

Aplicação de Desenho Digital como Complemento ao Diagnóstico de Parkinson: Um Novo Paradigma na Avaliação Clínica

Rafael Sêco^{1,*} e Tânia Matos^{1,**}

¹ Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto, R. Dr. António Bernardino de Almeida 431, 4249-015 Porto, Portugal

* Correspondência: 1231392@isep.ipp.pt

** Correspondência: 1222773@isep.ipp.pt

Resumo: O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um *software* concebido para possibilitar desenhos digitais utilizando o dedo, através de um computador portátil e respetiva câmara, tendo como objetivo facilitar o diagnóstico e avaliação da progressão da doença de Parkinson. Existem diversas etapas bem delineadas, desde o reconhecimento do paciente até à execução da aplicação, escolha do nível de dificuldade e o processo de desenho. O reconhecimento do paciente implica a validação do número de identificação (*ID*) e a inserção dos dados correspondentes em Excel. O desenho é realizado com referência a uma onda sinusoidal e é avaliado através de métricas como Erro Quadrático Médio e percentagem de acerto. Os resultados são registados em imagens e tabelas, permitindo um acompanhamento ao longo do tempo. O programa desenvolvido proporciona ainda a criação de gráficos de *follow-up*, os quais representam a evolução do paciente, com cores indicativas do nível de dificuldade. Este método inovador visa contribuir de forma significativa para o diagnóstico e monitorização eficaz da doença de Parkinson.

Palavras-chave: Doença de Parkinson; Engenharia Biomédica; Desenho Digital; Visão Computacional; *MediaPipe*; *OpenCV*.

1. Introdução

A interação Homem-Máquina na área médica oferece inúmeras possibilidades, desde o auxílio no diagnóstico, monitorização e tratamento de diversas condições complexas, como é o caso da doença de Parkinson.

Esta patologia do foro neurológico caracteriza-se por sintomas motores e não motores que podem ser variados e, portanto, o seu diagnóstico pode ser um desafio [1]. Assim, têm-se estudado opções tecnológicas inovadoras, para ajudar no diagnóstico precoce e monitorização eficiente da doença, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida dos doentes [2].

Os métodos digitais de desenho e reconhecimento de gestos ou movimentos são ferramentas promissoras que utiliza a Inteligência Artificial e permite detetar e rastrear padrões, como o tremor, que é um dos sintomas mais comuns na Doença de Parkinson [2].

Neste projeto exploramos e propomos a Aplicação do Desenho Digital no contexto médico como complemento no diagnóstico e seguimento da doença de Parkinson. O objetivo deste estudo é auxiliar os especialistas na avaliação do sintoma de tremor ao longo da progressão da doença e verificar o impacto de estímulos como a toma de café no tremor identificado.

Para além do contributo desta técnica no diagnóstico e monitorização da patologia, exploramos também as vantagens e limitações desta aplicação e ainda as perspetivas futuras.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname Last-name

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1.1. Doença de Parkinson

A Doença de Parkinson é a segunda patologia neurodegenerativa mais comum, com elevada incidência em indivíduos de idade avançada, que geralmente resulta numa deterioração severa na saúde e qualidade de vida dos doentes [1,2]. Estudos epidemiológicos demonstram uma prevalência global de 200 para 10,000 indivíduos [1].

Em termos patofisiológicos, esta patologia caracteriza-se por um processo degenerativo pré-sináptico que afeta os neurónios dopaminérgicos na substância negra, especificamente na região *pars compacta* do mesencéfalo, com a formação de corpos de *Lewy* [1]. Este processo degenerativo leva ao défice progressivo de dopamina no sistema nigro-estriado, sistema responsável pelo controlo do movimento voluntário [3]. Por sua vez, os corpos de *Lewy* formados possuem agregados tóxicos de alfa-sinucleína, uma pequena proteína expressa nos terminais pré-sinápticos, que atuam na modulação da estabilidade da membrana neuronal, influenciando a sinalização pré-sináptica e o transporte vesicular através da membrana [1]. Por este motivo, surgem os sintomas e manifestações clínicas do Parkinson [1].

Os principais sintomas associados a esta patologia incluem tremor, bradicinesia (dificuldade em iniciar movimentos e lentidão na execução dos mesmos), rigidez e instabilidade postural [2]. O tremor caracteriza-se por um movimento anormal involuntário e ocorre em cerca de 70% dos doentes com Parkinson [2]. Apesar de não representar uma ameaça direta à vida dos pacientes, o tremor afeta a qualidade de vida e, em cerca de 75% dos doentes, afeta atividades do quotidiano como escrever e comer [4]. A avaliação precisa do tremor é importante no diagnóstico e tratamento, contudo, representa um grande desafio dado que a amplitude e forma do tremor varia de acordo com o indivíduo e com o contexto [2]. Na prática clínica, alguns estudos referem a mais-valia da avaliação do tremor através de um desenho em forma de espiral, atribuindo uma pontuação entre 0 e 9 ao desenho, de forma a determinar a severidade do sintoma [4].

Para além destes sintomas, os doentes podem apresentar outros sintomas como diminuição do olfato, obstipação, depressão, instabilidade autonómica, perturbação do sono REM, demência associada a Parkinson, psicose e várias outras alterações comportamentais, cognitivas e autonómicas [1,5]. Em suma, esta patologia neurodegenerativa pode manifestar-se de diversas formas, com sintomas motores ou não motores, que se manifestam à medida que a doença progride [1].

Para além do Parkinson, existem outras patologias que se caracterizam por sintomas similares, como a Demência dos Corpos de Lewy, Atrofia Multi-Sistémica e Paralisia Supranuclear Progressiva [5]. Assim, o diagnóstico preciso de Parkinson representa um desafio e só é definitivo com examinação do cérebro *post-mortem* [5]. Existem vários métodos e biomarcadores para investigar a doença de Parkinson, e que, em conjunto, são capazes de auxiliar o especialista a efetuar o diagnóstico da patologia, mas que, isolados, isto é, por si só, não são específicos o suficiente para diagnosticar a patologia, devido à vasta heterogeneidade do Parkinson [5].

De uma forma geral, na avaliação clínica da Doença de Parkinson os especialistas recorrem a uma escala de medição denominada de *Movement Disorder Society-Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (MDS-UPDRS), desenvolvida pela Academia Mundial de Distúrbios Motores [2]. Esta escala consiste numa série de testes motores como avaliação do andar, ação de clicar com o dedo (*tapping*) e agilidade das pernas [2]. Para cada teste é gerado uma pontuação por um especialista, em que 0 representa o nível normal e o 4 representa o nível severo [2]. Dada a subjetividade deste método, têm sido investigados outros métodos para a avaliação automática do tremor [2]. Alguns estudos referem a utilização de dispositivos de sensores que permitem capturar o tremor dos doentes, no entanto, os resultados não têm sido satisfatórios, pois o dispositivo tem um peso associado que, por si só, pode interferir com o desenvolvimento do tremor e resultar em resultados imprecisos [2].

Para além disto, métodos de diagnóstico através de imagiologia são também importantes na caracterização da doença de Parkinson, pois permitem descartar outras condições com sintomas semelhantes e avaliar possíveis alterações cerebrais associadas à patologia [1]. Estas técnicas incluem exames como a Tomografia Computorizada (CT), Ressonância Magnética (MRI) e Tomografia por Emissão de Positrões (PET) realizada com agentes análogos da dopamina [1]. Os testes genéticos também podem ser úteis em alguns casos, de forma a identificar mutações genéticas associadas à doença [1].

Em termos de tratamento, atualmente, como primeira linha são prescritos fármacos que têm como alvo os neurotransmissores dopaminérgicos [6]. Estes fármacos permitem aliviar os sintomas de forma imediata, mas o uso prolongado de agentes de dopamina está associado a uma diminuição da sua eficácia ao longo do tempo [6]. Assim, surge a necessidade de desenvolvimento de terapêuticas adjuntas para doentes num estado avançado da patologia [6].

1.2. Visão Computacional e Aplicação de Desenho Digital

Atualmente, as principais formas de interação entre o homem e o computador é através do rato, teclado, controlo remoto ou ecrã-tátil [7]. No entanto, as pessoas comunicam primariamente por métodos sem contacto, que são mais naturais e intuitivos [7]. Assim, investigadores têm estudado a capacidade de os computadores entenderem as intenções e informações humanas através de métodos sem contacto, como a voz, expressões faciais, movimento físico e gestos [7].

