

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

**FisioVR**  
**Uma Arquitetura Baseada em Visão Computacional  
para Reabilitação Física à Distância**

**Dauane Joice Nascimento de Almeida**

JUIZ DE FORA  
JUNHO, 2023

# FisioVR

## Uma Arquitetura Baseada em Visão Computacional para Reabilitação Física à Distância

DAUANE JOICE NASCIMENTO DE ALMEIDA

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Departamento de Ciência da Computação

Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Rodrigo Luis de Souza da Silva

JUIZ DE FORA

JUNHO, 2023

FISIOVR  
Uma Arquitetura Baseada em Visão Computacional para Reabilitação  
Física à Distância

Dauane Joice Nascimento de Almeida

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS  
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-  
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Rodrigo Luis de Souza da Silva  
Doutor em Engenharia Civil

Marcelo Caniato Renhe  
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

Igor de Oliveira Knop  
Doutor em Modelagem Computacional

JUIZ DE FORA  
20 DE JUNHO, 2023

*Aos meus pais e irmãs.*

## Resumo

O uso de visão computacional e de tecnologias na área da saúde vem crescendo constantemente. A aplicação dessas técnicas no âmbito da reabilitação física, por exemplo, possui grande potencial e pode trazer grandes benefícios para pacientes e profissionais. Neste trabalho é proposta uma arquitetura que, com o uso de técnicas de visão computacional, tem o objetivo de auxiliar no tratamento e no diagnóstico à distância de pacientes em reabilitação física. No sistema proposto o usuário com perfil de profissional pode cadastrar e prescrever exercícios para seus pacientes de acordo com o tratamento. Os usuários com perfil de paciente podem visualizar e executar os exercícios que foram prescritos para eles na aplicação, contando com a ajuda da mesma para auxiliá-los visualmente quanto aos ângulos corretos que devem ser atingidos ao realizar os exercícios e quanto à execução adequada. Ainda, após a conclusão dos exercícios pelos pacientes, é possível que o profissional envie *feedbacks* aos pacientes sobre os exercícios executados. Foram realizadas pesquisas de campo e uma avaliação qualitativa a fim de verificar a usabilidade e eficácia da aplicação do ponto de vista dos usuários. Foram obtidas avaliações positivas dos participantes, sendo possível concluir que a aplicação é eficaz em seu objetivo e possui grande potencial para combater o sedentarismo.

**Palavras-chave:** Reabilitação Física, Visão Computacional.

## Abstract

The use of computer vision and technologies in healthcare is constantly growing. The application of these techniques in the context of physical rehabilitation, for example, has great potential and can bring great benefits to patients and professionals. This work proposes an architecture that, with the use of computer vision techniques, aims to assist in the treatment and remote diagnosis of patients undergoing physical rehabilitation. In the proposed system, users with a professional profile can register and prescribe exercises for their patients according to the treatment. Users with a patient profile can view and perform the exercises that were prescribed for them in the application, relying on the application to help them visually with regard to the correct angles that must be achieved when performing the exercises and the proper execution. Also, after the completion of the exercises by the patients, it is possible for the professional to send feedback to the patients about the exercises performed. Field research and a qualitative assessment were carried out in order to verify the usability and effectiveness of the application from the users' point of view. Positive evaluations were obtained from the participants, making it possible to conclude that the application is effective in its objective and has great potential to combat sedentary lifestyle.

**Keywords:** Physical Rehabilitation, Computer Vision.

## Agradecimentos

Primeiramente, a Deus, por me permitir chegar até aqui e concluir mais essa conquista.

Aos meus pais, Eliane e Vanderlei, e às minhas irmãs, Laissiane e Leidiane por todo apoio sempre, por todo incentivo, amor e por serem minha base, meus exemplos. Essa conquista é nossa.

Ao meu esposo, Fernando, pelo companheirismo, suporte e encorajamento.

Ao professor Rodrigo pela orientação, amizade e principalmente, pela paciência, sem a qual este trabalho não se realizaria.

Aos professores do Departamento de Ciência da Computação pelos seus ensinamentos e aos funcionários do curso, que durante esses anos, contribuíram de algum modo para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

*“Lembra que o sono é sagrado e alimenta  
de horizontes o tempo acordado de vi-  
ver”.*

*Beto Guedes (Amor de Índio)*



# Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Abreviações</b>	<b>8</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>9</b>
1.1 Apresentação do Tema . . . . .	9
1.2 Problema . . . . .	9
1.3 Justificativa . . . . .	10
1.4 Objetivos . . . . .	10
1.5 Metodologia . . . . .	11
1.6 Organização . . . . .	12
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>13</b>
2.1 Redes Neurais . . . . .	13
2.2 Visão Computacional . . . . .	13
2.3 PoseNet . . . . .	14
2.4 TensorFlow . . . . .	15
<b>3 Trabalhos Relacionados</b>	<b>18</b>
<b>4 Sistema Proposto</b>	<b>25</b>
<b>5 Avaliação</b>	<b>31</b>
<b>6 Conclusão</b>	<b>36</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>37</b>

## Lista de Figuras

2.1	Principais articulações do corpo humano(pontos chave) que são detectadas pelo <i>PoseNet</i> . Disponível em Oved (2018). . . . .	15
2.2	Etapas do detector de pose de uma única pessoa do <i>PoseNet</i> . Disponível em Oved (2018). . . . .	16
4.1	Modelo de arquitetura MVC web utilizado na aplicação. Disponível em Valente (2020). . . . .	25
4.2	Diagrama de tabelas relacionais do banco de dados do FísioVR. . . . .	26
4.3	Telas Iniciais de cada perfil do FísioVR: administrador, profissional e paciente, respectivamente. . . . .	28
4.4	Tela de execução do exercício no FísioVR. . . . .	29
5.1	Resultados da avaliação qualitativa - Respostas dadas pelos participantes referente a experiência de utilização com o FísioVR. Legenda: CT = “Concordo totalmente” e NCND = “Não concordo, nem discordo” . . . . .	33

## Lista de Abreviações

DCC	Departamento de Ciência da Computação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
RGB	Red, Green e Blue
IA	Inteligência Artificial
AVC	Acidente Vascular Cerebral

# 1 Introdução

## 1.1 Apresentação do Tema

A prática de exercício físico é de extrema importância para uma boa qualidade de vida. Estudos mostram que pessoas sedentárias possuem maior probabilidade de desenvolverem doenças cardiovasculares, como AVC (acidente vascular cerebral) por exemplo, além de doenças musculoesqueléticas, associadas a distúrbios ósseos, articulares e/ou musculares, como artrite, artrose, osteoporose, entre outras doenças (PARK et al., 2020). Ao desenvolverem doenças como as citadas acima, fisioterapia e reabilitação são os possíveis tratamentos aos quais os pacientes podem se submeter. O uso da tecnologia já vem auxiliando em muitas áreas, e na área da saúde já é possível observar grandes avanços e melhorias. Quando falamos em reabilitação, a utilização de visão computacional e de tecnologias que auxiliam no processo de tratamento e no diagnóstico de pacientes são de alta relevância.

Sistemas para reabilitação que utilizam visão computacional contam com técnicas de reconhecimento de gestos, para detectar os movimentos do paciente e a partir daí coletar informações para auxiliar no tratamento e no diagnóstico. O sistema proposto neste projeto tem como objetivo disponibilizar ferramentas que utilizam recursos de visão computacional para promover a reabilitação e a avaliação individual de pacientes à distância.

## 1.2 Problema

Para realização da fisioterapia e reabilitação física, sem dispor do auxílio de alguma aplicação, paciente e profissional necessitam estar presentes no mesmo local. Isso é desfavorável para os envolvidos, principalmente para os pacientes, que precisam se locomover até a clínica ou local para realização da fisioterapia. Muitas vezes esses pacientes são idosos ou pessoas com alguma dificuldade de locomoção. Dificuldades como essas fazem com que os pacientes interrompam o tratamento, não realizem as consultas com a

periodicidade necessária ou não tenham a orientação adequada.

Apesar de existirem ferramentas e aplicações para resolver esse problema, que possibilitam a reabilitação à distância, muitas delas impõem restrições quanto ao tipo de sensor utilizado para captar os movimentos do paciente, falta de ferramentas de análises dos dados, falta de ferramentas de *feedback* para os fisioterapeutas e até mesmo os altos custos de tais ferramentas. Sendo assim, a utilização de algumas ferramentas acaba sendo inviável.

## 1.3 Justificativa

Nos tempos atuais e durante a pandemia, a possibilidade de executarmos nossas tarefas à distância tornou-se ainda mais necessária. Essa necessidade é ainda mais relevante quando estamos tratando de reabilitação física, devido a dificuldade de locomoção que muitos pacientes nesta situação de tratamento se encontram.

Atualmente, um computador simples, celulares e *smartphones* são dispositivos muito acessíveis que todos estão habituados a utilizar, sendo raro encontrar quem não tenha um aparelho desse tipo nos dias de hoje. Sistemas que podem ser executados principalmente em celulares, possuem uma grande vantagem, visto que podemos usufruir das funções da aplicação a qualquer hora, em qualquer lugar e na palma de nossas mãos.

Diante do exposto, a utilização de visão computacional em aplicativos para auxiliar na reabilitação é muito mais viável quando possível executar em dispositivos de baixo custo e de fácil acesso aos usuários.

## 1.4 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um sistema que através da visão computacional possibilite a avaliação individual à distância de pacientes em reabilitação física, com *feedback* em tempo real para o fisioterapeuta responsável pelo tratamento. O sistema é composto por uma tecnologia que detecta os gestos corporais, onde podem analisar e captar informações relevantes como o ângulo do movimento realizado e o número de repetições, para através das informações captadas auxiliar no tratamento.

