

VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE NO USO DE WEARABLES PARA PREVENÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO CAUSADOS POR FADIGA

VERIFICATION OF FEASIBILITY IN THE USE OF WEARABLES TO PREVENT TRAFFIC ACCIDENTS CAUSED BY FATIGUE

Vinicius Oliveira Malentaqui*
Vitor Modena Americo**
Julyette Priscila Redling***

RESUMO

A saúde do motorista desempenha um papel fundamental na prevenção de acidentes de trânsito, influenciando diretamente a segurança da sociedade nos dias de hoje. O cansaço excessivo pode comprometer seriamente as capacidades cognitivas e físicas do motorista, aumentando substancialmente o risco de acidentes através de uma série de efeitos negativos causados. Com o avanço da tecnologia, diversos aparelhos e softwares de detecção foram criados com o intuito de oferecer uma solução indireta ao problema, de modo a “alertar” o indivíduo e fazê-lo se recompor e manter o foco ao volante. Este trabalho foi desenvolvido inicialmente com a pretensão de se utilizar dispositivos Wearables como Smartwatches & Smartbands com o objetivo de testar a viabilidade de serem utilizados para a prevenção de acidentes através de sensores presentes nos dispositivos. Porém, através de testes realizados ao decorrer do projeto, foi notado que o tempo de detecção e resposta para alertar o condutor não teria viabilidade em uma situação real. Em contrapartida, uma solução encontrada para contornar esta falha, referente ao tempo de detecção, seria a utilização de um dispositivo externo, neste caso, uma câmera. Para o projeto, foi realizada a aplicação de um software envolvendo programação e integrações específicas, utilizando a biblioteca de software multiplataforma “Dlib” em conjunto com o modelo "shape_predictor_68_face_landmarks.dat". Criando um sensor de fadiga que é capaz de detectar o formato do rosto, ou mais especificamente, o fechar dos olhos como um sinal de exaustão, que em seguida emitirá um alto som de alerta para chamar a atenção do usuário, trazendo assim uma alternativa em tempo real.

Palavras-chave: Acidentes. Trânsito. Fadiga. Detecção. Viabilidade.

ABSTRACT

The health of the driver plays a fundamental role in preventing traffic accidents, directly influencing society's safety today. Excessive fatigue can seriously compromise the driver's cognitive and physical abilities, substantially increasing the risk of accidents through a series of negative effects. With the advancement of technology, various devices and detection software have been created with the aim of providing an indirect solution to the problem, "alerting" the individual and prompting them to recompose themselves and stay focused while driving. This work was initially developed with the intention of

* Faculdade de Tecnologia, Ciência e Educação (FATECE). vmalentaqui@hotmail.com

** Faculdade de Tecnologia, Ciência e Educação (FATECE). vitormodena123@gmail.com

*** Faculdade de Tecnologia, Ciência e Educação (FATECE). julyetteredling@fatece.edu.br

using Wearable devices such as Smartwatches & Smartbands to test the feasibility of preventing accidents through sensors present in these devices. However, through tests conducted during the project, it was noticed that the detection and response time to alert the driver would not be viable in a real situation. On the other hand, a solution found to overcome this detection time issue was the use of an external device, in this case, a camera. For the project, a software application involving specific programming and integrations was implemented, using the cross-platform software library "Dlib" in conjunction with the model "shape_predictor_68_face_landmarks.dat". A fatigue sensor was created capable of detecting the face shape, or more specifically, the closing of the eyes as a sign of exhaustion. This sensor would then emit a loud warning sound to draw the user's attention, providing a viable real-time alternative.

Keywords: Accidents. Traffic. Fatigue. Detection. Feasibility.

Introdução

Os acidentes de trânsito causados pela falta de sono e fadiga no volante representam uma séria ameaça à segurança nas estradas em todo o mundo. A privação de sono crônica ou a simples falta de uma boa noite de descanso podem resultar em um estado mental prejudicado, reflexos mais lentos e falta de atenção, tornando os condutores propensos a erros de julgamento e reações mais lentas. Essa combinação de fatores perigosos leva frequentemente a acidentes marcados por colisões graves, que podem, em muitos casos, resultar em ferimentos graves ou até mesmo perdas de vidas.

Reconhecendo o problema, é preciso considerar a possível ocorrência da situação em algo que deve ser levado muito a sério através da reflexão própria, logo, é fundamental que os motoristas tenham em mente a importância do sono adequado, além de evitar dirigir em qualquer estado de cansaço, para garantir a segurança de todos nas estradas.

O trânsito desempenha um papel fundamental na vida moderna, proporcionando mobilidade e conectividade, porém, ao mesmo tempo, apresenta sérios desafios no qual é preciso se enfrentar no cotidiano, afinal, cada pessoa é responsável pelo seu veículo e por manter as suas faculdades mentais em bom estado.

Neste contexto, que diz respeito à vida moderna, os acidentes de trânsito representam uma preocupação crítica, frequentemente associados a fatores resultantes, e no caso deste trabalho, a fadiga ao volante.

Para entender de forma simplificada o processo de desequilíbrio interno relacionado ao sono, o tema é articulado em quatro estágios conhecidos como o modelo de quatro fases: alerta, resistência, quase exaustão e exaustão. Em cada uma destas fases, o corpo das pessoas passam a reagir de formas diferentes, aumentando gradativamente o

esforço para se manter são, e isso envolve a tentativa de restaurar o equilíbrio mental que por consequência acaba consumindo muita energia, afinal, quem nunca passou por uma situação em que pensamentos do tipo: **“Eu não posso cair no sono!”**, **“Vou conseguir ficar acordado?”**, **“Preciso terminar isso antes de dormir.”**, **“Só vou fechar os olhos por alguns segundos”**, etc. Tudo isso reflete o conflito interno do indivíduo, no qual existe uma luta constante entre as vontades pessoais e a capacidade do corpo.