A visão computacional é um ramo da inteligência artificial que se foca na capacidade dos computadores em interpretar informações visuais do mundo à nossa volta [8]. Envolve *machine learning* para que os computadores sejam treinados a detetar e reconhecer objetos, assim como a interpretar e analisar imagens e vídeos [8]. No fundo, a visão computacional foca-se na utilização de *hardware* e *software* para estimular e replicar a visão humana [7]. Os repositórios de *MediaPipe* e *OpenCV* são comumente utilizados em programação *Python* para o desenvolvimento de ferramentas de visão computacional, particularmente para o desenvolvimento de sistemas de monitorização do movimento da mão [8]. Estas ferramentas criam uma interface entre as mãos e o sistema que permitem desenhar virtualmente de acordo com o movimento da mão do utilizador [8].

O *MediaPipe*, apresentado pela Google, consiste numa ferramenta *open-source* que permite a deteção da mão e dedos e, portanto, é uma ferramenta direcionada para aplicações que utilizem realidades virtuais e aumentadas, onde os movimentos e gestos da mão representam um papel importante [8]. O repositório *MediaPipe* utiliza técnicas de *machine learning* para processar vídeos e detetar e interpretar a forma e movimento das mãos [8]. Para o reconhecimento da mão e movimentos apresenta dois modelos: um modelo para a deteção da palma da e um outro modelo para a deteção e identificação de pontos de referência da mão [9]. Este último, apresenta alta precisão na deteção dos dedos e permite a deteção de 21 pontos tridimensionais da mão num único *frame*, possibilitando a deteção precisa dos movimentos e consequentemente melhoria na experiência do operador [8]. A figura 1, abaixo, representa a localização dos 21 pontos detetados.



Figura 1. Pontos de referência dos dedos e nós dos dedos no *MediaPipe*.

Este modelo foi treinado com aproximadamente trinta mil imagens reais, assim como várias imagens de modelos sintéticos, em vários fundos diferentes [10]. A vantagem do *MediaPipe* é que não requer *hardware* especializado como sensores de profundidade, luvas marcadoras de cores ou múltiplas câmaras, assim como é suficientemente leve para poder correr em *smartphones*, por exemplo [11].

O *OpenCV* consiste também num repositório *open-source* e consiste em algoritmos e funções que permitem o processamento de imagem e vídeo, deteção de objetos e rastreamento do movimento, reconhecimento facial, entre outros [8]. Geralmente é utilizado no primeiro passo do reconhecimento de gestos com a mão, pois permite o reconhecimento da mão através da câmara, que será o *input* deste tipo de programas [12]. Depois da deteção e reconhecimento da mão, o *MediaPipe* é utilizado para identificar cada gesto em cada posição respetivamente [12].

O desenho digital refere-se a um método de reconhecimento de movimentos e gestos das mãos e dedos que utilizam algoritmos matemáticos para o reconhecimento dos gestos que estão a ser realizados em tempo real [7]. Baseia-se na identificação da mão e dedos, monitorização do movimento e orientação dos mesmos [7]. A ponta do dedo indicador do utilizador é colorida aquando do seu reconhecimento e o desenho é gerado através da monitorização dos movimentos da ponta do mesmo dedo [7]. Esta aplicação é possível através das ferramentas de *OpenCV* e *MediaPipe* que vão permitir o reconhecimento dos dedos e a monitorização do movimento em tempo real [7,12]. Esta aplicação tem sido amplamente utilizada nos campos da robótica, realidade virtual, realidade aumentada e interação homem-máquina, com um elevado potencial na otimização de diversas tarefas e na melhoria da experiência do utilizador (experiência imersiva e iterativa) [7,12].

1.3. Estado-da-Arte

Em aplicações biomédicas, as técnicas de desenho digital e reconhecimento de gestos têm sido estudados e apresentam um papel significativo, por exemplo, na interpretação de língua gestual, como método auxiliar na reabilitação para pessoas com certo grau de incapacidade nas extremidades superiores e ainda para monitorizar movimentos associados a certas patologias [7]. Fora estas aplicações, estas técnicas podem ser aplicadas no controlo virtual de objetos, navegar menus, interagir virtualmente, controlar *robots* ou outra maquinaria onde as operações devem ser “*hands-free*” [7].

Em doentes de Parkinson, a monitorização do sintoma de tremor parkinsoniano foi estudada por Guney G *et al* [13]. Neste estudo, a ferramenta *MediaPipe* foi utilizada para comparar a frequência e amplitude do tremor dos doentes antes e após a toma da medicação [13]. Em primeiro lugar, para validar a técnica, estudaram a relação entre os dados obtidos no vídeo e os dados obtidos de um acelerómetro, onde foi encontrada uma boa correlação entre os dois dados, com um erro médio absoluto de $0,229 \pm 0,174$ Hz para a frequência [13]. Com estes dados concluíram que os métodos de vídeo são precisos e, portanto, úteis para quantificar de forma automática o sintoma de tremor [13]. Posto isto, estudaram o sintoma de tremor e a influência da medicação no mesmo, onde notaram a diferença na frequência e na amplitude antes e após a medicação (medição 30 minutos após a toma), com diminuição da frequência média de $2,012 (\pm 1,385)$ Hz para $1,526 (\pm 1,007)$ Hz e diminuição da amplitude média de $8,167 (\pm 15,687)$ a.u. para $4,033 (\pm 5,671)$ a.u. [13]. Em suma, foi verificada uma elevada sensibilidade deste método na deteção de diferentes frequências, nomeadamente gamas de 1 a 2 Hz que representam o batimento cardíaco e, consequentemente, resultam num pequeno artefacto no movimento da mão, assim como, frequências que rondam os 4 Hz que representam o tremor parkinsoniano [13]. Este método automático por vídeo fornece informação precisa (valor médio do erro relativamente baixo) e, portanto, pode ser uma mais-valia para os médicos especialistas na avaliação da eficiência do tratamento e no estudo de outros potenciais tratamentos [13].

Liu W *et al* estudaram a severidade do tremor e a atribuição de *score* na escala MDS-UPDRS, através de métodos de vídeo e sem contacto físico com o doente [2]. Neste caso,

os investigadores recorreram a técnicas e métodos inovadores baseadas em vídeos, como: Ampliação de Vídeo Euleriana (EVM), ferramenta de pré-processamento usada para realçar tremores subtis nos vídeos, Rede Global de Deslocações por Diferença Temporal (GTSN) e Redes Residuais (ResNet) para estimar o score MDS-UPDRS baseadas nas mudanças temporais do tremor nos vídeos, contribuindo para uma avaliação precisa da severidade do tremor. Recorreram ainda ao *OpenPose* e um Módulo da Diferença Temporal, que permitiu dividir o vídeo original em vídeos apenas com as partes do corpo a serem estudadas e melhorar a concentração do modelo nos tremores identificados no vídeo [2]. Estas técnicas permitiram a estimativa de scores MDS-UPDRS relativamente a tremor em repouso e tremor postural com uma precisão significativa, conseguindo identificar níveis distintos de severidade e realçando tremores subtis em vídeo [2]. Este método tem um elevado potencial, uma vez que permite reduzir o stress dos sistemas de saúde aquando da avaliação clínica destes doentes [2].

Dada a limitação de estudos na aplicação específica na doença de Parkinson, exploramos outros contextos em que estes métodos têm sido utilizados, isto porque, de certa forma, também contribuem para o desenvolvimento e otimização de ferramentas e algoritmos.

Um exemplo, é o estudo de *Ghanbari S et al*, em que os investigadores desenvolveram um método para identificação do utilizador baseado na geometria da mão [14]. Esta ferramenta permite a identificação de um determinado utilizador de forma eficiente e precisa, com baixo custo e implementação simplificada [14]. Para além disto, é um método livre de contacto e independente da altura [14]. Neste caso, o *MediaPipe* foi utilizado para extrair informações de pontos de referência e foram estudados três métodos diferentes, com recolha de informação acerca do comprimento dos dedos, comprimento das falanges de cada dedo e largura dos nós dos dedos [14]. O estudo revelou uma precisão na identificação do utilizador superior a 94% [14]. Esta ferramenta pode ser utilizada em várias aplicações, nomeadamente em controlo de acessos, sistemas de atendimento e sistemas de segurança [14]. Pode também ser combinada com outras modalidades biométricas de forma a aumentar a precisão na identificação, nomeadamente reconhecimento fácil ou reconhecimento de impressão digital [14].