Foram desenvolvidas ferramentas que permitem que o fisioterapeuta possa acompanhar o paciente de forma remota e também um sistema gráfico, que de forma visual irá sugerir ao paciente a forma correta de execução dos exercícios executados. Dessa forma, o sistema proposto neste projeto possibilitará maior segurança e comodidade para o profissional e para o paciente, que poderão executar as tarefas em local seguro ou até mesmo em casa. O profissional poderá avaliar o paciente, e o mesmo terá as devidas orientações para que o tratamento seja feito de forma correta e eficiente. O objetivo é gerar um sistema seguro e de fácil utilização para todos os usuários, oferecendo menos riscos ao paciente.

## 1.5 Metodologia

Inicialmente foram realizadas pesquisas aplicadas com o propósito de verificar quais métodos e bibliotecas seriam mais viáveis para serem utilizados de acordo com a proposta e objetivo do projeto e para gerar conhecimentos para a aplicação prática desses métodos. A partir dessas pesquisas identificamos a rede neural convolucional *PoseNet* e a biblioteca *TensorFlow*.

Foram realizadas também pesquisas bibliográficas a fim de identificar e entender o funcionamento de outras aplicações que fazem uso de visão computacional e de tecnologias para auxiliar no processo de reabilitação.

Após o desenvolvimento da aplicação, foram realizados estudos experimentais, realizando pesquisa de campo com observação direta extensiva e utilizando análises qualitativas e quantitativas, com o intuito de validar a usabilidade e funcionalidade do sistema acerca do objetivo para o qual foi criado. Pessoas reais utilizaram nossa aplicação para executar as atividades com os perfis de profissional e paciente. Para os testes contamos com o apoio de alunos da faculdade de Educação Física da UFJF e de profissionais já formados na área. Executamos os testes experimentais na aplicação e disponibilizamos formulários para a coleta de informações sobre a experiência dos voluntários. A partir dos testes, foi possível obter dados para analisar a eficácia e usabilidade futura da aplicação.

---

## 1.6 Organização

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 1 contextualiza o trabalho em relação ao tema e objetivos. A seguir, o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, trazendo informações e conceitos sobre o *PoseNet* e o *TensorFlow*, aplicação e biblioteca respectivamente, utilizadas no FisioVR. O Capítulo 3 apresenta alguns trabalhos relacionados e no Capítulo 4 temos a descrição do sistema proposto. O Capítulo 5 apresenta as avaliações realizadas. Por fim, o Capítulo 6 conclui o trabalho e mostra propostas de trabalhos futuros.

## 2 Fundamentação Teórica

Com o objetivo de apresentar o sistema proposto e alguns trabalhos relacionados e semelhantes ao FisioVR, esta seção apresenta a fundamentação teórica acerca dos temas e definições que serão mencionados. A seção está distribuída da seguinte forma: Redes Neurais (Seção 2.1), Visão Computacional (Seção 2.2), PoseNet (Seção 2.3) e TensorFlow (Seção 2.4).

### 2.1 Redes Neurais

Uma rede neural é um método de inteligência artificial que ensina máquinas e computadores a processarem dados de forma inteligente, semelhantes ao cérebro humano. Trata-se de processo de aprendizado de máquina, em que os computadores aprendem e relacionam os dados de entrada e saída, identificando padrões, aprendendo com os erros e realizando o processamento inteligente dos dados.

Nos trabalhos relacionados e na aplicação proposta veremos a aplicação de redes neurais modulares, que são aquelas compostas por mais de um modelo de rede neural, chamadas de módulos, e também redes neurais convolucionais, que é uma rede dividida em camadas, em que cada camada é responsável por extrair um tipo de informação dos dados de entrada. A informação de saída da camada anterior flui para a camada seguinte como dado de entrada.

### 2.2 Visão Computacional

Visão computacional, como o próprio nome diz, é uma área da computação e da inteligência artificial que trata de possibilitar a máquinas e computadores a capacidade de “enxergar”. A ideia é de simular a visão humana, onde através de várias ferramentas e técnicas avançadas, como as redes neurais por exemplo, é possível que os computadores possam analisar, interpretar e extrair informações das imagens e vídeos captadas por



meio de câmeras e sensores, para que decisões possam ser tomadas ou para gerar dados relevantes para uma aplicação futura.

O conceito de visão computacional é amplo e sua aplicação é possível em vários setores, como na educação, na indústria ou mesmo na área da saúde. Estudos e aplicações que utilizam visão computacional nas áreas de medicina e de reabilitação vem contribuindo de forma significativa, auxiliando os profissionais para melhores avaliações e diagnósticos mais precisos de pacientes.

## 2.3 PoseNet

Para realizarmos a estimativa de pose são utilizadas técnicas de visão computacional que detectam corpos em imagens e vídeos.

O *PoseNet* é um sistema de relocalização monocular (KENDALL; GRIMES; CIPOLLA, 2015). O algoritmo consiste em uma rede neural convolucional que foi treinada de ponta a ponta e que, a partir de uma imagem monocular (RGB), pode regredir para uma pose com seis graus de liberdade (*Six degrees of freedom* - 6DOF) da câmera em relação a uma cena, ou seja, pode realizar o reconhecimento da imagem. Os seis graus de liberdade se referem ao número de graus de liberdade que o objeto tem no espaço tridimensional, em outras palavras, as seis maneiras pelas quais o corpo pode se mover nas três dimensões: movimentos nos eixos X, Y e Z e os movimentos de rotação possíveis nestes eixos.

Para o treinamento da rede neural foram utilizadas duas técnicas: um método automatizado de rotular dados usando estrutura de movimento para gerar grandes conjuntos de dados de regressão de pose de câmera e um aprendizado de transferência que treina um regressor de poses. O treinamento se inicia a partir de uma rede pré-treinada em grandes conjuntos de dados de reconhecimento de imagem, como um classificador.

Geralmente as redes neurais convolucionais necessitam de grandes quantidades de dados para treinamento. Com as técnicas aplicadas no *PoseNet* foi possível contornar essa questão, e também oferecer grande melhoria na velocidade de treinamento e no desempenho final do algoritmo. O *PoseNet* pode ser aplicado em ambientes internos e externos, em tempo real, possuindo um desempenho eficiente, sendo computado em 5ms

por quadro.

## 2.4 TensorFlow

O *TensorFlow* é uma biblioteca desenvolvida em *javascript* que traz uma versão do *PoseNet*, que é um módulo dessa biblioteca. Na versão *TensorFlow.js* do *PoseNet* temos uma rede neural e um modelo de *Machine Learning* que é capaz de captar os movimentos e poses humanas através de uma câmera, em tempo real. Na biblioteca do *TensorFlow* temos as funcionalidades do *PoseNet* encapsuladas em métodos, facilitando assim a utilização.

Essa rede neural utiliza visão computacional e consegue detectar as principais articulações humanas em um vídeo ou imagem, que são chamadas de pontos chave, como ombros, joelhos, cotovelos, mãos, conforme ilustrado na Figura 2.1.

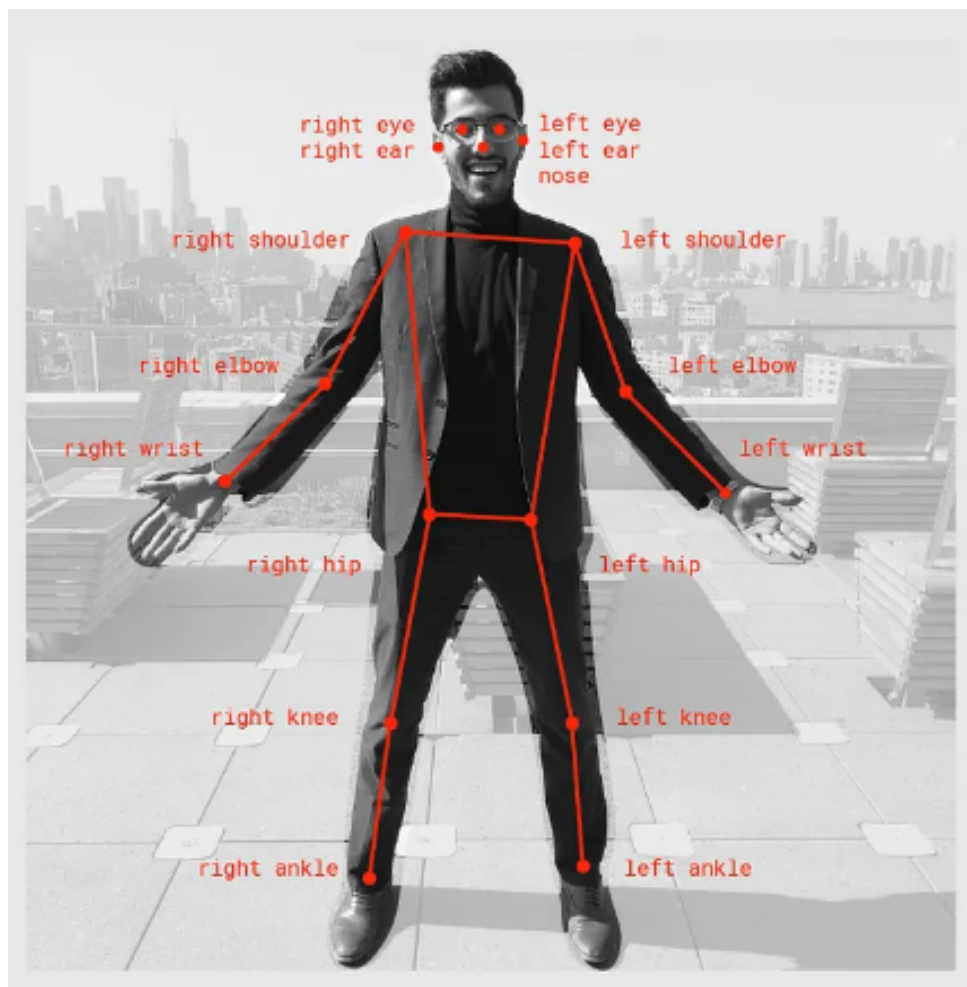


Figura 2.1: Principais articulações do corpo humano(pontos chave) que são detectadas pelo *PoseNet*. Disponível em Oved (2018).

