local. Isso impossibilita o educador de deixar o aplicativo trabalhar sozinho.

Os educadores deram algumas sugestões para aprimorar o aplicativo. Eles sugeriram que o aplicativo incluísse mais exercícios, afirmaram que o teste com o agachamento foi excelente e seria interessante se mais exercícios fossem disponibilizados para serem executados com seus alunos. Além disso, sugeriram adicionar ao aplicativo um controle de alunos mais completo, desde as dobras cutâneas para o cálculo do percentual de gordura até o registro das correções de exercícios.

6. Discussão

De acordo com os resultados obtidos, nota-se que as notas mais altas foram para a praticidade (Foi fácil e prático de usar o “Me Exercite”, $\bar{x} = 4,90$), e para o aprendizado (Foi fácil aprender e usufruir dos recursos do “Me Exercite” no meu treino, $\bar{x} = 4,80$). Este panorama mostra que os usuários não tiveram dificuldades em entender como usar o aplicativo. Já a média com avaliação inferior esteve relacionada ao quesito de explorar as funcionalidades da aplicação (Foi fácil me tornar habilidoso com as diversas opções do “Me Exercite”, $\bar{x} = 4,10$). Nesse caso, mesmo com uma avaliação considerada positiva, essa média mostra que o aplicativo ainda carece de testes com mais usuários para entender quais opções apresentam problemas de usabilidade. Suspeita-se que a dificuldade possa estar relacionada à primeira experiência, ou o fato do suporte ser apenas à um exercício físico, ou ainda à habilidade em lidar com diferentes recursos gráficos.

Cenário similar também foi detectado na avaliação dos educadores físicos. As avaliações com nota máxima ($\bar{x} = 5,00$) foram as mesmas destacadas pelos alunos: aprendizado (Foi fácil aprender e usufruir dos recursos do “Me Exercite” para acompanhar o treino de meus alunos) e praticidade (Foi fácil e prático de usar o “Me Exercite”). No entanto, as outras duas médias ficaram ligeiramente mais baixas ($\bar{x} = 4,50$) para a orientação (Foi fácil encontrar na interface gráfica do “Me Exercite” as funcionalidades que preciso para acompanhar o treino de meus alunos) e a facilidade de uso (Foi fácil me tornar habilidoso com as diversas opções do “Me Exercite” para acompanhar o treino de meus alunos). Este cenário sugere que ainda pode haver espaço para tornar a interface melhor na disposição de elementos gráficos, bem como a importância de testar com um número maior de profissionais.

Os alunos atribuíram boas notas na utilidade percebida. A precisão na detecção de movimentos (O “Me Exercite” foi preciso na detecção do movimento e na indicação do movimento correto, $\bar{x} = 4,40$) e a confiança proporcionada pelo aplicativo (O “Me Exercite” passou confiança e segurança para realização do meu treino, $\bar{x} = 4,70$) foram os aspectos que se destacaram. Isso sugere que o **Me Exercite** ofereceu confiança e segurança para a realização dos treinos, uma vez que detectou com elevada acurácia os movimentos realizados. Uma média levemente inferior foi atribuída para o desempenho (O “Me Exercite” apresentou um bom desempenho, retornando detecções em tempo aceitável, $\bar{x} = 4,30$), indicando a necessidade de aperfeiçoar a aplicação em relação ao uso de recursos do dispositivo.

Entre os educadores físicos, a utilidade percebida teve a avaliação com a média mais baixa para a detecção do movimento em execução (O “Me Exercite” foi preciso na detecção do movimento e na indicação do movimento correto para meus alunos, $\bar{x} = 4,00$). Isso é relevante, pois, na opinião deles, esse quesito ainda deve apresentar uma melhor acurácia. As notas mais altas foram dadas para a confiança transmitida aos alunos

(O “Me Exercite” passou mais confiança e segurança para meus alunos realizarem seus treinos, $\bar{x} = 4,50$) e a utilidade geral do aplicativo como ferramenta de apoio (O “Me Exercite” foi útil como ferramenta de apoio de treinos físicos, $\bar{x} = 5,00$), reforçando o valor do aplicativo no ambiente de treinamento.