Por sua vez, *Chakradhar K et al* analisaram a aplicação de *OpenCV*, *MediaPipe* e *PyAutoGUI* no reconhecimento de gestos específicos, capazes de operar o *MediaPlayer* sem o controlo do rato ou do teclado [12]. Conseguiram comprovar que é possível, através destes repositórios, controlar o sistema *MediaPlayer* sem a manipulação física do dispositivo, através da monitorização dos 21 pontos da palma da mão e do reconhecimento de 8 gestos específicos [12]. Ainda na aplicação do reconhecimento de gestos, *Suryaperdana Agoes A et al* exploraram o uso desta técnica para criar uma aplicação de guia de utilização [9]. Este estudo propõe a utilização do *MediaPipe* no reconhecimento de gestos, de forma a auxiliar os utilizadores com instruções de uso passo-a-passo e conforme os gestos efetuados, permitindo uma navegação mais rápida e fácil no sistema [9]. Com isto, tornam o processo de aprendizagem de utilização do sistema mais iterativo e intuitivo, melhorando a conveniência do uso do guia de instruções [9]. Consequentemente, prevê-se maior adesão dos utilizadores às instruções indicadas [9].

Assim, conseguimos concluir que não só o desenho digital como o reconhecimento de gestos têm sido amplamente utilizados em diversas áreas. Neste projeto, recorreremos a várias ferramentas descritas na literatura que nos auxiliaram na aplicação do desenho digital no contexto da Doença de Parkinson.

2. Materiais e Métodos

Após analisar o estado da arte existente sobre o tema foi desenvolvido um *software* para desenhar virtualmente com o dedo, com recurso a um computador portátil e respetiva câmara de vídeo, bem como ao *software Visual Studio Code*, desenvolvido pela empresa *Microsoft*. O objetivo do programa desenvolvido é auxiliar o diagnóstico da doença de Parkinson, tal como avaliar a progressão da doença ao longo do tempo. Na mesma

pasta da aplicação deverá estar um ficheiro Excel, que atua como uma base de dados, para que se possam armazenar os dados e resultados obtidos pelos diferentes pacientes.

2.1. Fluxograma do Programa Desenvolvido

O programa desenvolvido funciona de acordo com o fluxograma da figura 2. Após o início do programa, é inserido o número de identificação (*ID*) por parte do utilizador para que possa existir uma diferenciação do paciente a realizar o exame. O programa, de forma autónoma, irá procurar o *ID* no ficheiro Excel e, caso exista, assumirá que não é a primeira vez do paciente em questão a realizar o exame e prosseguirá com a execução da aplicação. Caso o *ID* não seja encontrado no ficheiro Excel, o utilizador terá de introduzir o nome e idade do paciente.

De seguida, após a execução da aplicação, é necessário escolher o nível de dificuldade do exame utilizando o *mouse* do computador e só será possível desenhar se for possível detetar uma mão e o dedo indicador do paciente.

Durante a captação do desenho, podem existir erros na deteção da mão e do dedo. Por isso, é necessário realizar uma análise crítica do desenho. Caso não seja um desenho relevante para análise, é preferível limpar o desenho e recomeçar. Caso contrário, procede-se para um processo de avaliação, onde os resultados serão publicados na forma de imagem e tabela.

Por último, o programa não acaba enquanto não confirmar se é a primeira vez do paciente a realizar o exame. Caso seja, o programa acaba. Caso contrário, é possível criar um gráfico de *follow-up* com os diferentes exames realizados ao longo do tempo.

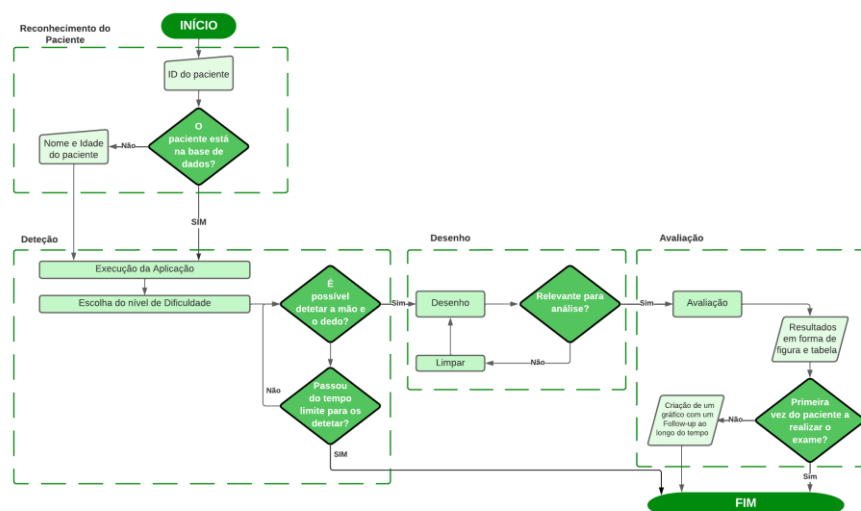


Figura 2. Fluxograma do programa desenvolvido.

2.2. Descrição dos Processos Envolvidos

Vários processos diferentes estão envolvidos na execução do projeto desenvolvido. Desde a inserção dos dados do paciente ao desenho e posterior avaliação, estão presentes vários pensamentos lógicos e matemáticos, os quais serão explicados neste subcapítulo.

A. RECONHECIMENTO DO PACIENTE

Assim que o programa inicia, pede ao utilizador o *ID* do paciente. Uma vez que só números positivos inteiros são aceites, é mostrada uma mensagem a avisar que o número introduzido não é válido (figura 3).

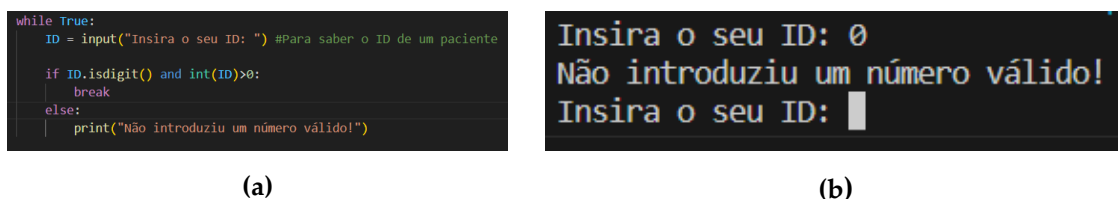


Figura 3. (a) Exemplo do código utilizado; (b) Respetivo comportamento por parte do programa.

Após o ID ser válido, então o programa irá procurar em cada linha da coluna 'ID' do ficheiro Excel para confirmar se esse número já existe (figura 4). Caso o ID do paciente não exista, então o utilizador terá de introduzir o nome do paciente e a respetiva idade.

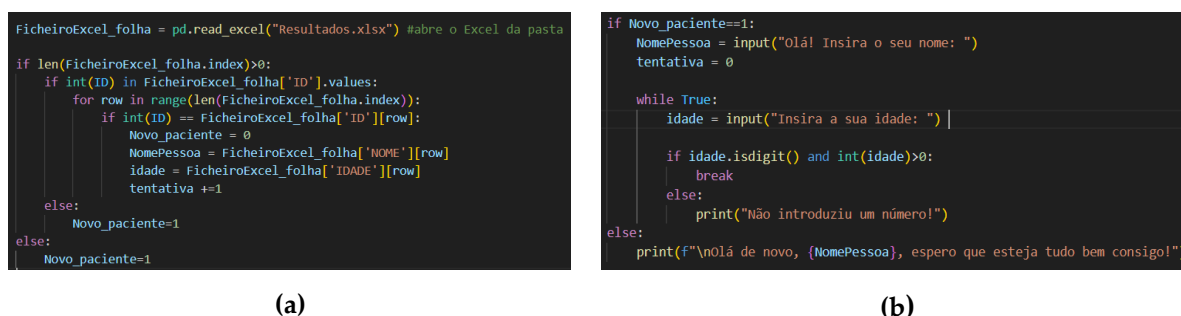


Figura 4. (a) Algoritmo para procurar o ID; (b) Algoritmo para introduzir um novo paciente.

Caso o ID introduzido seja reconhecido pelo programa, então mostra uma mensagem simbólica com o objetivo de se aproximar emocionalmente do paciente (figura 5).

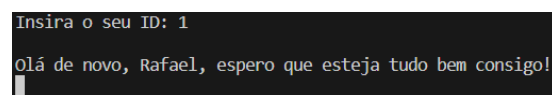


Figura 5. ID reconhecido pelo programa.