Para a detecção de poses, temos como entrada uma imagem RGB, que passa por um algoritmo de decodificação que retorna como modelo de saída um objeto de pose que contém uma lista de pontos chave. Atualmente o *PoseNet* é capaz de detectar 17 pontos chave no corpo humano.

Além dessas informações de saída, o *PoseNet* retorna posições 2D (coordenadas X e Y) para cada ponto chave identificado, que podem ser mapeadas na imagem, e pontuações de confiança para a pose e para cada ponto chave. As pontuações de confiança determinam a confiança geral da pose ou do ponto chave e podem variar entre 0 e 1. A partir das pontuações é possível definir uma pontuação mínima, para ignorar os pontos chaves fracos ou com pontuações de confiança baixa (Figura 2.2).

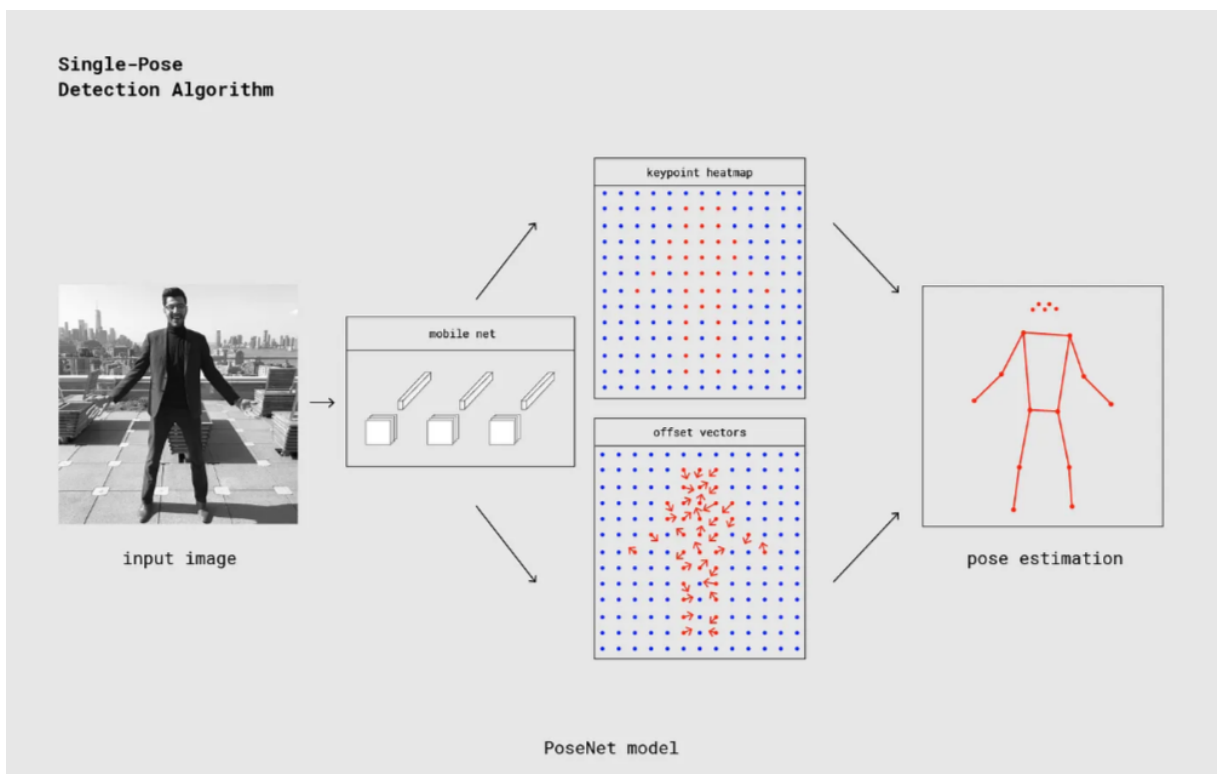


Figura 2.2: Etapas do detector de pose de uma única pessoa do *PoseNet*. Disponível em Oved (2018).

O *PoseNet* pode ser utilizado para detectar somente uma ou várias pessoas na imagem ou vídeo. A aplicação faz a estimativa da pose, mas não reconhece ou identifica quem é a pessoa na imagem. No caso do detector de uma pose é ideal que haja somente uma pessoa na imagem ou vídeo. Caso haja mais pessoas, pode ocorrer que os pontos chaves de pessoas diferentes sejam identificados como sendo de uma mesma pessoa. Além

disso, o detector de uma única pose é mais rápido e fácil, enquanto o detector de várias poses é mais complexo e um pouco mais lento. Diante das opções e de acordo com o objetivo do FisioVR optamos por utilizar o detector de uma única pose.

Os pesquisadores treinaram o *PoseNet* usando os modelos *ResNet* e *MobileNet*. Embora o modelo *ResNet* possua uma maior precisão, por ser um modelo de tamanho grande e possuir muitas camadas, isso acaba interferindo no tempo de carregamento da página e não sendo ideal para uma aplicação em tempo real. Por isso, no *PoseNet* em execução no *TensorFlow*, foi utilizado o *MobileNet*, que pode ser executado em dispositivos móveis.

Em sua grande maioria, os sistemas de detecção de poses necessitam de hardwares potentes e de equipamentos específicos. Uma facilidade do *PoseNet* em execução na biblioteca do *TensorFlow*, é que qualquer pessoa com um computador ou telefone simples que contenha uma câmera pode executar a aplicação e obter a estimativa de pose. Como é executado diretamente no navegador, ao efetuar a estimativa de pose nenhum dado sai do computador do usuário.

### 3 Trabalhos Relacionados

Há na literatura vários trabalhos com propostas semelhantes à proposta nesta monografia, sendo os principais discutidos a seguir.

O trabalho apresentado por Kurillo et al. (2008) propõe um ambiente virtual imersivo que pode ser aplicado para a colaboração remota e para o treinamento de atividades físicas. O *framework* utiliza multi câmeras que são posicionadas de forma estratégica. As 48 câmeras utilizadas captam as imagens dos usuários humanos em 360<sup>o</sup> e são conectadas a um computador que realiza uma reconstrução 3D do corpo inteiro destes usuários e renderiza suas imagens no espaço virtual, permitindo que usuários remotos possam interagir. Em um estudo feito, foram captados movimentos de um professor de Tai Chi, e os movimentos captados previamente puderam ser disponibilizados para um aluno em treinamento. Em tempo real em que o aluno treinava os movimentos e que o sistema renderizava as imagens do aluno em tela, o aluno podia se ver na tela juntamente com o professor. Através do estudo foi possível demonstrar que o aprendizado de movimentos físicos foi aprimorado através do uso dessa tecnologia. Uma das dificuldades da tecnologia utilizada é a velocidade da reconstrução 3D e o *hardware* utilizado que deve ser potente e eficiente para realizar as funções. Os dados coletados pelo sistema podem ser utilizados para analisar os movimentos feitos pelo usuário, ou como um *feedback* para auxiliar o usuário na execução correta. A aplicação oferece novas possibilidades para aprender e treinar usuários para a execução de movimentos físicos, como na fisioterapia por exemplo.

O trabalho proposto em Francisco e Rodrigues (2022) apresenta duas principais contribuições. A primeira é uma rede neural modular dividida em dois módulos, sendo o módulo de detecção para detectar a execução de atividades fisioterapêuticas e o módulo de medição para avaliar a assertividade da execução. A segunda contribuição é o aumento dos dados do banco de dados usado na rede neural citada anteriormente. O sistema proposto consiste em um paciente executar uma série de exercícios fisioterapêuticos e captar seus movimentos com uma câmera padrão. A partir daí é utilizada a biblioteca de IA *Open-Pose* que é capaz de captar as articulações do corpo humano. Ao captar as articulações

de quem está executando a atividade, são captados também os dados cinemáticos e calculados os ângulos na execução do exercício. Esses dados são armazenados no banco para testes e treinamento. Dessa forma o banco de dados é sempre incrementado com novas informações, visando assim treinar o módulo de medidas. O módulo de detecção identifica a execução do exercício, recebe os ângulos e os associa ao exercício correspondente no banco. O módulo de medição avalia a assertividade da execução de acordo com os dados de ângulos considerados corretos no banco de dados e então as respostas e correções são exibidas para o usuário. Em um estudo experimental foi construído um banco de dados e executado o treinamento dos módulos de detecção e medição, obtendo-se uma acurácia de aproximadamente 90%. O trabalho proposto pode auxiliar na coleta de informações da execução de atividades fisioterapêuticas, permitindo aprofundar e melhorar as análises, auxiliando os profissionais em diagnósticos mais precisos e também na construção de agentes virtuais que podem auxiliar os pacientes em tempo real na execução correta.