Diante do exposto anteriormente, o ocorrido acaba podendo levar a problemas de memória quando a demanda excede a capacidade do corpo. Caracterizando a ineficácia do sistema de defesa em recuperar o equilíbrio emocional, resultando em oscilações entre clareza mental e aflição física/emocional. O surgimento rápido de diversas enfermidades. E quando se escala a níveis muito altos, levando a perda completa da resistência, manifestando-se em sintomas como depressão e exaustão física, podendo levar a doenças potencialmente fatais.

Em contrapartida, quando se é analisado o cenário reverso, onde o indivíduo mantém seus horários de sono em dia, todos os problemas descritos anteriormente podem ser evitados pelo puro respeito ao horário natural de descanso de qualquer ser humano.

Desta forma, isto pode ser representado por cada uma das fases do sono, quando o sujeito está entrando naquele período natural inconsciente. Durante a noite passamos por 4 etapas, a fase NREM (Estágio 1, Estágio 2 e Estágio 3) e REM: Movimento rápido dos olhos (do inglês: rapid eye movement). Nos estágios NREM, ocorre a transição do estado de vigília para o sono profundo, caracterizado por uma diminuição progressiva da atividade cerebral. O Estágio 1 é leve, o Estágio 2 é um sono mais consolidado, enquanto o Estágio 3 é o sono profundo, associado à regeneração física. A fase REM é marcada por atividade cerebral intensa, movimentos rápidos dos olhos e sonhos vívidos, representando uma parte significativa do ciclo de sono.

Mas agora, partindo para o tema de dispositivos, a capacidade de monitorar o ritmo cardíaco em tempo real por meio de tecnologia não invasiva pode fornecer dados valiosos sobre a fadiga do motorista, possibilitando alertas oportunamente. Além disso, ao utilizar tecnologias avançadas e de fácil acesso, esta pesquisa tem o potencial de impactar positivamente a segurança viária e a qualidade de vida das pessoas, considerando os aspectos das fases do sono e das fases de exaustão.

Os smartwatches e smartbands equipados com a tecnologia de fotopletismografia são os padrões no mercado, se tornaram uma parte integrante da vida moderna. Eles têm

a capacidade de coletar dados fisiológicos em tempo real, abrindo caminho para aplicações na prevenção de acidentes de trânsito ou no pós acidente.

A fotopletismografia é o uso da luz para medir o fluxo sanguíneo; de acordo com a quantidade de sangue presente nos vasos, a luz também é refletida de formas diferentes, fornecendo os dados necessários para o cálculo dos batimentos por minuto.

Através de todo o contexto descrito, a problemática inicial que norteia este estudo é a seguinte: **"É viável a utilização de dispositivos wearables, como smartwatches equipados com fotopletismografia, para a prevenção de acidentes de trânsito causados por fadiga ao volante?"** Esta questão centraliza nosso estudo, dado que a fadiga ao volante é um fator de risco significativo, como mostrado através das consequências que refletem no ser humano e sua saúde mental. Logo, métodos eficazes para sua detecção são de extrema importância.

Posto isso, no decorrer do trabalho, e a partir do problema de pesquisa descrito anteriormente, serão apresentados os detalhes teóricos e técnicos dos aparelhos wearables presentes no mercado atual que possuem a tecnologia necessária para a análise de viabilidade no processo de desenvolvimento do projeto. Os objetivos desta pesquisa percorrem da seguinte forma: revisar o contexto do problema e a correlação com aparelhos sensoriais; verificar os dispositivos tecnológicos e suas capacidades; compreender se há uma possível solução por métodos alternativos; e avaliar a eficácia através dos resultados obtidos.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: Nesta seção foi apresentada a introdução e justificativa para o estudo, incluindo a relevância das fases do sono e das fases de exaustão. No Capítulo 1, será revisada a parte de revisão bibliográfica da literatura existente sobre o tema, explorando as conexões entre segurança viária, sono e fadiga. No Capítulo 2, será descrita a metodologia usada para monitorar as fases do sono e coletar dados relacionados à fadiga ao volante por meio de diversos dispositivos e suas funcionalidades. O Capítulo 3 descreve o script principal utilizado pelo algoritmo de detecção de fadiga. O Capítulo 4 apresentará os resultados e discussões dos testes feitos com o algoritmo utilizado. E o Capítulo 5 trará as considerações finais.

1 Revisão Bibliográfica

Com o progresso da tecnologia no decorrer das últimas décadas, a criação em massa de aparelhos sensoriais projetados para auxiliar o indivíduo no que diz respeito à

segurança se tornou bastante necessária. Esses mesmos dispositivos que respondem a estímulos (tanto físicos quanto químicos) do que está sendo monitorado, servem como forma de aprender e responder de acordo com a sua função programada, e por meio do sinal transmitido geram variáveis para fins de medição e monitoramento (Rylo, 2023).

O sistema de detecção de fadiga é uma tecnologia projetada para monitorar o comportamento do condutor e identificar quaisquer indícios de sonolência ou cansaço, emitindo alertas em tempo real com o objetivo de auxiliar o motorista a manter sua concentração (Tiemi, 2019). Atualmente, existe uma gama de sensores de fadiga disponíveis no mercado, variando de modelos mais simples a sistemas mais avançados, capazes de reconhecer até sete comportamentos potencialmente perigosos que podem contribuir para acidentes, incluindo: fadiga, distração, uso do celular, seguimento em uma distância insegura, fumar ao volante, não uso do cinto de segurança e mudanças de faixa sem o uso de sinalização.