B. EXECUÇÃO DA APLICAÇÃO

Após o reconhecimento do paciente, a aplicação é executada e, por isso, é mostrada uma mensagem de aviso (figura 6).

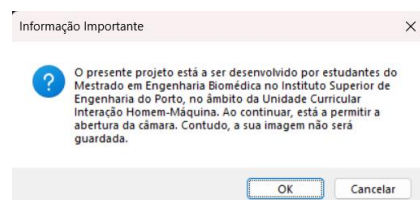


Figura 6. Mensagem de aviso aquando da execução da aplicação.

Caso o paciente não concorde, pode clicar em 'Cancelar' de modo a acabar com a execução do programa. Caso clique em 'OK', o programa continuará para a escolha do nível de dificuldade. A abertura da câmara é realizada utilizando a biblioteca **cv2**, que também possibilita a escrita de frases e a adição de formas a fotografias e vídeos.

C. ESCOLHA DO NÍVEL DE DIFICULDADE

Após a execução da aplicação, é mostrado um menu inicial, simples, onde é possível escolher o nível de dificuldade do exame (figura 7). Este consistirá em reproduzir uma onda sinusoidal com recurso a desenho virtual. A escolha do nível de dificuldade terá um impacto direto na maneira de como esta onda sinusoidal será apresentada, uma vez que quanto maior for a dificuldade escolhida, maior será a frequência da onda sinusoidal e, por isso, mais vezes terá o paciente de repetir o movimento.

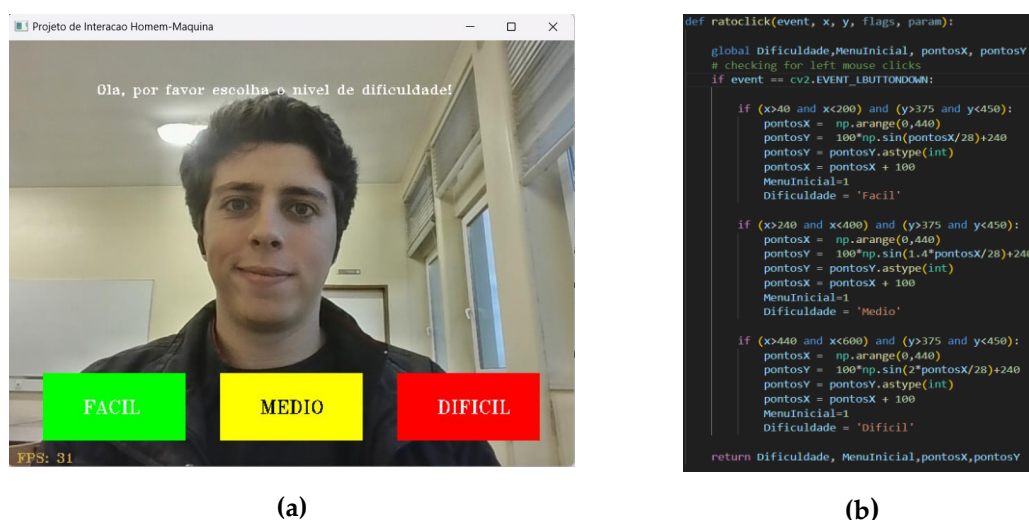


Figura 7. (a) Menu inicial da aplicação; (b) Algoritmo para a escolha do nível de dificuldade.

Assim que o utilizador escolhe a dificuldade do exame, o programa tenta identificar a mão e o dedo paciente. Caso o paciente não esteja com uma mão visível, aparece no vídeo a mensagem “Não consigo detetar a tua mão” (figura 8). Caso o programa detete a mão e o dedo do paciente com a ajuda do *MediaPipe*, então avançará para o processo de desenho.



Figura 8. Caso em que a mão do paciente não é detetável.

D. DESENHO

Após o momento da escolha de decisão e da deteção do dedo, o paciente pode começar o exame. Para isso, terá de deslocar o seu dedo indicador para o botão verde ‘Iniciar’ e seguir a linha de referência até ao botão vermelho ‘Parar’. O botão verde incorpora uma variável que serve como uma *flag* para o início da contagem do tempo, enquanto que o botão vermelho parará essa contagem e fará a conversão para segundos. A dificuldade escolhida anteriormente pode ser observada no canto superior esquerdo deste menu de

desenho e, caso se queira mudar de dificuldade, então é possível voltar ao menu inicial através do botão branco 'Mudar'. Este botão incorpora um mecanismo que reconhecerá se o desenho foi realizado até ao fim e, se sim, então guardará os resultados. Caso o exame não tiver sido completado, então apenas vai para o menu inicial sem guardar os resultados. Um exemplo da avaliação com a dificuldade média pode ser observado através da figura 9.

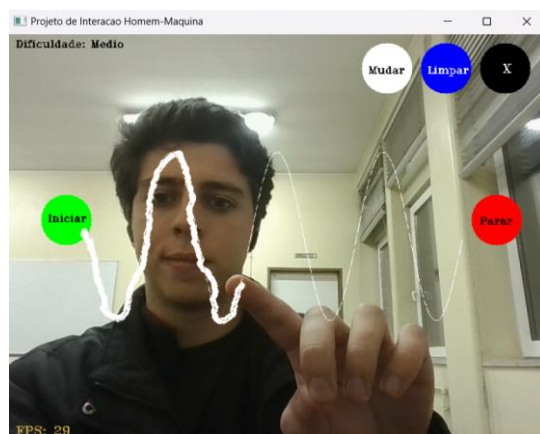


Figura 9. Exemplo ilustrativo do exame com a dificuldade média.

Uma vez que a forma escolhida para os botões foi a forma circular, então é necessário saber quando é que serão ativados. Um vídeo é um conjunto de imagens (*frames*) ao longo do tempo, daí ser possível calcular quantos *frames* por segundo (*fps*) captamos durante a avaliação. A cada imagem captada, o programa irá guardar a posição do dedo indicador num vetor com duas posições: a posição 0 corresponderá à coordenada no eixo horizontal e a posição 1 corresponderá à coordenada no eixo vertical. Então assim, sabendo as coordenadas do dedo e as coordenadas do botão, é possível se o dedo se encontra virtualmente a tocar no botão através da equação da distância entre dois pontos:

$$d_{AB} = \sqrt{(x_{ref} - x_{dedo})^2 + (y_{ref} - y_{dedo})^2} \quad (1)$$

O botão azul 'Limpar' apagará o desenho do paciente e o botão preto 'X' servirá para sair e guardar os resultados. O botão preto incorpora uma variável que servirá de *flag* para guardar os resultados e para fazer uma avaliação do exame, algo que não é ativado se for premido o botão *Esc*.

E. AVALIAÇÃO

A cada imagem captada, o programa guarda as coordenadas do desenho e compara com as coordenadas da linha de referência. Assim, consegue ir acompanhando e somando o erro quadrático a cada iteração, utilizando o mesmo valor das coordenadas no eixo horizontal e apenas comparando as coordenadas do eixo vertical. O exemplo do algoritmo pode ser observado na figura 10.

```
i = list(pontosX).index(CoordenadasDedoFinal[0])
erroQuadraticoMedio = math.fabs(CoordenadasDedoFinal[1]-pontosY[i])
erroQuadraticoMedio = float(erroQuadraticoMedio**2)
erroQuadraticoMedioTotal = float(erroQuadraticoMedioTotal + erroQuadraticoMedio)
```

Figura 10. Exemplo ilustrativo do algoritmo utilizado para calcular o erro quadrático total.

Quando a *flag* presente no botão 'X' é ativada, então o erro quadrático total é dividido pelo número de iterações para obter o Erro Quadrático Médio (Mean Squared Error - *MSE*), obtido através da equação

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{ref} - y_{dedo})^2 \quad (2)$$

em que n será o número de iterações. Caso o vídeo seja captado a 30 *frames* por segundo, significa que a cada unidade de tempo que passe, o erro quadrático total será dividido por mais 30 ciclos. Assim, embora o tempo não possibilite uma análise direta dos resultados, está relacionado com o *MSE*, uma vez que quanto mais tempo o paciente fizer o exame, menor será o *MSE*.