Schez-Sobrinho et al. (2020) propõe um sistema para auxiliar pacientes e profissionais na reabilitação física a distância. No sistema proposto é possível que o paciente execute os exercícios prescritos pelo fisioterapeuta com o auxílio do *Kinect* para captar os movimentos, e o sistema detecta e avalia os exercícios executados através do algoritmo DTW (*Dynamic Time Warping*), que compara a execução do exercício executado pelo paciente com uma referência do exercício correto presente no banco de dados da aplicação. Na comparação, o algoritmo despreza o tempo de execução e, dessa forma, o tempo de execução do paciente não interfere na comparação e avaliação da assertividade do exercício. Através de uma configuração do sistema o paciente pode optar por apenas executar um dos exercícios, não sendo necessário pré-selecionar qual exercício seria executado. Nessa configuração o algoritmo detecta qual exercício do banco de dados é o mais próximo do que foi executado para efetuar a comparação. O sistema utiliza técnicas de gamificação, como pontuação por estrelas, níveis que o paciente pode atingir preenchendo uma barra de experiência de acordo com as execuções corretas, a fim de estimular o paciente e mantê-lo sempre motivado a executar os exercícios prescritos e garantir a aderência da fisioterapia neste modo a distância. O *feedback* do sistema é exibido em tela imediatamente para o usuário e após os resultados são enviados para o fisioterapeuta

para avaliação do paciente. Foram efetuados testes quanto ao desempenho do algoritmo e quanto à utilidade e facilidade de uso do sistema. Quanto ao desempenho, o algoritmo se mostrou rápido independente da quantidade de articulações detectadas no exercício. Referente a utilidade e facilidade, usuários avaliaram positivamente o sistema e o método de gamificação, e outros indicaram que o sistema não foi tão preciso na identificação de algumas articulações nos movimentos.

Com uma sociedade cada vez mais sedentária, a possibilidade de rastrear e quantificar os exercícios pode motivar as pessoas a se manterem regulares na prática de exercícios, além de auxiliar profissionais em estudos e com informações mais detalhadas e baseadas em evidências. Com esse objetivo, em Yang et al. (2016) temos uma abordagem baseada em imagens para quantificar os treinos com exercícios populares através da câmera de um celular. Para isso foi desenvolvido um algoritmo cinemático hierárquico, que analisa os movimentos do corpo em diferentes camadas. A cada camada é possível captar um maior nível de detalhes. Ao captar as imagens do exercício, o vídeo é analisado pelo algoritmo que é capaz de quantificar o gasto energético, o nível de intensidade dos treinos, a quantidade de repetições de exercícios como sentar, polichinelo, agachamento e flexão. O algoritmo além de rastrear a velocidade do movimento, rastreia também o movimento na direção vertical de diferentes partes do corpo, levando em conta a energia cinética e a importância da gravidade no movimento e também a energia potencial, onde em muitos exercícios o usuário pode carregar peso adicional. Para calcular o gasto energético total de um exercício é feita a soma ponderada dos gastos energéticos das diferentes partes do corpo. Para validar as medições do algoritmo foram realizados testes como verificar se a contagem da quantidade de repetições era correta de acordo com o que se via no vídeo e o cálculo do gasto de energia pelo algoritmo foi comparado com o mesmo cálculo feito através do método de calorimetria padrão ouro, que realiza o cálculo através da medição da taxa de O<sub>2</sub> consumido e CO<sub>2</sub> produzido com o auxílio de sensores. Os resultados da avaliação do sistema foram satisfatórios.

Em Schez-Sobrinho et al. (2019) temos uma ferramenta de telemedicina para auxiliar na reabilitação a distância de pacientes sobreviventes de AVC. A ferramenta utiliza uma variante aberta do algoritmo DTW (*Dynamic Time Warping*) para identificar e clas-

sificar a corretude dos exercícios executados pelo paciente. O objetivo do trabalho proposto é que a ferramenta possa identificar automaticamente o exercício executado, além de classificar e avaliar a corretude da execução sem que seja necessário que o paciente pré-selecione o exercício que será executado, sendo o sistema capaz de identificar quando o paciente inicia e termina a execução. Tal funcionalidade na ferramenta visa promover maior acessibilidade para pacientes que possuem as habilidades cognitivas e funcionais mais prejudicadas, como pode ocorrer com pessoas que tiveram AVC. Foi utilizado o *Kinect* para detectar os movimentos dos pacientes. Para classificar e avaliar a assertividade dos exercícios, o sistema compara o exercício executado com o mesmo exercício de referência executado corretamente pelo fisioterapeuta. Por se tratar de reabilitação a distância, para manter os pacientes motivados, a ferramenta utiliza gamificação, como pontuações, níveis exibidos em tela para o paciente e multiplicadores de ponto quando o usuário realiza execuções corretas sequencialmente. A fim de testar a ferramenta, um usuário foi monitorado ao executar uma rotina de 3 exercícios de fisioterapia. Os resultados experimentais puderam mostrar que o algoritmo é eficiente, identificando e avaliando os exercícios corretamente.

Cada vez mais as pessoas têm se tornado sedentárias e praticado menos exercícios, e isso muitas vezes pode ocasionar maiores problemas como obesidade e outras doenças. Motivado por essa questão e para auxiliar e incentivar as pessoas na prática de exercícios, em Naydenov et al. (2021) é apresentado um sistema ciber físico para medir e analisar as atividades físicas executadas pelo usuário. A aplicação utiliza um treinador virtual holográfico para guiar o usuário na execução dos exercícios e pode ser controlada por comandos de voz e gestos. Possui funcionalidades como detectar o início ou fim de uma série de exercícios, medir a duração, quantidade de repetições, medir o desvio do exercício executado baseado em regras de configuração e exibir informações do ambiente em que o usuário está para que ele possa adaptar melhor o ambiente para execução da tarefa, caso seja necessário. O sistema utiliza 3 sensores *Kinect* para detectar os movimentos do usuário e o *Microsoft HoloLens*, que é um dispositivo de realidade virtual mista para que o usuário possa visualizar o sistema. Para os sensores de ambiente CO2 e temperatura foi utilizado o *smart and private open source sensor station*. O sistema necessita também



de um computador de alto desempenho para o processamento dos dados. Quando todo o sistema estiver conectado e online, o *Kinect* detecta e coleta informações do rosto e dos movimentos do usuário e os sensores de ambiente coletam informações sobre o ambiente em que o usuário se encontra. As informações coletadas são enviadas para a estação de trabalho, que irá receber e processar as informações e exibi-las no *Microsoft Hololens* para o usuário. Assim o usuário pode visualizar seu avatar e o treinador virtual holográfico e usufruir das funcionalidades do sistema.

Postolache (2017) nos apresenta tecnologias de sensoriamento remoto e traz informações de como tais tecnologias funcionam e como podem auxiliar no processo de avaliação fisioterapêutica. Foram apresentadas duas interfaces para auxiliar na reabilitação: o sensor *Kinect*, que utiliza câmeras RGB, infravermelhos, e detectores de movimento para mapear a profundidade, podendo assim captar os movimentos de todo o corpo do usuário, e o *Leap Motion Controller* que é um dispositivo que utiliza duas câmeras e três *leds* infravermelhos utilizados para rastrear precisamente os movimentos de ambas as mãos e dedos do usuário. Também é citada a tecnologia do Radar doppler de micro-ondas para detecção do movimento e monitoramento cardiorrespiratório durante o exercício de reabilitação, que pode captar precisamente os movimentos radiais independente das condições do ambiente onde a atividade está sendo executada. Por fim foi utilizada termografia para medir a temperatura da pele associada a atividade muscular durante a atividade de reabilitação física. A medição da temperatura é feita antes e após a realização da atividade através de uma câmera termográfica permitindo a obtenção de informações para auxiliar na avaliação do paciente. O uso dessa técnica já foi relatada em atletas que são expostos a grande estresse físico durante o exercício e também o uso da medição da temperatura em áreas lesionadas para auxiliar na avaliação dos resultados de reabilitação. Usando as tecnologias apresentadas foram realizadas sessões de treinamentos de um jogo voltado para reabilitação das mãos. Além das informações já obtidas através das tecnologias apresentadas, foram calculadas a amplitude dos ângulos e a velocidade dos movimentos no jogo a fim de ajudar a medir a evolução durante o processo de reabilitação. Com base na pontuação da sessão de treinamento, foi extraído o progresso de reabilitação do movimento das mãos de quatro usuários voluntários. Foi possível observar que os usuários obtiveram

uma boa pontuação na segunda sessão de 2 minutos no jogo. Ao utilizarem o *Leap Motion Controller*, os usuários traçaram figuras exibidas no PC utilizando o dispositivo e foi possível medir a coordenação e a velocidade das mãos dos usuários a cada execução. Ao utilizarem a termografia na execução de atividades físicas não foi notada relação entre o nível de dificuldade ou esforço da atividade e o aumento de temperatura, porém pode-se notar um aumento da temperatura da pele ao final da execução das tarefas. Com base nos testes efetuados, as tecnologias apresentadas aplicadas em jogos com realidade virtual e realidade aumentada podem trazer grande contribuição para atividades de reabilitação física. Tais tecnologias permitem coletar maiores informações durante a execução da atividade e gerar relatórios que facilitarão a avaliação do paciente e a verificação da sua progressão no tratamento.

Atualmente temos algumas abordagens e métodos para a detecção de poses em 2D, porém em casos mais complexos como a detecção de poses na natureza, em lugares e cenários com mais detalhes, e a detecção de poses de várias pessoas em cena, o processo de detecção ainda traz desafios. Em Papandreou et al. (2017) temos uma proposta para auxiliar e solucionar esta questão. O sistema proposto não recebe a localização das pessoas na cena ou a escala das pessoas nas posições. Dessa forma temos o problema de detectar todas as pessoas em cena e também estimar seus movimentos. Para tal objetivo, o sistema possui duas etapas em cascata para detecção de poses. Na primeira etapa foi utilizado um detector de pessoas *Faster-RCNN*, que cria uma caixa delimitadora em torno de cada pessoa candidata a ter os movimentos detectados. Já na segunda etapa, o sistema utiliza uma estimativa de pontuação de confiança baseada nos pontos chave detectados. É aplicado um estimador de pose em cada caixa delimitadora criada na etapa anterior para que possam ser detectados os pontos chaves da pessoa e a detecção de poses correspondentes. Nos testes efetuados, o sistema foi treinado utilizando o conjunto de dados COCO de detecção de poses obtendo bons resultados.