Ao longo das últimas décadas, o software deixou de ser uma parte ínfima e de custo desprezível dos sistemas para se tornar parte determinante e dispendiosa. Hoje em dia, tudo o que você ‘toca’ tem software, seja no uso doméstico quanto nas organizações (Silva Filho, 2015, p. 1).

Um dispositivo de detecção de fadiga é uma tecnologia que tem a capacidade de monitorar o comportamento do motorista e identificar indícios de sonolência ou exaustão, emitindo imediatamente um aviso para auxiliar o condutor a manter sua concentração (Tiemi, 2019).

A partir do que foi coletado nos estudos, foi possível observar que os acidentes causados por fadiga geralmente acontecem em um estágio inicial do sono, um período de transição do acordado para o sono leve. Outro ponto está relacionado ao fato de que este tipo de acidente geralmente acontece com condutores jovens, o que se presume uma certa falta de experiência (Paranhos, 2019, p. 17).

Segundo Kannan (2009), através de um estudo realizado pelo Serviço de Urgência Médica da Comunidade de Madri (SUMMA 112) nos anos de 2006 e 2007, foi notado que os indivíduos envolvidos em acidentes de trânsito apresentam alterações de comportamentos que destacam doenças preocupantes, tais como: fadiga (ou falta de sono), epilepsia, quadros depressivos, hipertensão arterial e problemas respiratórios como a asma. Vale ressaltar que também alguns desses sintomas foram manifestados pelo abuso de álcool e drogas.

O elevado volume de acidentes representa um problema em escala global para a saúde pública, acarretando implicações tanto de ordem social como econômica. Os desfechos dessa situação incluem uma significativa incidência de ferimentos e fatalidades, despesas substanciais, sobretudo nos sistemas de saúde, e um impacto considerável no cenário econômico (Presa, 2010; Carvalho, 2020).

As consequências do tráfego constantemente congestionado, principalmente das grandes cidades, vão muito além das despesas médicas e previdenciárias. Não se pode ignorar o desgaste físico (fadiga, sonolência) e psíquico (ansiedade, irritação, frustração, agressividade) que atinge os condutores (Teixeira, 2022, p. 86).

Logo, é possível notar o quão árduo pode chegar a ser o cotidiano de pessoas que se deslocam com frequência de suas casas e precisam ter um psicológico bom para manter o equilíbrio emocional ao mesmo tempo que trabalham em um ambiente que é caracterizado por ser altamente inconsistente, como é o tráfego. Quando a tarefa de dirigir coloca uma carga significativa sobre o motorista ou se torna extremamente cansativa, o estresse pode se manifestar a nível psicológico, resultando em sintomas como ansiedade, emoções negativas, dificuldades de concentração, distração, aumento dos batimentos cardíacos e elevação da pressão arterial (Teixeira, 2022).

Para Lipp (2003), o processo que estimula este desequilíbrio interno é articulado através de quatro estágios, comumente referidos como o modelo de quatro fases: fase de alerta, resistência, quase exaustão e, por fim, exaustão.

Na **fase de alerta**, o corpo humano é estimulado a gerar uma maior potência e vigor para lidar com uma situação que requer um esforço acrescido no momento. O mecanismo de autorregulação inicia-se com a identificação da ameaça, o que rompe com o estado de equilíbrio interno, impulsionando um esforço direcionado a enfrentar a circunstância, em vez de restaurar a harmonia interna.

No segundo estágio, chamada **fase de resistência**, ocorre a tentativa de restaurar o equilíbrio, o que consome uma quantidade substancial de energia. Portanto, quando a demanda de energia excede a capacidade do corpo de enfrentar a situação atual, isso pode resultar em problemas de memória. Em outras palavras, quanto mais o indivíduo se esforça para se adaptar, maior será o desgaste do organismo.

De acordo com a autora, a perda de memória na fase de resistência é um sinal de que a pessoa ultrapassou seu limite para lidar com a situação. Limongi-França e Rodrigues (2005) sugerem que nesta etapa, o estresse persiste e se manifesta através do aumento das atividades da glândula supra renal, lesões no trato digestivo, irritabilidade,

insônia, variações de humor, redução do desejo sexual e atrofia de estruturas relacionadas à produção de células sanguíneas."

O terceiro estado, ou também, a **fase de quase-exaustão**. Essa condição se caracteriza pela ineficácia do sistema de defesa do corpo em recuperar o equilíbrio emocional. De acordo com a autora, quando os fatores estressantes persistem, a pessoa entra na fase de quase-exaustão, oscilando entre períodos em que é capaz de pensar com clareza, embora com grande esforço, e momentos de intensa aflição física e emocional. Nesse estágio, a pessoa se torna incapaz de restabelecer a estabilidade interna, alternando entre momentos de bem-estar e serenidade e períodos de desconforto, exaustão e ansiedade. É nessa fase que começam a surgir diversas enfermidades.

E por fim temos o quarto e último estágio, conhecido como a **fase de exaustão**. Nesta etapa, ocorre a perda completa da resistência do organismo e se manifestam sintomas como depressão e exaustão física. É durante essa fase de estresse que, em maior medida, sintomas semelhantes aos da fase de alerta reaparecem. Por exemplo, a exaustão física se reflete no surgimento de doenças potencialmente fatais, enquanto a exaustão psicológica se manifesta na forma de depressão (Lipp, 2003).