O programa está, também, habilitado para criar duas imagens secundárias diferentes, ambas binárias, onde o que está desenhado está a branco (correspondente a 1) e o resto que encontra a preto (correspondente a 0). Uma das imagens contém o traçado de referência com a onda sinusoidal correspondente à dificuldade previamente escolhida, enquanto que a outra contém o desenho do paciente. Ao realizarmos a operação lógica de interseção (*AND*) das duas imagens criadas, é possível saber a quantidade de pontos que coincidem nos dois desenhos e, por consequência, calculamos a percentagem de acerto com a expressão

$$\% \text{ Acerto} = \frac{(imagem_{ref} \cap imagem_{desenho})}{imagem_{ref}} * 100 \quad (3)$$

Assim, a avaliação é realizada através de dois parâmetros principais (percentagem de acerto e erro quadrático médio) e um parâmetro secundário (tempo decorrido).

F. CRIAÇÃO DE RESULTADOS

Tal como referido anteriormente, ao clicar no botão 'X', são guardados os resultados na forma de imagem comprimida de formato *jpg* e em forma de tabela no ficheiro Excel previamente apresentado.

A imagem é criada na pasta onde se encontra a aplicação com o algoritmo de nome "ID_NomePaciente_Dificuldade_NrTentativa.jpg" e contém dados como a idade do paciente e respetivo nome, dificuldade escolhida, o desenho realizado pelo mesmo, cálculo do *MSE*, tempo demorado pelo paciente em segundos, percentagem de acerto e data da examinação. O desenho do paciente é colocado a cores, consoante o cálculo do erro local, isto é, se o paciente estiver a 7 píxeis da linha de referência do desenho, então a cor representada será a verde. Caso a distância da linha desenhada esteja situada entre os valores de 7 e 8 píxeis, a cor representada será a amarela e, acima destes valores, aparecerá a cor vermelha na imagem guardada. Um exemplo da imagem criada na pasta da aplicação pode ser observada na figura 11.

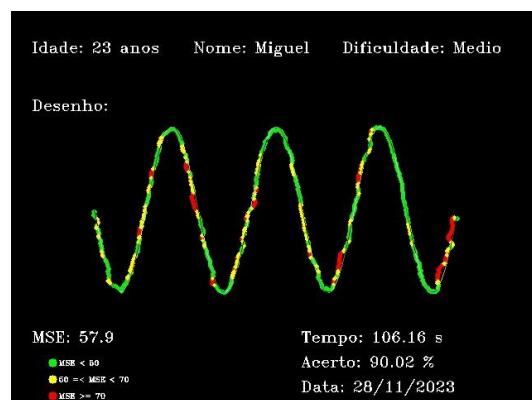


Figura 11. Exemplo ilustrativo da imagem criada após a examinação

A tabela Excel é guardada com o *ID* do paciente, respetivo nome e idade, erro quadrático médio, percentagem de acerto, tempo, data da examinação e número de tentativa, com a respetiva dificuldade (figura 12).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	NOME	IDADE	ERRO	% ACERTO	TEMPO (s)	DATA	TENTATIVA	DIFICULDADE
2	1	Rafael	21	222,88	66,13	23,26	25/11/2023	1	Medio
3	1	Rafael	21	551,64	47,15	27,09	26/11/2023	2	Medio
4	1	Rafael	21	214,76	64,53	27,31	27/11/2023	3	Medio
5	1	Rafael	21	266,81	64,82	30,27	28/11/2023	4	Medio
6	1222769	Miguel	23	57,9	90,02	106,16	28/11/2023	1	Medio
7	1231882	maria	22	569,82	38,22	33,56	28/11/2023	1	Medio
8	1	Rafael	21	475,49	57,58	27,76	28/11/2023	5	Difícil
9	1	Rafael	21	320,79	47,29	12,8	28/11/2023	6	Medio
10	1222773	Tania	27	140,83	61,91	23,86	28/11/2023	1	Fácil

Figura 12. Exemplo ilustrativo da tabela criada em Excel

G. GRÁFICO DE FOLLOW-UP

Caso o paciente tenha realizado o exame mais do que uma vez, será possível acompanhar os resultados obtidos pelo mesmo ao longo do tempo através da utilização de um gráfico de dispersão de pontos. O gráfico representa a percentagem de acerto atingida pelo paciente em função da data do exame realizado, permitindo realizar um *follow-up* da doença ao longo do espaço temporal. Os pontos representados podem ter vários tamanhos: quanto maior o erro quadrático médio do exame, maiores serão os pontos representados. Podem, ainda, os pontos tomar várias cores: se os pontos forem verdes, significa que a dificuldade do exame foi fácil, amarelo equivale a médio e vermelho a difícil (figura 13). Deve-se notar que a data do exame mais recente aparecerá no canto inferior direito, enquanto que a data do exame mais antigo aparecerá no canto inferior esquerdo.

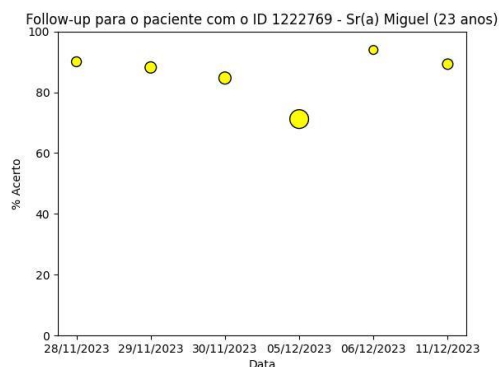


Figura 13. Exemplo ilustrativo de um gráfico de follow-up para o paciente com o ID 1222769

3. Resultados

Nesta secção do relatório serão apresentadas as diversas atividades experimentais realizadas para testar o programa desenvolvido e respetivos resultados. O computador portátil utilizado foi um *Victus by HP Laptop 16*, com um processador *12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700H*, 16GB RAM e com uma câmara incorporada *HP Wide Vision HD Camera*. Para todas as atividades, a posição da mão foi igual à posição demonstrada na figura 14.



Figura 14. Posição da mão durante os exames realizados

3.1. Influência da velocidade de captação de imagens

Como referido anteriormente, um vídeo é um conjunto de imagens captadas e o objetivo desta experiência é avaliar as diferenças entre vídeos com diferentes qualidades. Assim, foram realizados dois testes com a mesma luminosidade, mas com diferentes modos de desempenho do computador portátil: o primeiro no modo economizador de bateria e o segundo com o computador em modo desempenho.

No primeiro teste, com o computador portátil em modo economizador de bateria, estavam a ser captadas 15 imagens por segundo. Assim, o sistema do *MediaPipe* teve problemas em detetar e fixar o dedo indicador. Na parte final do exame, detetou um dedo diferente, causando uma anomalia no desenho em que a MSE do exame foi de 417,57. Este MSE foi obtido uma vez que existem muitas zonas a vermelho, mas também porque a divisão pelo número de iterações é por um número mais baixo do que com um número maior de imagens captadas por segundo. A percentagem de acerto do primeiro teste situou-se nos 61%, aproximadamente.

Já no segundo teste, com o máximo desempenho do computador, foram captadas 30 imagens por segundo decorrido. Os problemas anteriores do *MediaPipe* foram mitigados, permitindo obter uma percentagem de acerto de aproximadamente 78% e um MSE de 122,45. O tempo decorrido em relação ao teste anterior é de cerca de 5 segundos mais rápido.

Os resultados obtidos durante esta atividade podem ser observados na figura 15.

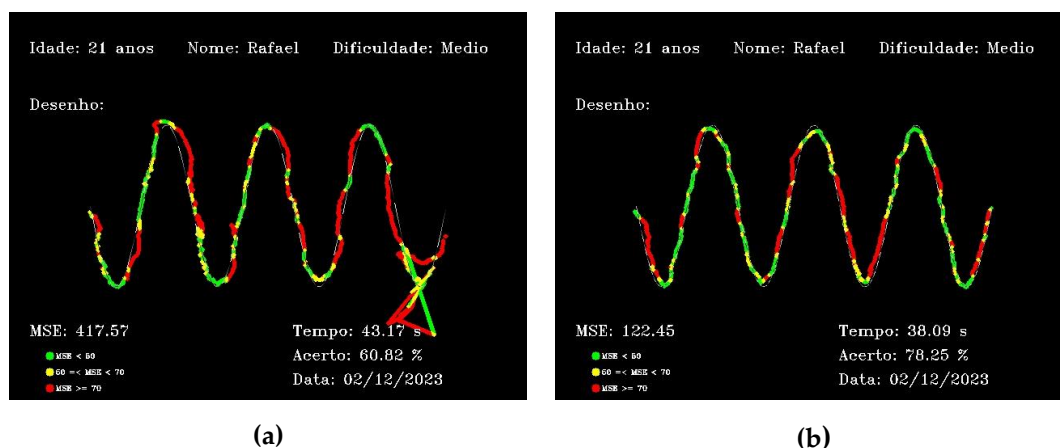


Figura 15. (a) Resultados para um computador a economizar bateria; (b) Resultados para um computador com o máximo desempenho.