Com o objetivo de auxiliar médicos e fisioterapeutas com o reconhecimento de movimentos de marcha de seus pacientes no processo de reabilitação a distância, temos uma aplicação proposta por Rocha et al. (2021). A função executada pela aplicação pode ser dividida em duas etapas: pré-processamento e classificação. Utilizou-se a técnica *Star-*

*RGB* juntamente com uma rede neural convolucional. Na primeira etapa os movimentos do paciente são captados por vídeo através de câmeras RGB comuns. Com a técnica *Star-*RGB** os vídeos capturados são transformados em imagens RGB e para reduzir o custo computacional as imagens são redimensionadas. Já na segunda etapa, através do algoritmo proposto na rede neural convolucional e de modelos de linha de base usando *transfer learning*, é feita a classificação. O algoritmo recebe como entrada as imagens resultantes da primeira etapa, extrai as informações das imagens e realiza a classificação de qual foi o exercício executado. Nos experimentos temos 6 tipos de movimentos de marcha que o sistema reconhece e com base neles pode-se classificar o movimento. Após os testes, o sistema se mostrou eficiente, atingindo uma precisão média de 99,64% sobre as 6 classes de movimentos citadas.

Dentre os trabalhos relacionados citados acima, podemos destacar o apresentado em (SCHEZ-SOBRINO et al., 2020) como o mais semelhante ao que é proposto no *FisioVR*. Como principal diferença podemos citar o fato de que no *FisioVR* deve-se sempre selecionar o exercício a ser executado e não são utilizadas técnicas de gamificação. Além disso, o *FisioVR* possui a facilidade de acesso quanto ao tipo de dispositivo utilizado para captação dos movimentos, sendo suficiente uma câmera monocular simples (por exemplo, uma *webcam*), diferentemente do trabalho citado em que há a necessidade de empregar câmeras RGBD (como o *Kinect*), que são menos acessíveis aos usuários e possuem valores mais altos.

## 4 Sistema Proposto

O FisioVR é um sistema web que visa, através de técnicas de visão computacional, permitir a avaliação à distância de um paciente em reabilitação física por parte de um profissional, de forma eficiente e segura tanto para o paciente quanto para o profissional. Para possibilitar tal objetivo o fluxo principal do sistema consiste em permitir a prescrição de exercícios por parte de profissionais de saúde, seguido da execução destes exercícios por parte dos pacientes, captando estas execuções através de uma câmera. Desta forma, por meio da visão computacional, o sistema é capaz de fazer o processamento das imagens da execução do exercício, efetuando a validação da execução correta e notificando o profissional responsável.

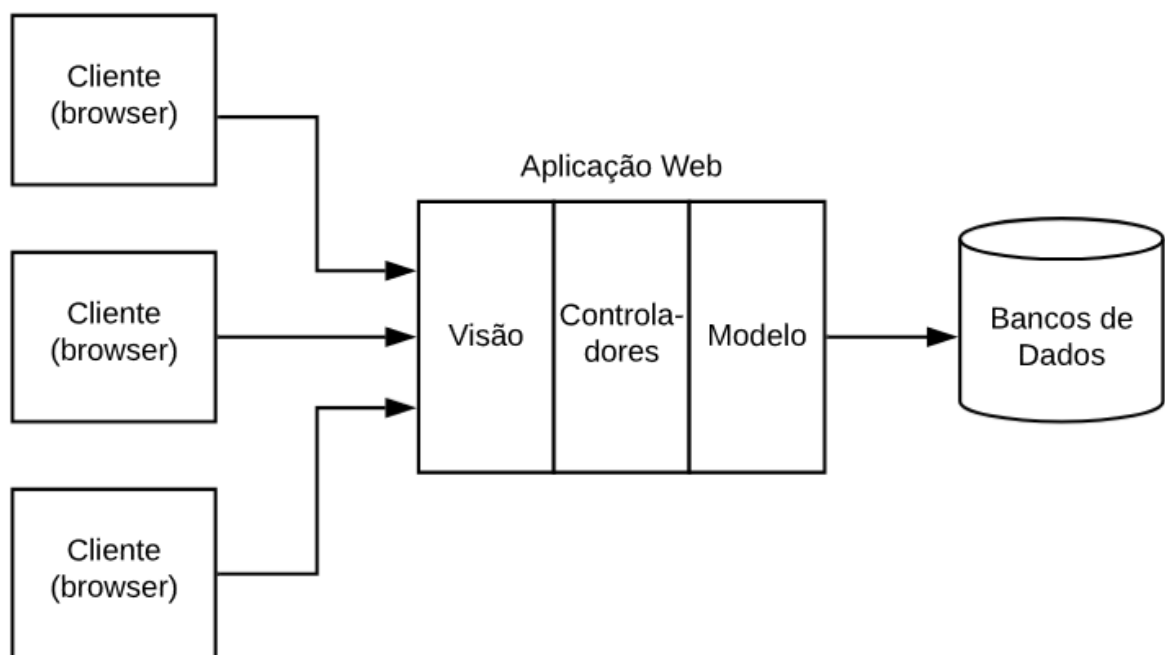


Figura 4.1: Modelo de arquitetura MVC web utilizado na aplicação. Disponível em Valente (2020).

A aplicação está disposta conforme a arquitetura MVC, na qual temos um sistema dividido em 3 camadas: *model*, *view* e *controller*. *View* é a camada de interface do sistema, parte em que o usuário terá contato direto, podendo visualizar e interagir com a aplicação. *Model* é a camada que gerencia como os dados se comportam, onde está presente o banco

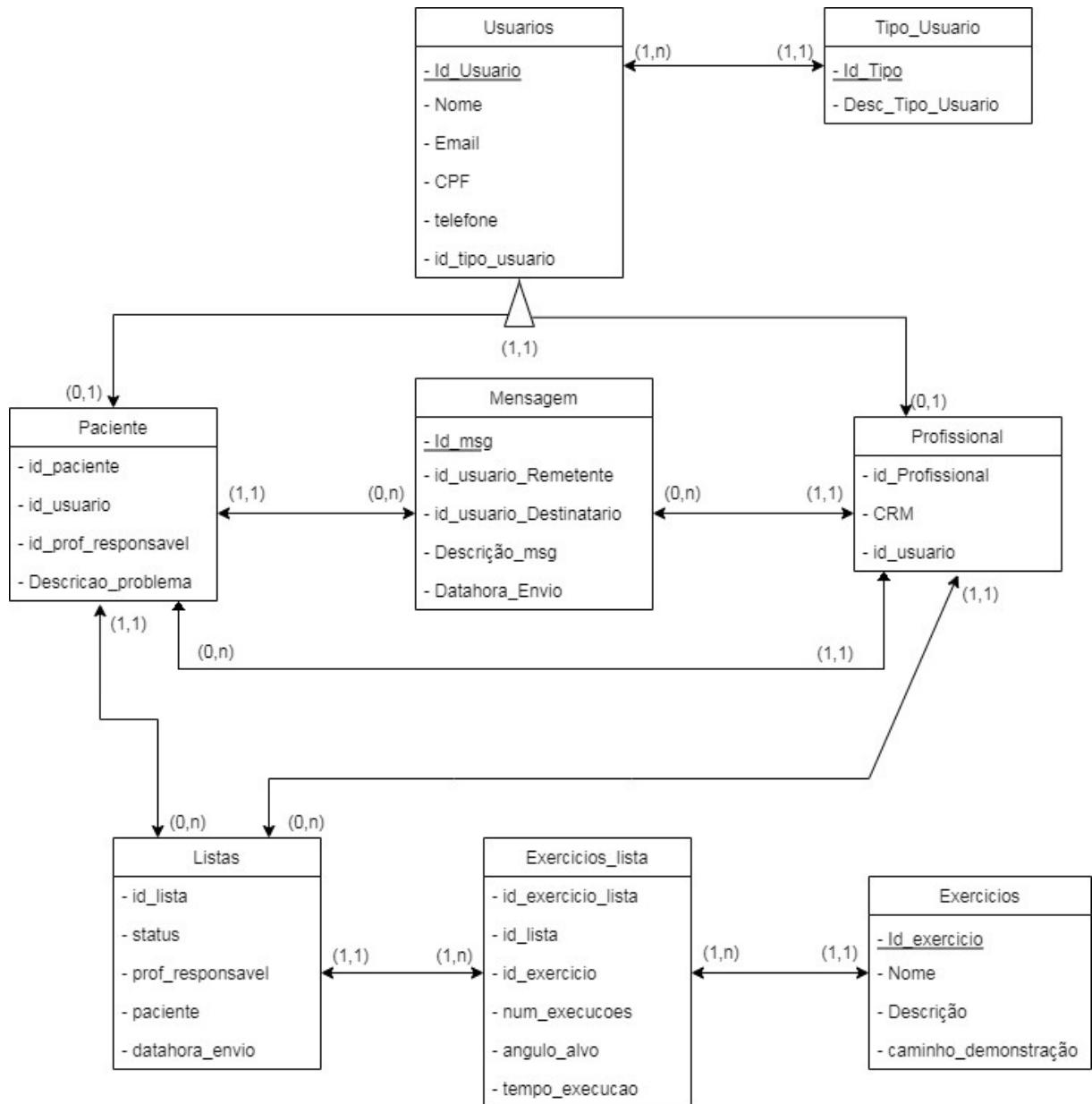


Figura 4.2: Diagrama de tabelas relacionais do banco de dados do FisioVR.

de dados. O *Controller*, como o próprio nome sugere, é a camada responsável por realizar o controle e a comunicação entre as outras camadas (Figura 4.1).

Na camada *Model*, temos o banco de dados da aplicação. Optamos por utilizar um banco de dados relacional *MYSQL*. A representação do banco de dados utilizado pode ser observada no diagrama apresentado na Figura 4.2.

Na tabela *Tipo\_Usuario* temos as informações de quais tipos de usuário o sistema permite que sejam cadastrados. O sistema proposto conta com autenticação de login e senha para acesso e possui três tipos de usuários: administrador; profissional; e paciente.