É muito importante entender como funcionam as fases de sono:

Cerca de cinco minutos depois de você adormecer, sua frequência cardíaca diminui gradualmente até a frequência de repouso à medida que você entra no que é conhecido como sono leve. A temperatura corporal cai e os músculos relaxam. As pessoas normalmente passam cerca de metade da noite em sono leve. Mas durante a fase seguinte, o sono profundo, a pressão arterial cai e a frequência cardíaca diminui para cerca de 20% a 30% abaixo da frequência cardíaca em repouso (CORLISS, 2021).

Outro fator de extrema importância para esta pesquisa é o uso da técnica de fotopletismografia, conhecida como photoplethysmography (PPG) em inglês, é um método não invasivo que utiliza sensores ópticos para identificar mudanças no volume sanguíneo. Essas alterações estão associadas ao pulso de pressão e são detectadas pela iluminação da superfície da pele por meio de um diodo emissor de luz (LED). Posteriormente, mede-se a quantidade de luz transmitida ou refletida pelo fotodiodo (Rylo, 2023).

O sinal da fotopletismografia é uma forma de onda que apresenta as variações da radiação óptica. As variações de alta frequência, a parte 'AC', são causadas por mudanças no volume de sangue arterial a cada batimento cardíaco e variações de frequência mais baixas, a parte 'DC', são causadas por mudanças em outros componentes do tecido, como sangue venoso e capilar, tecidos em sangue etc. (Rylo, 2023, p. 23).

Os métodos mais precisos para detectar fadiga são aqueles que interferem mais diretamente, monitorando os batimentos cardíacos e as ondas cerebrais do motorista, mas, por outro lado, são os menos avançados devido à sua natureza desconfortável. Embora não alcancem a mesma precisão dos métodos intrusivos, os projetos que se concentram na monitorização das características dos olhos e expressão facial são mais aceitáveis (Silva, 2020).

2 Materiais e Métodos

Nesta seção serão apresentados os programas e recursos que foram utilizados para realizar esta pesquisa, assim, comparando os testes com a parte teórica para obter os dados necessários e chegar a um resultado satisfatório para o projeto.

Quanto ao material eletrônico usado, o presente estudo explorou o potencial de dispositivos Wearables, incluindo Smartwatches e Smartbands, com ênfase nos modelos:

→ Apple Watch (Smart Watch da Apple):

Este dispositivo foi selecionado devido à sua extensa gama de sensores de saúde, incluindo PPG (Photoplethysmography) e ECG (Eletrocardiografia). O sensor PPG é capaz de medir o volume arterial, enquanto o sensor ECG proporciona a medição da atividade elétrica do coração, oferecendo uma avaliação abrangente da saúde cardiovascular (APPLE, 2023)

→ Galaxy Watch (Smart Watch da Samsung):

O Galaxy Watch foi escolhido pela presença de funcionalidades avançadas de monitoramento de saúde, incluindo sensores PPG e ECG. Estes sensores permitem avaliações precisas do fluxo sanguíneo periférico e da atividade elétrica do coração (SAMSUNG, 2023)

→ Redmi Smart Band Pro (Smart Band da Xiaomi/Redmi):

A inclusão da Redmi Smart Band Pro visou avaliar as capacidades de uma Smart Band mais acessível, com foco especial no sensor PPG. Esse sensor é fundamental para capturar informações sobre a variação do fluxo sanguíneo periférico, contribuindo para a identificação de indicadores de fadiga (XIAOMI BRASIL, 2023)

→ **Smart Watch Genérico:**

Um Smart Watch genérico também foi incluído nos testes, proporcionando uma avaliação da viabilidade de dispositivos mais amplos disponíveis no mercado, foi utilizado o modelo Zeblaze Btalk Lite (ZEBLAZE, 2023)

→ **Sensores PPG e ECG:**

● **PPG Photoplethysmography:**

O sensor PPG, presente nos dispositivos, foi utilizado para medir o volume arterial. Essa tecnologia óptica é essencial para capturar informações sobre a variação do fluxo sanguíneo periférico, desempenhando um papel crucial na detecção de possíveis indicadores de fadiga (Barbosa, 2022).

● **ECG (Eletrocardiografia):**

Os dispositivos selecionados contêm o sensor ECG, possibilitando a medição da atividade elétrica do coração. Essa medição contribui para uma avaliação mais abrangente do estado cardiovascular do motorista, enriquecendo a análise de fadiga (Barbosa, 2022).

→ **Integração de Sensores no Projeto**

A integração cuidadosa desses sensores no projeto envolveu uma análise detalhada das leituras obtidas pelos dispositivos Wearables. Essas informações foram incorporadas à lógica do software, junto com os dados provenientes da câmera externa, permitindo uma avaliação mais holística do estado físico do condutor.

→ **Câmera Externa e Sensor de Fadiga**

Além dos sensores Wearables, uma câmera externa foi introduzida para abordar limitações de detecção identificadas durante o projeto. A detecção facial, utilizando a biblioteca "Dlib" e o modelo "shape_predictor_68_face_landmarks.dat", permitiu a criação de um sensor de fadiga capaz de analisar padrões faciais, incluindo o fechamento dos olhos.

→ **Fases do Sono na Análise de Fadiga (INSTITUTO DO SONO, 2021)**

Para entender completamente a questão da fadiga ao volante, é essencial considerar as fases do sono quando se é respeitado o período natural de descanso. Durante a noite, passamos por quatro etapas:

- **Fase NREM (Estágio 1, Estágio 2 e Estágio 3):** Essas fases representam o sono não REM, caracterizado por um declínio gradual na atividade cerebral.
- **REM (Movimento Rápido dos Olhos):** Esta fase é marcada por atividade cerebral intensa e movimentos rápidos dos olhos. Juntas, essas fases compõem um

ciclo de sono típico, e a falta de sono adequado pode resultar em exaustão, afetando negativamente a capacidade do motorista de permanecer alerta ao volante.