3.2. Influência da luz ambiente no exame

Foram realizados dois testes do projeto quanto à influência da luz ambiente no exame, procurando-se a melhor maneira de o aplicar futuramente.

O primeiro teste foi realizado em condições muito favoráveis de luminosidade, numa sala com duas persianas abertas, em que a câmara do computador portátil captava 30 imagens por segundo. O *MediaPipe* não teve problemas em detetar e fixar o dedo indicador, sendo que o MSE calculado situou-se no valor 101.37 e a percentagem de acerto foi de 80.94%.

De seguida, as persianas foram fechadas de maneira a tornar o ambiente muito mais escuro e o computador portátil continuou a captar 30 imagens por segundo, o máximo possível que conseguiria, para o segundo teste ser realizado. Desta vez, sem luz ambiente, o *MediaPipe* teve muitas dificuldades em captar e fixar o dedo indicador, obtendo-se um MSE de 3465,86 e uma percentagem de acerto de aproximadamente 46%.

Os resultados obtidos durante este teste podem ser observados na figura 16.

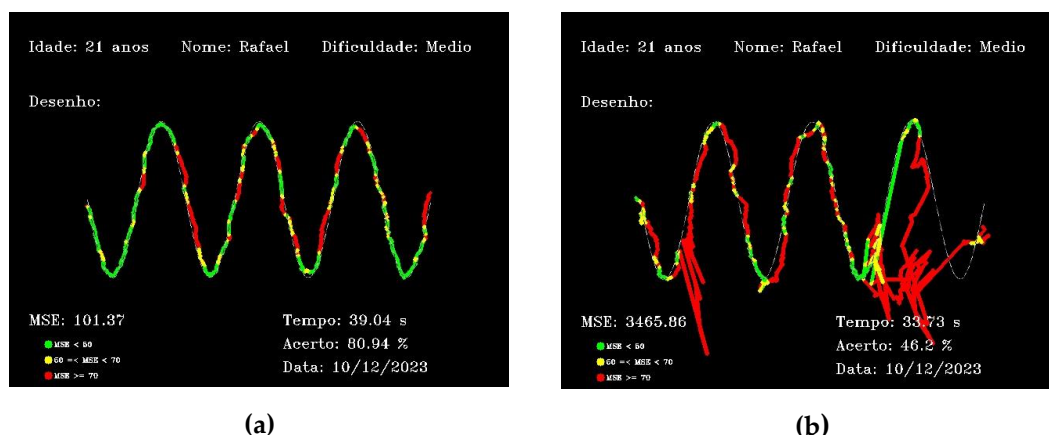


Figura 16. (a) Resultados do exame em condições favoráveis de luminosidade; **(b)** Resultados do exame sem luminosidade ambiente

3.3. Influência da cafeína no exame

A cafeína é um estimulante natural do cérebro, presente em vários alimentos e bebidas, que também aumenta a circulação de cortisol e epinefrina no organismo [15]. O objetivo deste teste seria avaliar a influência da cafeína presente no organismo na realização do exame 15 minutos após a ingestão de café.

Foram realizadas duas tentativas, com dois pacientes do sexo feminino e de diferentes faixas etárias. A primeira paciente tem 54 anos e bebe café duas a três vezes ao dia desde a sua adolescência. Já a segunda tem 24 anos e consome café uma vez por dia ao longo dos últimos anos, mas ainda assim num período de tempo muito menor quando comparada à primeira paciente.

Relativamente à primeira paciente, esta realizou um exame em que obteve uma percentagem de acerto de aproximadamente 60% e um MSE de 319,23. No momento em que realizou o exame, apresentava uma frequência cardíaca de 79 batimentos por minuto. Quinze minutos e 40 mililitros de café depois, a mesma paciente repetiu o exame nas mesmas condições de desempenho do computador e de luz ambiente, obtendo uma percentagem de acerto de aproximadamente 49% e um MSE de 245,07, com uma frequência cardíaca de 80 batimentos por minuto. Os resultados obtidos podem ser observados na figura 17.

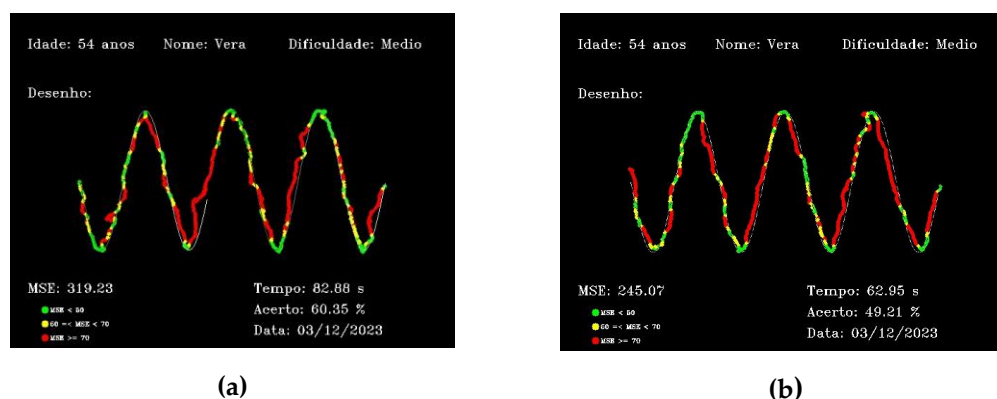




Figura 17. (a) Resultados do exame sem cafeína no organismo; (b) Resultados do exame com cafeína no organismo; (c) Pressão arterial e frequência cardíaca antes de ingerir café; (d) Pressão arterial e frequência cardíaca após ingerir cafeína

Quanto à segunda paciente, no seu primeiro exame esta obteve uma percentagem de acerto de aproximadamente 84% e um MSE de 62,34, com uma frequência cardíaca de 113 batimentos por minuto. Seguindo o mesmo protocolo da paciente anterior, esta também voltou a realizar o exame 15 minutos depois de beber 40 mililitros de café. A sua frequência cardíaca manteve-se no mesmo valor, enquanto que a percentagem de acerto obtida foi de aproximadamente 87% com um MSE de 49,16. Os resultados obtidos estão presentes na figura 18.

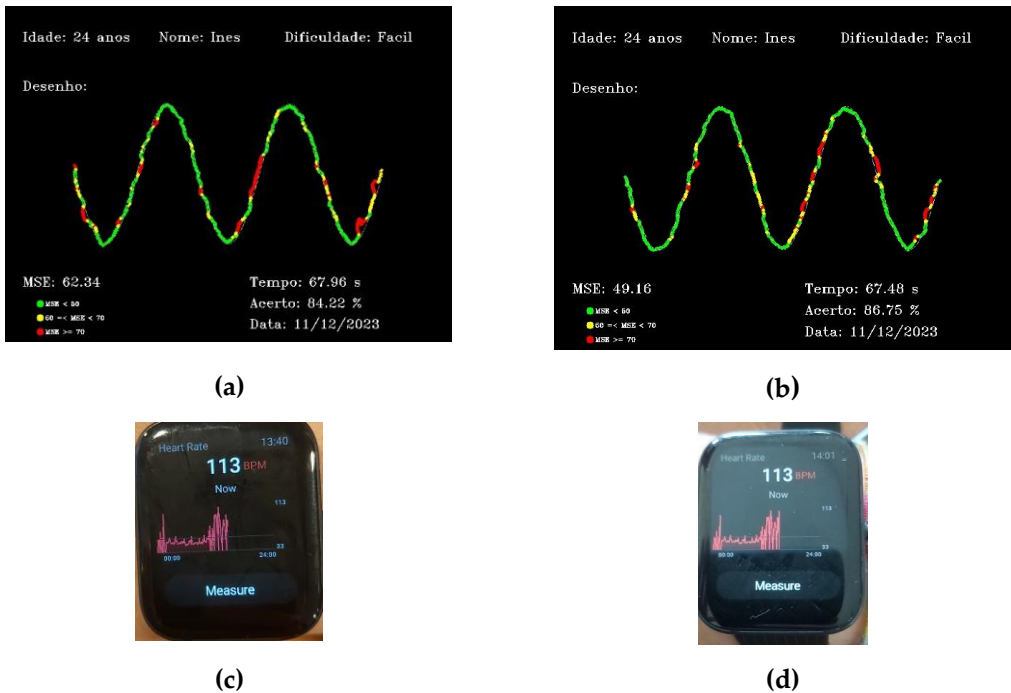


Figura 18. (a) Resultados do exame sem cafeína no organismo; (b) Resultados do exame com cafeína no organismo; (c) Frequência cardíaca antes de ingerir café; (d) Frequência cardíaca após ingerir cafeína

4. Discussão

Neste projeto estudámos a influência da velocidade captação de imagens, luz ambiente e cafeína nos resultados obtidos, de forma a entendermos quais as condições ideais de realização do estudo. Neste capítulo é efetuada a discussão dos resultados obtidos, bem como a análise SWOT ao projeto desenvolvido e uma comparação com os estudos desenvolvidos nesta área.