As informações de todos os usuários ficam armazenadas na tabela *Usuarios*, e no caso de usuários do tipo paciente ou profissional, temos informações adicionais, como CRM no caso do profissional e descrição do problema no caso do paciente, que são armazenadas nas tabelas *Profissional* e *Paciente*, respectivamente. Ao ser cadastrado no sistema, todo paciente é vinculado a um profissional, também cadastrado, que fará seu acompanhamento. O sistema possibilita que o paciente e o profissional responsável por ele possam trocar mensagens e *feedbacks* em relação aos exercícios.

Na tabela *Exercicio* temos os dados dos exercícios cadastrados no sistema e que estão disponíveis para o profissional prescrever aos pacientes. Ao prescrever um exercício para o paciente, o profissional deve preencher dados como número de execuções, ângulos corretos do movimento e tempo de execução. Dessa forma cada exercício pode ser prescrito e direcionado para cada paciente de forma única, de acordo com o seu problema e suas necessidades para o tratamento. Ao ter um primeiro exercício prescrito, o paciente passa a possuir uma lista de exercícios, que é única para cada paciente. A partir daí, todo exercício prescrito para esse paciente é adicionado a sua lista no banco de dados e possuirá uma informação de status (executado ou pendente), permitindo assim uma rastreabilidade para o profissional de quais exercícios já foram prescritos para o paciente, quais já foram executados ou ainda estão pendentes.

O administrador é o usuário responsável por administrar o sistema e pode executar funções como visualizar os exercícios e usuários cadastrados no sistema, editar ou cadastrar novos usuários e novos exercícios, vincular pacientes a um determinado profissional, entre outras atividades. Para os usuários do sistema com perfil profissional, o ideal é que sejam profissionais da área de saúde como fisioterapeutas e educadores físicos. No sistema, usuários com esse perfil podem executar atividades como visualizar os pacientes vinculados a ele e os dados pessoais desses pacientes, visualizar as listas de exercícios dos pacientes e os status e informações da execução dos exercícios, prescrever novos exercícios, entre outros. Por fim, usuários com perfil de paciente serão os clientes finais do sistema. Estes usuários são capazes de executar atividades como visualizar e editar seus dados pessoais, visualizar suas respectivas listas de exercícios e executá-los.

A *View* é a visão que os usuários possuem do sistema, isto é, a interface. Para

criação de toda a interface utilizamos a linguagem HTML. Após efetuar o login, cada tipo de usuário possui uma interface e dessa forma possuem visões diferentes do sistema e podem executar diferentes atividades de acordo com cada perfil.

A Figura 4.3 apresenta as telas iniciais dos perfis de administrador, profissional e paciente, nessa ordem.

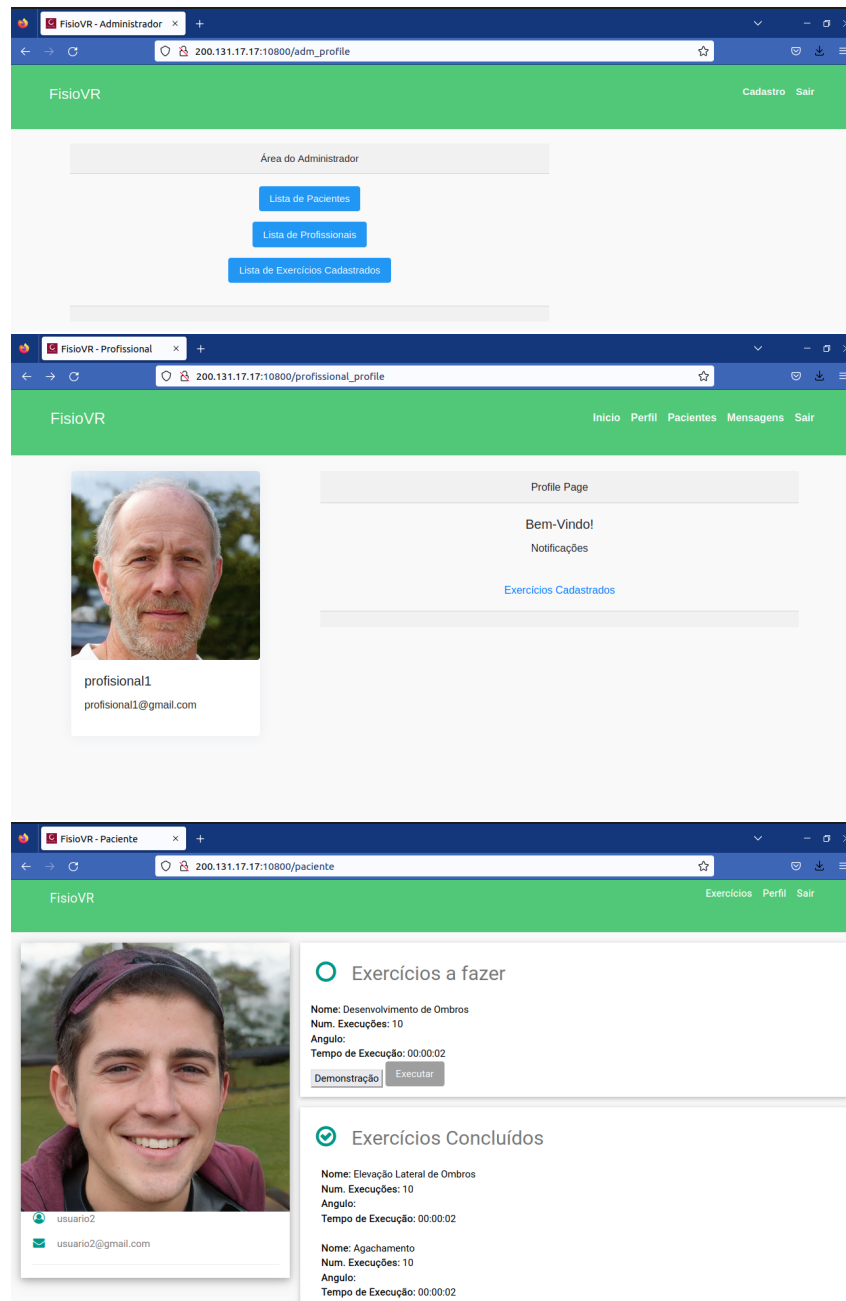


Figura 4.3: Telas Iniciais de cada perfil do FisióVR: administrador, profissional e paciente, respectivamente.

Os usuários com perfil de paciente, após efetuarem login, podem visualizar suas informações e sua lista de exercícios, onde os exercícios já prescritos se encontram dis-

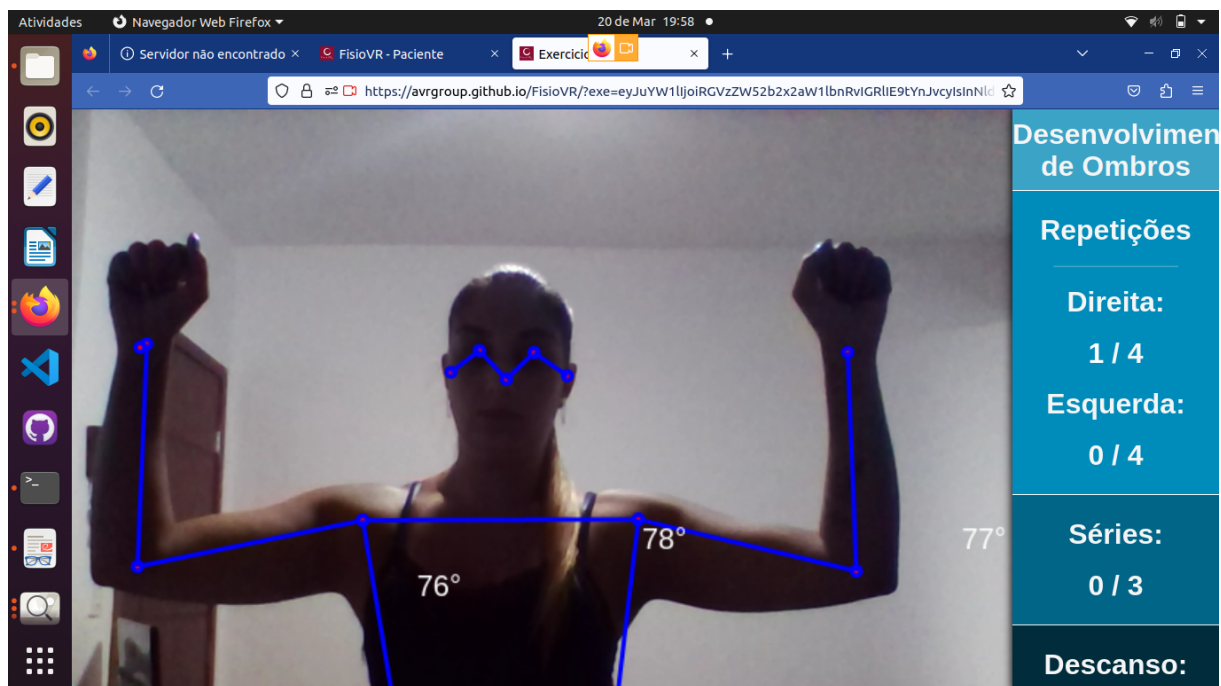


Figura 4.4: Tela de execução do exercício no FizioVR.

postos em exercícios concluídos e pendentes. Para os exercícios pendentes, os pacientes têm a possibilidade de visualizar através de vídeo a demonstração correta do exercício selecionado. Ao optar por executar o exercício, o paciente é redirecionado para a tela de execução conforme ilustrado na Figura 4.4. Nesta tela, é possível visualizar os dados dos exercícios indicados pelo profissional para execução e, após o usuário permitir o acesso da aplicação ao vídeo, é carregada a imagem da câmera. Na imagem, a aplicação consegue em tempo real identificar o corpo de quem aparece no vídeo e vai executar o exercício, e dessa forma ao realizá-lo, o sistema identifica e exibe em tela os ângulos do movimento e se foi feita uma execução completa e correta, de acordo com o exercício proposto e as informações para execução do exercício prescrito pelo profissional. A aplicação é capaz de validar a execução do exercício e retornar em tela para o usuário se o exercício foi concluído corretamente ou não.