Tabela 1 - Estágios do Sono

	Estágio do Sono	Duração
Acordado	Estágio 0	16-18 horas por dia
Sono NREM	Sono Leve — Estágio 1 — Estágio 2 Sono Profundo — Estágio 3	4-7 horas por noite
Sono REM	Estágio R	1h-1h30 por noite

Fonte: VIGILANTES DO SONO (2020)

→ **Desenvolvimento do Software**

O software utilizado para a realização dos testes neste projeto, denominado "Detector de Fadiga", faz uso de técnicas avançadas de Visão Computacional e Machine Learning para detectar sinais de fadiga, como o fechamento prolongado dos olhos, em um fluxo de vídeo captado em tempo real.

→ **Detalhes do Projeto**

O programa monitora o estado dos olhos em tempo real, utilizando o detector de rostos e os marcos faciais do dlib. O processo envolve a captação do fluxo de vídeo da webcam, detecção de rosto, identificação dos marcos faciais (especificamente, os olhos), cálculo da Relação de Aspecto dos Olhos (EAR), e verificação se a EAR está abaixo de um limiar durante um número específico de quadros consecutivos. Caso as definições pré-estabelecidas pelo algoritmo sejam atendidas, um alarme sonoro é disparado para alertar o usuário. Vale mencionar que o arquivo em conjunto "shape_predictor_68_face_landmarks.dat" é utilizado pelo detector de marcos faciais do dlib.

→ **Estrutura do Projeto**

A estrutura do projeto é organizada nos seguintes arquivos:

- **alarm.wav**: som que será tocado como alarme quando o programa atingir um valor abaixo do que foi definido na linha de código “LIMIAR_EAR” do algoritmo.
- **main.py**: o arquivo principal contendo o script feito em linguagem Python, contém a lógica completa do detector facial.
- **requirements.txt**: documento que relata todas as bibliotecas necessárias e suas respectivas versões que devem ser baixadas para o funcionamento do script “main.py”.
- **shape_predictor_68_face_landmarks.dat**: arquivo de dados usado pelo detector de marcos faciais do dlib.

→ Pré-requisitos

Para executar este projeto, é necessário ter o Python instalado no sistema (versão 3.8.5 utilizada). As dependências do projeto estão listadas no arquivo requirements.txt e são elas:

- **Cycler==0.11.0**: Biblioteca que fornece funcionalidades relacionadas a ciclos, útil em contextos gráficos e de visualização.
- **Dlib==19.24.2**: Dlib é uma biblioteca de aprendizado de máquina que fornece ferramentas para detecção facial, sendo usada neste projeto para a detecção de marcos faciais.
- **Imutils==0.5.3**: Fornece várias funções utilitárias para simplificar operações comuns de manipulação de imagens.
- **Kiwisolver==1.4.4**: Uma biblioteca para resolver problemas de otimização com restrições, geralmente usada para resolver problemas relacionados a gráficos.
- **Matplotlib==3.3.0**: Uma biblioteca de visualização que permite a criação de gráficos e visualizações de dados em Python.
- **Numpy==1.19.1**: Uma biblioteca fundamental para computação científica, fornecendo suporte para arrays e operações matemáticas avançadas.
- **Opencv-python==4.3.0.36**: OpenCV (Open Source Computer Vision) é uma biblioteca de visão computacional que fornece ferramentas para processamento de imagem e vídeo.
- **Pillow==9.5.0**: Uma biblioteca para manipulação de imagens que oferece suporte a várias operações de processamento de imagem.
- **Playsound==1.2.2**: Permite a reprodução de arquivos de som, utilizado neste projeto para tocar um alarme sonoro quando sinais de fadiga são detectados.

- **Pyparsing==3.0.9**: Biblioteca para análise sintática de expressões, muitas vezes usada em processamento de linguagem natural.
- **Python-dateutil==2.8.2**: Fornece funcionalidades úteis para trabalhar com datas e horários em Python.
- **Scipy==1.5.1**: Uma biblioteca científica que fornece ferramentas para otimização, álgebra linear, estatísticas, entre outras.
- **Six==1.16.0**: Uma biblioteca para fornecer funcionalidades compatíveis entre versões do Python 2 e 3.

OBS: é importante mencionar que todas as bibliotecas podem ser instaladas simultaneamente com o seguinte comando: **pip install -r requirements.txt** através do console do Visual Studio, ou pelo próprio terminal cmd do computador.

Execução do Projeto

Ao iniciar o projeto, o comando **python main.py** pode ser utilizado via console/terminal para executar o script **main.py**. Para estabelecer suas funcionalidades é possível definir alguns parâmetros com antecedência, estes referentes ao alarme e à webcam e que estão presentes entre as linhas 40 e 43 do arquivo **main.py**, que são:

- **-a ou --alarme**: define se o programa irá ou não tocar um alarme sonoro quando atingir o valor mínimo abaixo do LIMIAR_EAR. Caso seja definido como `default='1'`, o alarme será tocado; caso definido como `default='0'` não haverá som, apenas a demonstração visual. OBS: um outro detalhe importante a se destacar se trata do valor usado na variável QTD_CONSEC_FRAMES, pois define o tempo de disparo do alarme, estabelecendo a taxa de frames mínima que começa a contar a partir do momento em que o LIMIAR_EAR é alcançado.
- **-w ou --webcam**: define qual webcam será usada para o fluxo de vídeo ao iniciar o projeto, por exemplo, se houverem três câmeras presentes (sendo uma do próprio computador, e as outras duas externas), o `default=0` será a câmera do próprio PC enquanto as outras serão numeradas conforme a ordem foi estabelecida pelo sistema.