Tanto os usuários quanto os educadores físicos apontaram diversos aspectos positivos em respostas às perguntas abertas. Em especial, destacam-se a novidade da solução em si, e a satisfação em relação à facilidade e a utilidade do aplicativo. Com relação a aspectos negativos, relatou-se a dependência interpessoal para filmagem e a limitação de apenas um exercício disponível - mostrando pontos a melhorar, e a importância de adicionar suporte o monitoramento de movimento de novos exercícios.

Diferentemente dos trabalhos relacionados, a aplicação desenvolvida apresenta melhor praticidade na utilização para o usuário final. O projeto de [Mehta 2021] foi desenvolvido como uma aplicação monolítica, o que dificulta a escalabilidade e acesso por parte do usuário. Já a aplicação proposta por [Kumar Reddy Boyalla 2021] é executada apenas com base em vídeos e transmissões, sem uma aplicação móvel que permite o envio da imagem do movimento para avaliação. O projeto de [Patil 2022] somente avalia o ângulo do agachamento, enquanto que o **Me Exercite** considera mais pontos importantes na prevenção de lesões. A solução de [Kotte et al. 2023] culmina em resultados positivos, porém necessita de várias melhorias na interface gráfica, além de somente executar com vídeos gravados - diferente do **Me Exercite** que possui o recurso de transmissão ao vivo.

Na percepção do avaliador, ao analisar a aplicação sendo utilizada pelos usuários, é de que a ferramenta é útil e se encaixa, inicialmente, para o apoio à jornada de atividades físicas - uma vez que proporciona independência interpessoal na execução do exercício. Dessa forma, o aplicativo pode facilmente se inserir no âmbito comercial, por oferecer ao usuário uma solução prática, se categorizando como *self-service*. Além disso, destaca-se uma limitação não relatada nos questionários, e que também precisa de melhorias numa próxima versão: a quantidade de frames por segundo na avaliação do movimento. Isso auxiliaria o usuário a perceber erros de forma mais nítida e rápida, bem como ajudaria na fluidez da aplicação em execução.

7. Conclusão

Este trabalho apresentou uma abordagem de visão computacional para correção de postura em tempo real da técnica de agachamento. Para tanto, desenvolveu-se o aplicativo **Me Exercite**, um *web app* que tem como objetivo auxiliar pessoas a corrigir problemas de postura durante a execução do exercício de agachamento, prevenindo assim lesões. Um estudo piloto foi conduzido com alunos de academia e educadores físicos, voluntários, considerando aspectos de aceitação da tecnologia proposta.

As boas avaliações indicaram uma aceitação muito positiva do aplicativo, tanto por alunos quanto por educadores físicos. Os alunos elogiaram a independência proporcionada pela solução e sua precisão, enquanto os educadores físicos valorizaram a utilidade como ferramenta de apoio para treinos físicos. Como contribuições, destacam-se a disponibilidade da solução como um aplicativo independente de plataforma, e sua utilidade como ferramenta de apoio à técnica de agachamento.

Em comparação com trabalhos relacionados, o **Me Exercite** apresentou vantagens significativas em termos de praticidade e usabilidade. Ao contrário dos outros projetos

que dependem de vídeos ou são monolíticos, o **Me Exercite** oferece uma solução móvel e interativa que pode ser facilmente utilizada em diferentes ambientes de treino. Em geral, o aplicativo mostrou ser uma ferramenta eficaz no auxílio de treinos físicos, proporcionando independência e auxílio preciso na correção de movimentos.

No entanto, também foram identificados limitações do estudo. A necessidade de auxílio ou apoio para utilização, e a oferta limitada de exercícios foram os principais aspectos mencionados. Os participantes deixaram sugestões de suporte a mais exercícios, criação de um sistema de controle de usuários, e adição de vídeos demonstrativos.

Como trabalhos futuros, sugere-se a adição de outros exercícios e vídeos explicativos que orientam para os movimentos corretos. Além disso, realizar testes em outras plataformas de desenvolvimento web ou hospedagem com mais performance, visando eliminar falhas de desempenho. A criação de aplicativos que rodem nativamente em Android e iOS também pode ser relevante, uma vez que gerencia melhor recursos de hardware dos dispositivos. Ademais, a criação de uma aplicação embarcada em um produto, onde o usuário não precise apoiar o *smartphone* ou solicitar auxílio para segurá-lo durante a execução. Outro recurso interessante é o desenvolvimento de um controle de contas de usuário, que permita ao aluno acompanhar sua evolução nos exercícios, e ao educador físico monitorar as dificuldades de seus alunos. Por fim, considera-se também a realização de novos testes com um número maior de usuários, a fim de fortalecer a validação da ferramenta no âmbito da usabilidade, bem como da experiência do usuário.