Na camada *Controller* temos todas as funções para controle das regras do sistema, como funções para verificação de usuários cadastrados e a autenticação destes, validação do perfil do usuário logado para acesso às páginas e redirecionamento para a tela inicial correta de acordo com o tipo de perfil. O *Controller* é a camada que possibilita a comunicação entre as outras camadas. Nessa camada temos também as funções para realizar



as consultas ao banco, que serão posteriormente exibidas em tela para os usuários. Nessa camada, para a programação do lado do servidor, utilizamos o Node.js.

Para realização da captura de movimentos do usuário utilizamos a biblioteca *TensorFlow.js* e o *PoseNet*. Detalhes sobre essa biblioteca foram descritos no Capítulo 2.

A biblioteca *TensorFlow* já nos disponibiliza a rede neural (*PoseNet*) treinada. Sendo assim, no FísioVR, de acordo com os exercícios disponíveis cadastrados no sistema e o exercício que será executado no momento, nossa aplicação verifica nas articulações necessárias para o movimento em questão se houve a execução do movimento e se os ângulos passados pelo profissional foram atingidos. Para determinar a execução, o sistema verifica os movimentos concêntricos e excêntricos.

Após realizar as verificações, caso o exercício tenha sido executado de forma correta, o sistema retorna em tela para o usuário o resultado como “Concluído” e esse status para o exercício na lista desse paciente é modificado no banco de dados. O *PoseNet* é capaz de detectar somente uma pessoa por vez no vídeo e detecta somente as articulações deste indivíduo, não conseguindo distinguir quem é a pessoa no vídeo.

Por se tratar de uma aplicação web, o FísioVR possui facilidade de acesso, pois pode ser utilizado em um computador ou *tablet*, bastando somente que o dispositivo possua uma câmera para realização dos exercícios e captação dos movimentos.

## 5 Avaliação

O FísioVR é um sistema cujo objetivo é possibilitar a reabilitação a distância, auxiliando pacientes e profissionais. Sendo assim, com o intuito de testar e avaliar a usabilidade e funcionalidade do sistema da perspectiva dos usuários e verificar o potencial da aplicação para auxiliar pacientes e profissionais, foi realizada uma avaliação qualitativa juntamente com uma pesquisa de campo. Como método de coleta das informações referentes a avaliação realizada foi aplicado um formulário do *Google Forms*.

Os participantes utilizaram o sistema e em seguida responderam um questionário com perguntas sobre seus perfis e sobre a experiência que tiveram com o sistema. Participaram da avaliação 23 indivíduos com idade variando de 18 a 40 anos. Contamos com a ajuda de estudantes do curso de Educação Física da UFJF e também de profissionais já formados na área, sendo 14 e 9 participantes de cada perfil, respectivamente. Para a utilização da aplicação por parte dos participantes, consideramos dois perfis de testes, o perfil do usuário como profissional e como paciente. Para os dois perfis, os participantes foram cadastrados no sistema com seus dados e de acordo com os perfis que iriam executar, realizando os testes conforme descrito abaixo:

**Profissional:** O login e senha do participante foi informado juntamente com um manual para utilização do sistema com a visão do perfil de profissional. O participante foi orientado a logar na aplicação com seu login e senha pré-cadastrados. Após o login o participante deveria acessar a página de cadastro e cadastrar alguns pacientes, prescrever 2 exercícios para cada um deles e em seguida, após a conclusão por parte dos pacientes, verificar se os exercícios haviam sido concluídos corretamente.

**Paciente:** Para este perfil, além do pré cadastro do participante da avaliação, também foi efetuado previamente a prescrição de 2 exercícios. O login e senha do participante também foi informado juntamente com um manual para utilização do sistema. O mesmo foi orientado a acessar o sistema com seu login e senha pré-cadastrados e executar os 2 exercícios já prescritos. O participante deveria acessar os exercícios a serem executados, permitir o acesso do aplicativo à câmera e em seguida executar os exercícios,

seguinto o número de execuções, ângulos e quantidade de séries prescritas.

Os perfis de profissional e paciente foram escolhidos para os participantes de forma aleatória. Do total de participantes da avaliação, os perfis de teste foram divididos em 3 profissionais e 20 pacientes. Em razão da principal e mais complexa atividade da aplicação consistir no paciente conseguir executar o exercício, e o sistema orientar o paciente quanto à execução correta e conseguir contabilizar assertivamente a execução, o foco desta análise foi na avaliação do perfil do paciente, justificando assim o número maior de participantes avaliando a aplicação com esse perfil.

Depois de executadas as etapas práticas anteriores, foi disponibilizado um formulário com 9 perguntas. Optou-se pelo formulário no *Google Forms* devido à facilidade de acesso. Todos que participaram da avaliação responderam ao questionário. Havia perguntas relacionadas aos seus perfis como idade, gênero, grau de escolaridade e, em caso de possuírem escolaridade superior (completo ou incompleto), qual o curso de formação. As outras perguntas eram relacionadas à experiência de uso com a aplicação, onde utilizou-se a escala *Likert*<sup>1</sup>, uma escala que é comumente utilizada em questionários para pesquisas de opinião e satisfação, com opções de resposta de forma escalonada de “concordo totalmente” a “discordo totalmente”.

As demais perguntas do questionário são as seguintes:

1. Com base nas instruções dadas o sistema foi fácil de usar?
2. Considerando a proposta do sistema, a captura de movimentos tem precisão aceitável?
3. Com as devidas instruções prévias, o sistema poderá ser utilizado a domicílio sem a presença física de um instrutor no local?
4. Se amplamente utilizado, o sistema tem potencial de combater o sedentarismo?
5. Em que aspecto você acredita que o sistema pode ser aprimorado?

Ao final foi incluída uma pergunta com resposta aberta, onde cada participante poderia descrever sua opinião sobre que parte do sistema poderia receber melhorias ou ser aprimorada.

---

<sup>1</sup><https://www.zendesk.com.br/blog/escala-likert/>; Online, acessado em 14/05/2023.

Os resultados das perguntas referentes à experiência dos participantes com o sistema estão ilustrados nos gráficos da Figura 5.1. Observa-se que 95,7% avaliaram o sistema como fácil de utilizar com base nas instruções dadas, enquanto apenas 4,3% discordaram. Com respostas entre “concordo” ou “concordo totalmente”, 87% dos participantes concordaram que o sistema possui precisão aceitável para a captura dos movimentos. Uma pequena parcela (4,3%) discorda, e o restante respondeu que “não concorda e nem discorda”. Diante da afirmação de que com as devidas instruções prévias, o sistema poderá ser utilizado a domicílio sem a presença física de um instrutor no local, também obteve-se uma maior porcentagem de respostas positivas e favoráveis a aplicação, com 69,5% em respostas entre “concordo” ou “concordo totalmente”. Notou-se que os participantes foram favoráveis à aplicação para combater o sedentarismo, caso seja amplamente utilizada. Somente 8,7% discordaram dessa afirmação, enquanto 43,5% concordaram e 39,1% concordaram totalmente.

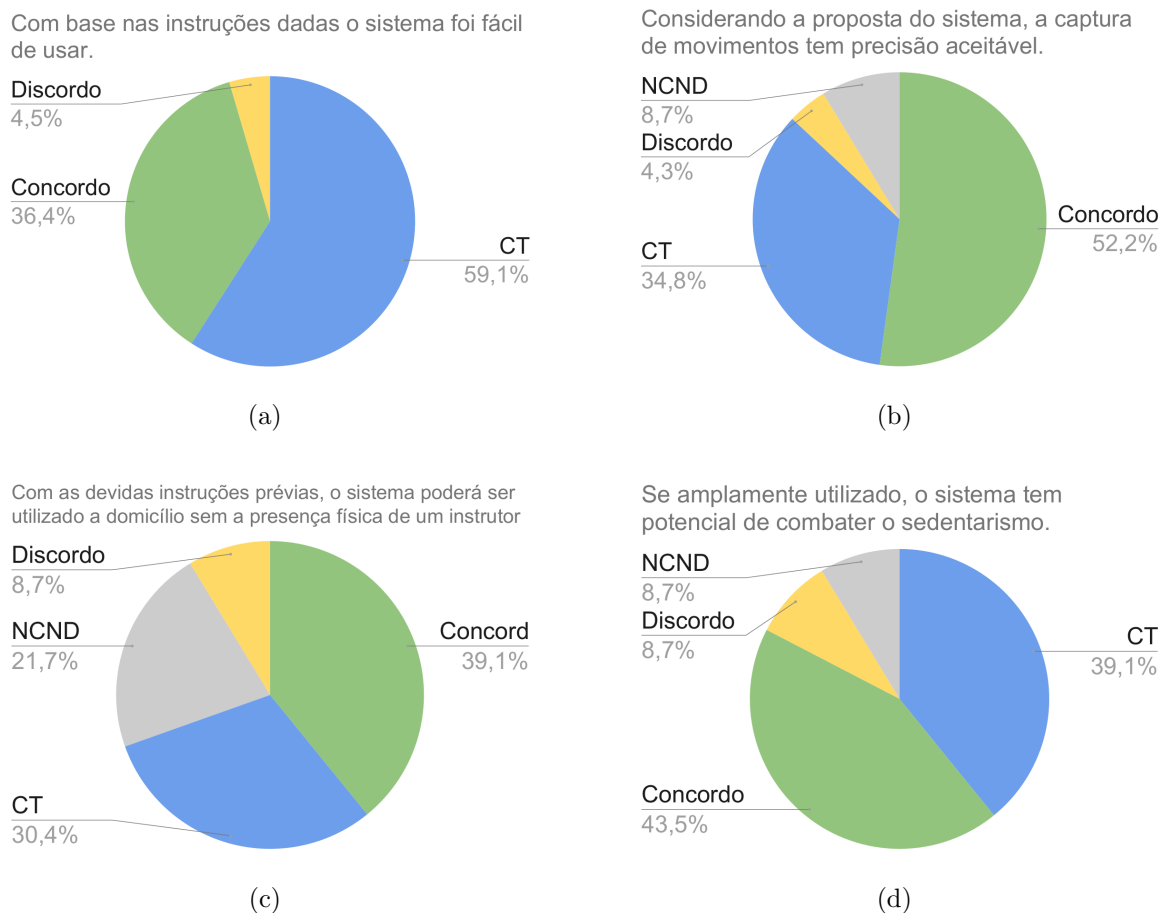


Figura 5.1: Resultados da avaliação qualitativa - Respostas dadas pelos participantes referente a experiência de utilização com o FizioVR. Legenda: CT = “Concordo totalmente” e NCND = “Não concordo, nem discordo”