Existe também a possibilidade de execução do comando através do terminal de uma forma mais curta que não precisa ser pré-estabelecida pelo código, e pode ser feita pelo comando **python main.py -a 1 -w 0**. Este comando iniciará o detector de fadiga com o alarme sonoro ligado e usará a webcam de índice 0 para a captação do fluxo de vídeo.

3 Detector de Fadiga

Dito isso, o código principal (PAULA, 2023) utilizado para os testes feitos por câmera referente ao arquivo **main.py**, com o intuito de detectar a eficácia através da sensibilidade:

```
# Importando os pacotes necessários
from scipy.spatial import distance as dist
from imutils.video import VideoStream
from imutils import face_utils
from threading import Thread
import numpy as np
import playsound
import argparse
import imutils
import time
import dlib
import cv2
import matplotlib.pyplot as plt

# Função para tocar um alarme
def tocar_alarme(caminho):
    # Toca um som de alarme
    playsound.playsound(caminho)

# Função para calcular a relação de aspecto dos olhos (EAR)
def calcular_ear(olho):
    # Calcula as distâncias euclidianas entre os dois conjuntos de
    # marcos oculares verticais (coordenadas x, y)
    A = dist.euclidean(olho[1], olho[5])
    B = dist.euclidean(olho[2], olho[4])

    # Calcula a distância euclidiana entre os marcos oculares horizontais
    # (coordenadas x, y)
    C = dist.euclidean(olho[0], olho[3])

    # Calcula o EAR
    ear = (A + B) / (2.0 * C)

    # Retorna o EAR
    return ear

# Constrói o parser dos argumentos
ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-a", "--alarme", type=int, default="1",
                help="Usar alarme sonoro?")
ap.add_argument("-w", "--webcam", type=int, default=0,
```

```
help="índice da webcam no sistema")
args = vars(ap.parse_args())

# Define duas constantes, uma para o EAR que indica
# um piscar de olhos e uma segunda constante para o número de quadros consecutivos
# que o olho deve estar abaixo do limiar para disparar o alarme
LIMIAR_EAR = 0.25
QTD_CONSEC_FRAMES = 20

# Inicializa o contador de quadros e uma variável booleana para
# indicar se o alarme está tocando
CONTADOR = 0
ALARME_ON = False

# Inicializa o detector de rosto do dlib (baseado em HOG) e cria
# o preditor de marcos faciais
print("[INFO] Carregando preditor de marcos faciais...")
detector = dlib.get_frontal_face_detector()
preditor = dlib.shape_predictor("shape_predictor_68_face_landmarks.dat")

# Pega os índices dos marcos faciais para o olho esquerdo e
# direito, respectivamente
(inicio_esq, fim_esq) = face_utils.FACIAL_LANDMARKS_IDXS["left_eye"]
(inicio_dir, fim_dir) = face_utils.FACIAL_LANDMARKS_IDXS["right_eye"]

# Inicia a thread de fluxo de vídeo
print("[INFO] Iniciando thread de fluxo de vídeo...")
vs = VideoStream(src=args["webcam"]).start()
time.sleep(1.0)

# Desenha a figura para que as animações funcionem
y = [None] * 100
x = np.arange(0,100)
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111)
li, = ax.plot(x, y)
plt.xlim([0, 100])
plt.ylim([0, 0.4])

# Faz loop nos quadros do fluxo de vídeo
while True:
    # Pega o quadro do fluxo de vídeo em arquivo, redimensiona
    # e converte para escala de cinza
    frame = vs.read()
    frame = imutils.resize(frame, width=700)
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Detecta rostos no quadro em escala de cinza
    rects = detector(gray, 0)
```

```
# Faz loop nas detecções de rosto
for rect in rects:
    # Determina os marcos faciais para a região do rosto, depois
    # converte os marcos faciais (coordenadas x, y) para um array NumPy
    shape = preditor(gray, rect)
    shape = face_utils.shape_to_np(shape)

    # Extrai as coordenadas do olho esquerdo e direito, depois usa as
    # coordenadas para calcular o EAR para ambos os olhos
    olho_esq = shape[inicio_esq:fim_esq]
    olho_dir = shape[inicio_dir:fim_dir]
    ear_esq = calcular_ear(olho_esq)
    ear_dir = calcular_ear(olho_dir)

    # Calcula a média do EAR para ambos os olhos
    ear = (ear_esq + ear_dir) / 2.0

    # Calcula o casco convexo para o olho esquerdo e direito, depois
    # visualiza cada um dos olhos
    casco_olho_esq = cv2.convexHull(olho_esq)
    casco_olho_dir = cv2.convexHull(olho_dir)
    cv2.drawContours(frame, [casco_olho_esq], -1, (0, 255, 0), 1)
    cv2.drawContours(frame, [casco_olho_dir], -1, (0, 255, 0), 1)

    # remove o primeiro elemento e adiciona o ear calculado
    y.pop(0)
    y.append(ear)

    # Atualiza o canvas imediatamente
    li.set_ydata(y)
    fig.canvas.draw()
    plt.pause(0.01)

    # Verifica se o EAR está abaixo do limiar de piscar de olhos,
    # e se estiver, incrementa o contador de quadros de piscar
    if ear < LIMIAR_EAR:
        CONTADOR += 1

    # se os olhos estavam fechados por um número suficiente de
    # quadros, então soa o alarme
    if CONTADOR >= QTD_CONSEC_FRAMES:
        # se o alarme não está ligado, ligue-o
        if not ALARME_ON:
            ALARME_ON = True

        # verifica se um arquivo de alarme foi fornecido,
        # e se sim, inicia uma thread para ter o som do alarme
        # tocado em segundo plano
        if args["alarme"] != 0:
            t = Thread(target=tocar_alarme,
```

```
        args=("alarm.mp3",))
    t.daemon = True
    t.start()

    # desenha um alarme no quadro
    cv2.putText(frame, "[ALERTA] SONOLÊNCIA!", (10, 30),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

    # caso contrário, o EAR não está abaixo do limiar, então
    # reinicie o contador e o alarme
    else:
        CONTADOR = 0
        ALARME_ON = False

    # Desenha o valor do EAR no quadro
    cv2.putText(frame, "EAR: {:.2f}".format(ear), (500, 30),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.7, (0, 0, 255), 2)

    # Mostra o quadro de saída
    cv2.imshow("Detector de Sonolência", frame)
    key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

    # Se a tecla 'q' for pressionada, encerra o loop
    if key == ord("q"):
        break

    # Limpa a janela e fecha todas as janelas abertas
    cv2.destroyAllWindows()
    vs.stop()
```