Referências

- Araujo, R. C., Mochizuki, L., Duarte, M., & Amadio, A. C. (1996). Análise biomecânica da ativação das porções superficiais do m. quadríceps femoral durante contrações excêntrica e concêntrica. *Revista Brasileira De Fisioterapia*.
- Ballard, D. H. & Brown, C. M. (1982). *Computer vision*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Caterisano, A., Moss, R. F., Pellingier, T. K., Woodruff, K., Lewis, V. C., Booth, W., & Khadra, T. (2002). The effect of back squat depth on the emg activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *National Library of medicine*.
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1989). User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management science*, 35(8):982–1003.
- de Moraes Alves Almeida, A. D., de Barros, A. N., Barros, A. P., Braz, A. G., de Souza Alves Braga, A. C., de Oliveira, D. F., Silva, J. F., & Sales, N. J. F. (2019). Análise biomecânica do movimento de agachamento: estudo de caso. *Brazilian Journal of Development*. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-102>.
- FastAPI (2024). Fastapi documentation. <https://fastapi.tiangolo.com>.
- Flutter (2024). Flutter documentation. <https://docs.flutter.dev/>.
- Freitas, M. V. d. M. (2018). Percepção dos clientes de uma academia de musculação a respeito da função do profissional de educação física. B.S. thesis, Unijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

- Google (2024). Mediapipe - google for developers. <https://developers.google.com/mediapipe>.
- Hirata, R. & Duarte, M. (2006). Efeito da posição relativa do joelho sobre a carga mecânica interna durante o agachamento. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000200006>.
- Kotte, H., Kravčík, M., & Duong-Trung, N. (2023). Real-time posture correction in gym exercises: A computer vision-based approach for performance analysis, error classification and feedback. In *MILeS'23: 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (ECTEL2023)*, volume 1.
- Kumar Reddy Boyalla, N. (2021). Real-time exercise posture correction using human pose detection technique. B.S. thesis, SUNY Polytechnic Institute.
- Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C.-L., Yong, M., Lee, J., et al. (2019). Mediapipe: A framework for perceiving and processing reality. In *Third workshop on Computer Vision for AR/VR at IEEE computer vision and pattern recognition (CVPR)*, volume 2019.
- Marengoni, M. & Stringhini, S. (2010). Tutorial: Introdução à visão computacional usando opencv. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*. <https://doi.org/10.22456/2175-2745.11477>.
- Mehta, P. (2021). Pose tracking and machine learning for prescribing corrective suggestions to improve posture and form while exercising. <https://github.com/twixupmysleeve/Posture>.
- Mello, M. T. d., Boscolo, R. A., Esteves, A. M., & Tufik, S. (2005). O exercício físico e os aspectos psicobiológicos. *Revista brasileira de medicina do esporte*, 11:203–207.
- Patil, P. (2022). Squat angle detection using OpenCV and Mediapipe. https://github.com/Pradnya1208/Squats-angle-detection-using-OpenCV-and-mediapipe_v1.
- Preto, J. M. S., Ferreira, A. O., & Martins, J. B. (2014). Agachamento profundo: uma análise sistemática. *Revista Brasileira De Prescrição E Fisiologia Do Exercício*.
- Rodrigues, L. d. S. (2022). Sistema web com estimativa de pose e análise de movimento para aplicações de auxílio à prática de exercício físico. B.S. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Shields, R. K., Madhavan, S., Gregg, E., Leitch, J., Petersen, B., Salata, S., & Wallerich, S. (2005). Neuromuscular control of the knee during a resisted single-limb squat exercise. *National Library of medicine*. <https://doi.org/10.1177/0363546504274150>.
- Thompson, C. W. & Floyd, R. T. (2002). *Manual de cinesiologia estrutural*. Manole 14^a ed.
- Vakunov, A., Chang, C.-L., Zhang, F., Sung, G., Grundmann, M., & Bazarevsky, V. (2020). Mediapipe hands: On-device real-time hand tracking. In *Fourth Workshop on Computer Vision for AR/VR (CV4ARVR)*, volume 1.