Na questão aberta os participantes indicaram pontos de melhoria como a inclusão de exercícios mais fáceis a fim de evitar erros que podem ser prejudiciais à saúde, uma narrativa de voz orientando durante a execução do exercício ou um tipo de som ou bipe ao atingir o ângulo ideal na execução e melhor orientação sobre os exercícios que devem ser executados. Na aplicação, ao executar o exercício o paciente pode visualizar na tela os ângulos e os pontos chave que o sistema identifica em seu corpo. Ao atingir o ângulo correto, a visualização desses pontos chave na tela ficam verdes, sinalizando que os ângulos corretos foram atingidos. Entendemos que além da sinalização visual, a sinalização por áudio com um bipe e/ou uma narrativa para orientar o movimento correto realmente vai oferecer um melhor auxílio para o paciente. Essa melhoria resolveria também a questão citada sobre os exercícios mais fáceis, pois com mais formas de orientar o paciente para execução da forma correta, mesmo em exercícios um pouco mais complexos, o paciente será menos propenso a erros que poderiam ser prejudiciais à saúde.

Outros casos citados foram mais opções de exercícios, captura de imagem em outras dimensões e a possibilidade de utilização da aplicação em aparelhos celulares. A intenção é que conforme a utilização e necessidade dos pacientes, que podem apresentar diferentes problemas, e também dos profissionais para prescrever os exercícios, outros exercícios elegíveis possam ser adicionados ao sistema. Além disso, também já é possível que nossa aplicação seja aberta pelo navegador em aparelhos celulares, porém o usuário paciente ainda não consegue executar os exercícios através da câmera do aparelho. Trata-se de uma melhoria significativa para trabalhos futuros, visto que todos hoje em dia possuem aparelhos celulares e que o acesso a eles é muito mais fácil.

Alguns participantes relataram certa dificuldade para que o sistema pudesse contabilizar a execução do exercício. Em alguns casos, observando a execução dos participantes, pode-se notar que o mesmo estava com algumas limitações na execução, como por exemplo executando rápido demais ou realizando o movimento sem o braço estar totalmente estendido. Nos casos citados, a execução não estava incorreta, mas pequenos detalhes estavam dificultando a identificação da execução pelo aplicativo. Nesses casos acredita-se que uma maior precisão para que não ocorra dificuldades de contabilização como essa, uma melhor orientação ou uma narrativa para execução correta possam re-

---

resolver essas questões. Além disso, alguns participantes informaram que na execução de algumas séries dos exercícios, a execução de um dos lados foi captada primeiro do que o outro lado, necessitando que em alguns casos o participante precisasse executar mais repetições para contabilizar a série como completa. No geral, o sistema foi bem avaliado pelos participantes, mostrando ter boa usabilidade e funcionalidade. Pelo *feedback* dos participantes através da avaliação foi possível avaliar de forma real e precisa os pontos positivos e negativos da aplicação.

## 6 Conclusão

Este trabalho apresenta o FísioVR, uma aplicação web que através da visão computacional permite a avaliação individual à distância de pacientes em reabilitação física. Ao acessar a aplicação, um profissional pode cadastrar e prescrever exercícios para um determinado paciente. Este paciente poderá executar na aplicação os exercícios prescritos com os movimentos captados por uma câmera. A aplicação é capaz de auxiliar e guiar o paciente quanto à execução correta dos exercícios, captando seus movimentos, exibindo os ângulos atingidos, indicando a angulação correta e contabilizando as séries executadas. Por fim, através do sistema, o profissional pode avaliar e emitir um *feedback* para o paciente.

O desenvolvimento do sistema e a captação dos movimentos através da câmera foi apoiado pela biblioteca *TensorFlow*, juntamente com o *PoseNet*, principal módulo utilizado desta biblioteca. A versão *TensorFlow* do *PoseNet* é uma rede neural convolucional capaz de detectar as principais articulações e os movimentos humanos através da câmera.

Para avaliar o sistema foi realizada uma avaliação qualitativa com profissionais da área de Educação Física. Nesse estudo experimental, 23 indivíduos utilizaram a aplicação com perfis de pacientes e profissionais. Em seguida os participantes responderam a um questionário sobre a experiência que tiveram com o uso da aplicação. O sistema obteve boa aceitação pelos participantes, sendo considerado pela maioria um sistema de fácil utilização e com bom potencial para combater o sedentarismo.

Diante da avaliação positiva obtida no estudo experimental, como trabalhos futuros pretende-se incluir algumas das melhorias e aprimoramentos sugeridos pelos participantes durante a avaliação realizada. Pretende-se disponibilizar a aplicação para dispositivos móveis de forma nativa possibilitando, além da visualização das informações, a funcionalidade de executar o exercício prescrito no sistema pela câmera do celular, tornando o sistema ainda mais acessível para os usuários. Além disso, propõe-se aprimorar a contabilização e a orientação dos exercícios para os pacientes com novas funcionalidades, como por exemplo com a orientação do exercício correto também de forma auditiva, além da orientação visual já disponível na aplicação.

## Bibliografia

- FRANCISCO, J. A.; RODRIGUES, P. S. Computer vision based on a modular neural network for automatic assessment of physical therapy rehabilitation activities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE, 2022.
- KENDALL, A.; GRIMES, M.; CIPOLLA, R. PoseNet: A convolutional network for real-time 6-dof camera relocalization. In: *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 2938–2946.
- KURILLO, G.; BAJCSY, R.; NAHRSTED, K.; KREYLOS, O. Immersive 3d environment for remote collaboration and training of physical activities. In: IEEE. *2008 IEEE Virtual Reality Conference*. [S.l.], 2008. p. 269–270.
- NAYDENOV, Z.; MANOLOVA, A.; TONCHEV, K.; NESHOV, N.; POULKOV, V. Holographic virtual coach to enable measurement and analysis of physical activities. In: IEEE. *2021 44th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)*. [S.l.], 2021. p. 288–291.
- OVED, D. *Real-time Human Pose Estimation in the Browser with TensorFlow.js*. 2018. Acessado em: 30/03/2023. Disponível em: (<https://blog.tensorflow.org/2018/05/real-time-human-pose-estimation-in.html>).
- PAPANDREOU, G.; ZHU, T.; KANAZAWA, N.; TOSHEV, A.; TOMPSON, J.; BREGLER, C.; MURPHY, K. Towards accurate multi-person pose estimation in the wild. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 4903–4911.
- PARK, J. H.; MOON, J. H.; KIM, H. J.; KONG, M. H.; OH, Y. H. Sedentary lifestyle: overview of updated evidence of potential health risks. *Korean journal of family medicine*, Korean Academy of Family Medicine, v. 41, n. 6, p. 365, 2020.
- POSTOLACHE, O. Remote sensing technologies for physiotherapy assessment. In: IEEE. *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. [S.l.], 2017. p. 305–312.
- ROCHA, W. F. D.; SILVA, P. P. E.; MAZZONI, L. E. V.; CANUTO, C.; ANDRADE, R. M. D.; BENT, A.; RAMPINELLI, M.; AUMONFREY, D. The use of convolutional neural network and starrgb technique for gait movements recognition in remote physiotherapy. In: IEEE. *2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)*. [S.l.], 2021. p. 01–06.
- SCHEZ-SOBRINO, S.; MONEKOSSO, D. N.; REMAGNINO, P.; VALLEJO, D.; GLEZ-MORCILLO, C. Automatic recognition of physical exercises performed by stroke survivors to improve remote rehabilitation. In: IEEE. *2019 International Conference on Multimedia Analysis and Pattern Recognition (MAPR)*. [S.l.], 2019. p. 1–6.
- SCHEZ-SOBRINO, S.; VALLEJO, D.; MONEKOSSO, D. N.; GLEZ-MORCILLO, C.; REMAGNINO, P. A distributed gamified system based on automatic assessment of physical exercises to promote remote physical rehabilitation. *IEEE Access*, IEEE, v. 8, p. 91424–91434, 2020.



VALENTE, M. T. *Livro Engenharia de Software Moderna - Princípios e Práticas para desenvolvimento de software com produtividade*. 2020. Disponível em: <https://analisederequisitos.com.br/wp-content/uploads/2023/06/Engenharia-de-Software-Moderna-completo.pdf>).

YANG, Y.; LIU, C.; TSOW, F.; SHAO, D.; YU, H.; XIA, S.; TAO, N. Remote quantification of workout energy expenditure with a cell phone camera. *IEEE Sensors Journal*, IEEE, v. 16, n. 23, p. 8263–8270, 2016.