4 Resultados e Discussão

A eficácia da combinação de sensores foi avaliada por meio de testes simulados e reais, utilizando os dispositivos Redmi Smart Band Pro e um Smart Watch genérico. Esses testes abrangeram situações diversas de condução para verificar a sensibilidade e precisão dos sistemas de detecção. Algumas fotos do Smart Band:



Figuras 1 - Coleção de fotos do Redmi Smart Band Pro

Além disso, para assegurar uma verificação precisa dos dados fornecidos pelos sensores, foram utilizados dispositivos médicos de referência, incluindo um oxímetro e sensor de batimentos de dedo, comumente empregados em ambientes hospitalares. Esses dispositivos foram empregados como padrões para garantir a integridade e confiabilidade das leituras obtidas durante os testes, assegurando a precisão das informações relacionadas ao ritmo cardíaco e à oxigenação sanguínea.

Esse procedimento adicional de verificação foi implementado para assegurar que as leituras dos dispositivos Wearables estivessem alinhadas com medidas médicas convencionais, proporcionando uma base sólida para a análise e interpretação dos resultados relacionados à fadiga do motorista, também foi considerado uma margem de erro que podem ser influenciadas por diversos fatores, mas não se limitando a: Qualidade do Sensor, Condições Ambientais, Posição do Sensor no Corpo, Características Individuais do Usuário. A seguir algumas fotos do Smart Watch utilizado.

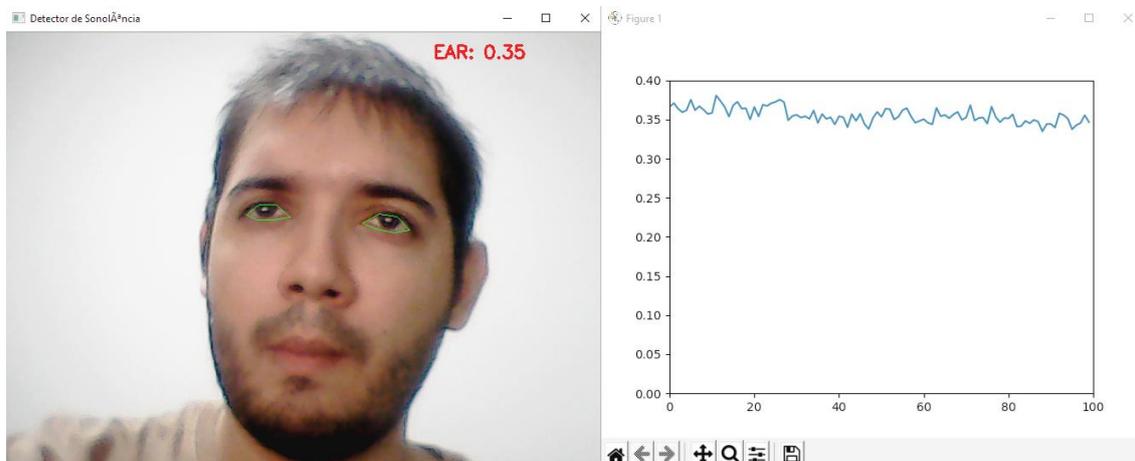


Figuras 2 - Coleção de fotos do Smart Watch genérico

E quanto ao algoritmo utilizado para os testes feitos por câmera, ele apresenta duas telas diferentes: uma delas sendo da câmera que irá captar em tempo real os movimentos faciais (ou mais precisamente dos olhos) com o medidor EAR e seu valor de sensibilidade de detecção no canto superior direito; e a outra tela que demonstrará o gráfico, traçando a frequência de detecção nos valores pré estabelecidos do LIMIAR_EAR.

No entanto, há algo muito importante a se acrescentar com relação ao valor pré estabelecido do EAR, pois o ajuste impactará diretamente na detecção e nos resultados. Dependendo da etnia do indivíduo, o valor pode variar para uma quantia em alguns casos maior, e em outros menor, justamente por conta do tamanho da abertura dos olhos. Por exemplo, no caso de pessoas asiáticas a abertura acaba sendo menor, portanto, é necessário reduzir o valor no algoritmo.

Neste primeiro caso, é possível observar o traçado verde discreto ao redor dos olhos, deixando um espaçamento suficiente para o algoritmo calcular que a pessoa ainda está acordada e que não é necessário soar o alarme.