4.1. Influência da velocidade de captação de imagens

Na figura 15 mencionada anteriormente, encontram-se os resultados relativos à execução do exame em modo economizador de bateria (figura 15a) e em modo desempenho (figura 15b). É possível observar que o resultado obtido foi bastante melhor quando o computador portátil estava com o seu desempenho no máximo possível, fazendo com que a velocidade de captação de imagens se situasse nas 30 imagens por segundo. Para além de aumentar significativamente a percentagem de acerto, também foi possível diminuir o MSE obtido.

Tal acontece porque, no caso da métrica de percentagem de acerto, o paciente consegue seguir mais facilmente a linha de referência e a ferramenta *MediaPipe* consegue detetar e fixar o dedo indicador sem qualquer problema.

Quanto à métrica do erro quadrático médio, esta diminui porque o paciente não errou tanto e o programa teve mais iterações para dividir na sua fórmula, como explicado no ponto 3.1. do presente relatório.

4.2. Influência da luz ambiente no exame

Na figura 16, encontram-se os resultados obtido relativos à execução do exame em diferentes condições de luminosidade, sendo estas com bastante luz ambiente (figura 16a) e sem luminosidade (figura 16b). É possível observar que o resultado obtido foi bastante melhor quando o ambiente estava muito bem iluminado.

Tal acontece porque, no caso da métrica de percentagem de acerto e semelhante ao modo desempenho do computador portátil, a ferramenta *MediaPipe* consegue detetar e fixar o dedo indicador sem qualquer problema. Caso contrário, sem luz ambiente, o *MediaPipe* pode detetar e identificar outros dedos como se fossem o dedo indicador, afastando-se demasiado da linha de referência e aumentando o MSE para valores críticos.

4.3. Influência da cafeína no exame

Já nas figuras 17 e 18 estão representados os resultados obtidos, com o objetivo de perceber se existe influência da cafeína no exame realizado, tal como tremor no movimento ou algum espasmo muscular [16]. Para tal, foram testadas duas pacientes do sexo feminino de faixas etárias diferentes.

Foi possível observar que, na primeira paciente, o resultado obtido sem cafeína no corpo corresponde a uma percentagem de acerto de aproximadamente 60%, após serem medidos os batimentos cardíacos. A paciente ingeriu café e 15 minutos depois os batimentos cardíacos voltaram a ser medidos, tendo aumentado de forma expectável. O desenho da paciente piorou, obtendo uma percentagem de acerto de 49%. Contudo, o erro quadrático médio melhorou porque a paciente não se desviou tanto do desenho. Este facto pode estar relacionado por existirem tremores associados à ingestão prolongada de café ao longo de largos anos.

Por outro lado, a segunda paciente realizou o exame sem cafeína no organismo e obteve uma percentagem de acerto de aproximadamente 84%, após serem medidos os batimentos cardíacos. A paciente bebeu café e, 15 minutos depois, os seus batimentos cardíacos permaneciam no mesmo valor. O seu desenho melhorou em 2 pontos percentuais com cafeína no organismo, uma vez que pode estar relacionado ao facto de ser um

organismo com menos dependência de café, logo os seus efeitos nos músculos e no movimento podem não estar tão agravados.

4.4. Análise SWOT

A análise SWOT aparece como uma forma de analisar criticamente e identificar pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças do projeto desenvolvido. Esta análise não só permite identificar erros no processo, como também ajuda na ponderação de uma estratégia de os resolver, numa perspetiva futura.

Ao analisar o projeto encontraram-se vários pontos fortes que podem servir de base para um futuro desenvolvimento. O facto do desenho digital ser uma técnica interativa e não-invasiva ajuda a que o paciente leve este exame de uma forma mais leviana, sem sentir a pressão de estar a ser examinado. Além disso, o projeto tem a capacidade de detetar e representar tremores subtis no desenho, bem como pode auxiliar a monitorização deste. O cálculo do MSE e da percentagem de acerto são métricas que se complementam porque permitem quantificar o quanto é que o paciente conseguiu seguir a linha de referência e por quanto é que se desviou da mesma. Estas métricas, tal como a passagem do desenho para figura, ajudam a perceber o que aconteceu durante a examinação e o gráfico de *follow-up* criado ao longo do tempo ajuda à comparação progressiva dos vários estados da doença ou estudo, reduzindo a subjetividade associada a avaliações clínicas. O facto do programa ter a habilidade de confirmar rapidamente se o paciente já se encontra na base de dados é um ponto muito importante, uma vez que reduz a entrada de dados desnecessários e permite poupar tempo.

No entanto, também foram encontradas várias fraquezas. Geralmente, o tremor associado à doença de Parkinson ocorre em repouso e esta técnica pode também não ser aplicável em casos mais avançados da doença ou em pacientes de uma faixa etária mais elevada, dado que poderão não apresentar controlo ou destreza suficiente para a realização do desenho. O programa desenvolvido apenas está apto para detetar a ponta do dedo indicador (direito ou esquerdo), o que se torna um entrave para pessoas que, por alguma razão, possuam uma anatomia da mão diferente do esperado. Além disso, por uma questão de tempo e recursos, optou-se por uma base de dados em Excel quando esta poderia ter sido pensada em linguagem SQL, caso as condições para realizar o projeto tivessem sido outras. O programa já é interativo, porém poderia ser mais, tendo vários menus para navegar, consultar informações e até realizar uma autenticação virtual do paciente recorrendo ao reconhecimento facial do mesmo, por exemplo. No final, o programa guarda os resultados como uma imagem em formato JPG, o que envolve compressão de *píxeis* e, por isso, não se torna medicamente aceitável devido a possíveis perdas de informação.

Na vertente das oportunidades, é considerado que o projeto pode e deve ser aplicado em contexto de doentes de Parkinson, uma vez que não foi possível testar em pacientes com essa doença. Também pode ser aplicado em outras patologias ou pesquisas médicas, como o estudo da motricidade fina das crianças ao longo da sua juventude. O projeto deve ser testado com melhores condições em termos de computador e câmara, para observar se existe uma diferença significativa na recolha de imagens. Também é uma oportunidade realizar um estudo da influência de outros estímulos como a música, exercício físico ou o *stress* na realização do exame.

Quanto às ameaças ao projeto, estas podem ser fatais no que toca à segurança informática, uma vez que o exame é realizado num computador e não existe uma proteção ao programa, a aplicação pode ser exposta por atacantes. Além disso, a base de dados do programa é uma folha Excel não protegida e qualquer alteração feita por atacantes pode ser fatal no que toca a guardar os resultados obtidos. Por último, o projeto desenvolvido depende de bom *hardware*, *software* e de uma boa iluminação, sendo difícil de juntar todos estes fatores, por vezes.

4.5. Comparação com a Literatura

À semelhança do que verificamos na realização deste projeto, os estudos realizados por investigadores nesta área também reconhecem o potencial destes métodos para múltiplas aplicações, desde a saúde, robótica, realidade virtual e jogos [12]. No caso específico da saúde, é uma técnica não invasiva, permite uma avaliação de *follow-up* mais objetiva, intervenção precoce na avaliação de sintomas e ainda a monitorização remota [2]. O desenho digital tem potencial como ferramenta auxiliar na monitorização de movimentos dos pacientes e como ferramenta de *feedback* no processo de avaliação de doenças e severidade das mesmas e na delineação de planos de tratamento [2,12].

Os principais desafios que se encontram no delineaamento de ferramentas “*hands-free*” e controladas por gestos e movimento da mão são:

- i. Precisão na monitorização do movimento da mão e reconhecimento dos gestos efetuados, dado que podem ser afetados por condições de luz e pelas condições do fundo, pela qualidade da câmara, oclusão ou variações na forma, tamanho e orientação das mãos [7,8,12,13].
- ii. Necessidade de processamento do movimento da mão em tempo real e com um elevado desempenho, para obter uma boa experiência por parte do utilizador, uma vez que os gestos da mão são dinâmicos e rápidos [7,8,12].
- iii. Distinção entre diferentes gestos de forma precisa, dada a complexidade e variabilidade nos movimentos da mão humana [7]. Reconhecimento de vários gestos, dado que podem ser estáticos ou dinâmicos ou até de diferentes ângulos e perspetivas [7].
- iv. Os processos de desenvolvimento e processamento destas técnicas podem ser muito demorados e complexos e, portanto, requerem conhecimento e experiência em visão computacional, *machine learning* e desenvolvimento de *software* para a criação de interfaces que sejam *user-friendly* e que permitam uma interação facilitada com o sistema através de gestos e movimentos [8,12,13].

Contudo, com um sistema robusto, isto é, um sistema treinado com uma grande quantidade de dados, é possível criar métodos precisos para as variações na forma e tamanho das mãos, assim como, para condições de baixa qualidade de imagem, tal como descrito por Ghanbari S et al no método para identificação de utilizador [12,14].

De uma forma geral, os sistemas de reconhecimento de gestos e movimentos têm um elevado potencial na melhoria da experiência do utilizador e na otimização da eficiência de diversas tarefas, contudo, trabalhar sobre estes desafios é crucial para assegurar a precisão, velocidade e confiabilidade dos sistemas desenvolvidos [12].

5. Conclusão

Com o desenvolvimento deste projeto, concluímos que o desenho digital representa um processo iterativo e, portanto, apresenta-se ao utilizador como um “jogo”, o que o cativa para a realização do teste. Isto permite retirar o “peso” do receio e ansiedade associados a testes de diagnóstico e permite uma experiência mais agradável e divertida ao utilizador (*user-friendly*), que acaba por colaborar mais facilmente. Ainda neste sentido, representa um método não invasivo e relativamente simples, pelo que tem potencial na avaliação inicial dos doentes, contribuindo para um diagnóstico precoce e, consequentemente, melhor gestão da doença. Desde que os doentes apresentem destreza suficiente para a realização do teste, este pode ser útil para avaliação de várias fases da doença e ainda na avaliação da efetividade do plano de tratamento.

Para além disto, na avaliação específica da doença de Parkinson, esta técnica permite reduzir a subjetividade da análise clínica e favorece a avaliação por especialistas diferentes, permitindo maior disponibilidade para consultas aos doentes. Possibilita ainda avaliações remotas e não requer um *hardware* especializado (apenas um computador e uma câmara), o que confere um elevado grau de acessibilidade a esta técnica.

Relativamente às limitações mencionadas ao longo do estudo, estas representam oportunidades de melhoria e de desenvolvimento de novas aplicações ou ferramentas. Assim, como perspectivas futuras para o desenvolvimento deste projeto, identificamos a possibilidade de estudar novos contextos como a influência da música, do exercício físico, do *stress*, entre outros estímulos, o estudo da comparação do desenho digital a dispositivos *wearables* e ainda o estudo da aplicação desta técnica a outras patologias neurológicas como a Esclerose Múltipla ou na recuperação após Acidente Vascular Cerebral (AVC). Por fim, no sentido de validar a usabilidade da técnica em contextos reais, será imprescindível melhorar a robustez dos dados, através da aquisição de mais resultados.

Em suma, concluímos que estas tecnologias têm um potencial significativo na melhoria do diagnóstico, tratamento e acompanhamento numa variedade de patologias, particularmente associadas a distúrbios motores. Com o rápido avanço na tecnologia, é expectável que estas tecnologias se tornem cada vez mais precisas, confiáveis e *user-friendly*, possibilitando o estudo de novas aplicações, no sentido de desenvolver técnicas cada vez mais acessíveis e inclusivas, particularmente importantes para pessoas com algum grau de incapacidade.

Referências

1. Leite Silva, A.B.R.; Gonçalves de Oliveira, R.W.; Diógenes, G.P.; de Castro Aguiar, M.F.; Sallem, C.C.; Lima, M.P.P.; de Albuquerque Filho, L.B.; Peixoto de Medeiros, S.D.; Penido de Mendonça, L.L.; de Santiago Filho, P.C.; et al. Premotor, Nonmotor and Motor Symptoms of Parkinson's Disease: A New Clinical State of the Art. *Ageing Res Rev* **2023**, *84*, 101834, doi:10.1016/J.ARR.2022.101834.
2. Liu, W.; Lin, X.; Chen, X.; Wang, Q.; Wang, X.; Yang, B.; Cai, N.; Chen, R.; Chen, G.; Lin, Y. Vision-Based Estimation of MDS-UPDRS Scores for Quantifying Parkinson's Disease Tremor Severity. *Med Image Anal* **2023**, *85*, doi:10.1016/j.media.2023.102754.
3. Cristina, S.; Alves, C. Fisiopatologia Dos Gânglios Base Na Doença de Parkinson. **2012**.
4. Lin, P.C.; Chen, K.H.; Yang, B.S.; Chen, Y.J. A Digital Assessment System for Evaluating Kinetic Tremor in Essential Tremor and Parkinson's Disease. *BMC Neurol* **2018**, *18*, doi:10.1186/s12883-018-1027-2.
5. Yamashita, K.Y.; Bhoopatiraju, S.; Silverglate, B.D.; Grossberg, G.T. Biomarkers in Parkinson's Disease: A State of the Art Review. *Biomark Neuropsychiatry* **2023**, *9*, 100074, doi:10.1016/J.BIONPS.2023.100074.
6. Zhou, Z.; Zhou, R.; Wei, W.; Luan, R.; Li, K. Effects of Music-Based Movement Therapy on Motor Function, Balance, Gait, Mental Health, and Quality of Life for Patients with Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Rehabil* **2021**, *35*, 937–951, doi:10.1177/0269215521990526.
7. Vasavi, R.; Professor, A.; Rahul, N.; Snigdha, A.; Moses, K.J.; Simha, S.V. *Painting with Hand Gestures Using MediaPipe*; 2022; Vol. 7;.
8. Naganandhini, K.; Sowmya, B.; Pavish, S.; Nitesh, J.; Karthika, R.; Prabhu, E. Hand Tracking Based Human-Computer Interaction Teaching System. In Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques, ICICT 2022; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022.
9. Suryaperdana Agoes, A. *Applying Hand Gesture Recognition for User Guide Application Using MediaPipe*; 2021;
10. Hand Landmarks Detection Guide | MediaPipe | Google for Developers Available online: https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker (accessed on 2 December 2023).
11. Sreenath, S.; Daniels, D.I.; Ganesh, A.S.D.; Kuruganti, Y.S.; Chittawadigi, R.G. Monocular Tracking of Human Hand on a Smart Phone Camera Using MediaPipe and Its Application in Robotics. In Proceedings of the IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, R10-HTC; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021; Vol. 2021-September.
12. Chakradhar, K.S.; Rejithala Lakshmi, P.; Sree Rama Brunda, salla chowdary; Pola, B.; Petlu, B. Controlling Media Player Using Hand Gestures. *Electrical and Automation Engineering* **2023**, *2*, 45–54, doi:10.46632/eae/2/1/7.
13. Güney, G.; Jansen, T.S.; Dill, S.; Schulz, J.B.; Dafotakis, M.; Hoog Antink, C.; Braczynski, A.K. Video-Based Hand Movement Analysis of Parkinson Patients before and after Medication Using High-Frame-Rate Videos and MediaPipe. *Sensors (Basel)* **2022**, *22*, doi:10.3390/s22207992.
14. Ghanbari, S.; Ashtyani, Z.P.; Masouleh, M.T. User Identification Based on Hand Geometrical Biometrics Using Media-Pipe. In Proceedings of the 2022 30th International Conference on Electrical Engineering, ICEE 2022; Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022; pp. 373–378.
15. Persad, L.A.B. Energy Drinks and the Neurophysiological Impact of Caffeine. *Front Neurosci* **2011**, doi:10.3389/FNINS.2011.00116/FULL.
16. Visão | 19 Efeitos Secundários Do Excesso de Cafeína Available online: <https://visao.pt/atualidade/2014-12-07-19-efeitos-secundarios-do-excesso-de-cafeinaf803349/> (accessed on 20 December 2023).