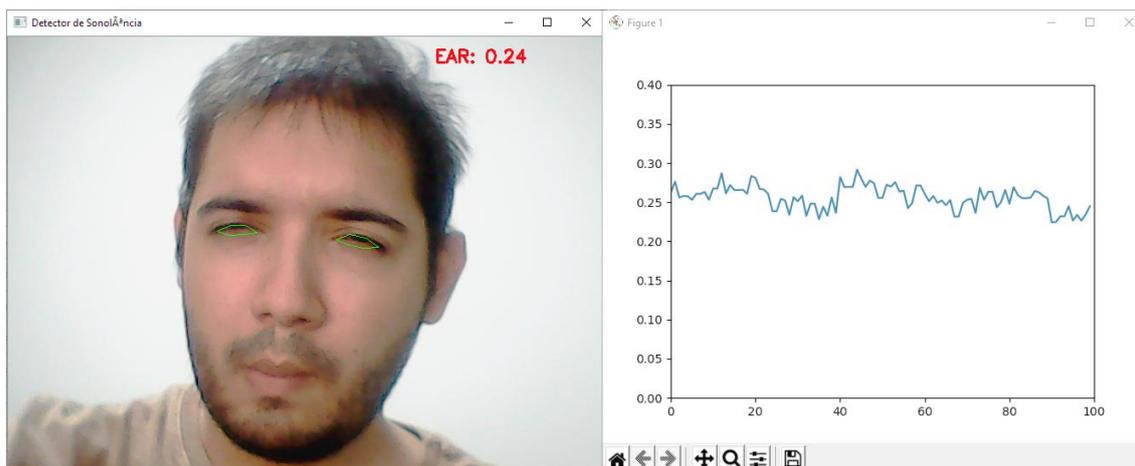
Figuras 3 - Estado acordado

Ao fechar apenas um olho é possível notar a queda no gráfico, alcançando uma taxa mais próxima do estado de sonolência como é mostrado na frequência e no medidor EAR parado em 0.29.



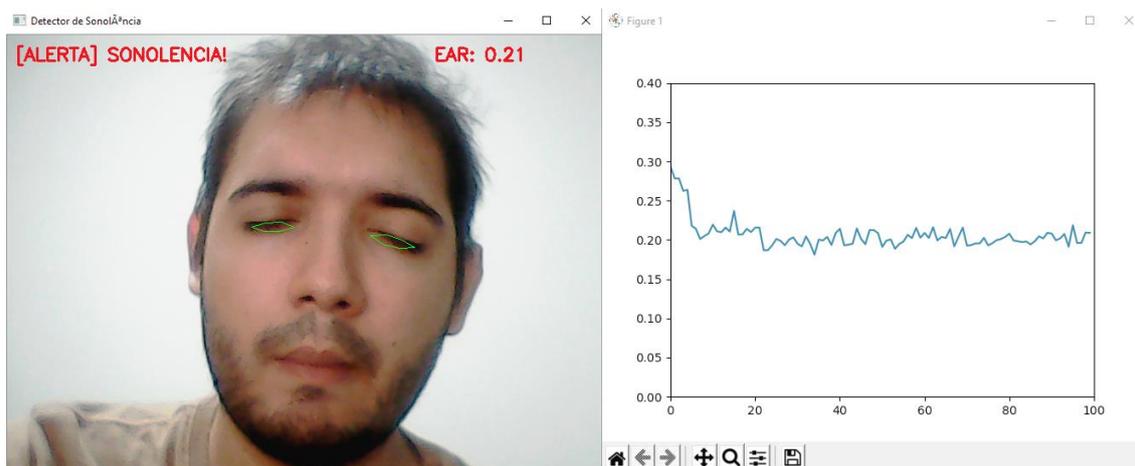
Figuras 4 - Meio acordado

Após duas representações do estado acordado, começamos os testes para detectar o quão baixo os níveis de frequência podem chegar. Neste primeiro teste, denominado “Sono leve” é notável que fechar os olhos levemente se torna suficiente para o gráfico partir de 0.27 e oscilar em torno de 0.25, uma variação que dependendo das configurações do desenvolvedor podem ser necessárias para soar o alarme.



Figuras 5 - Sono leve

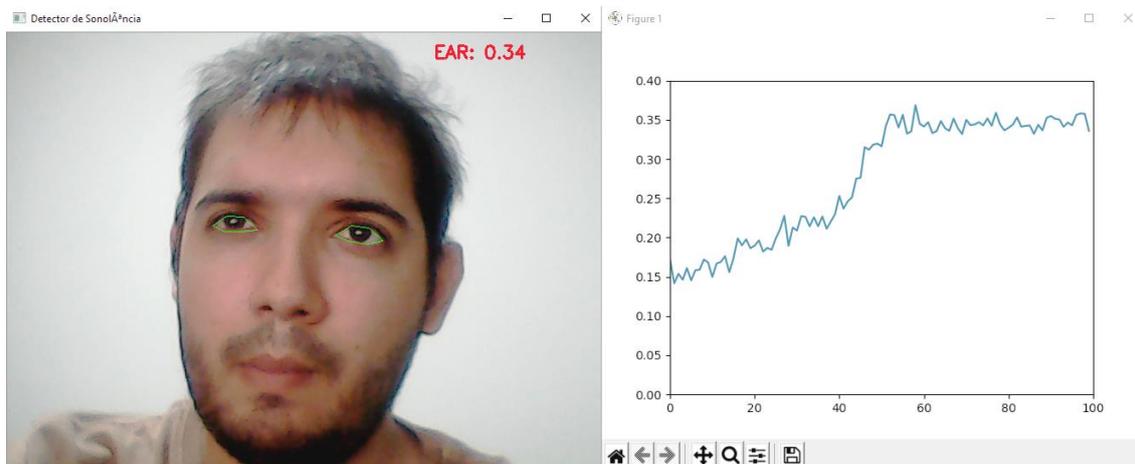
Agora, no teste denominado “Sono profundo”, decidimos que uma ação que causaria um impacto maior no nível de frequência seria fechar ainda mais os olhos (e caso necessário baixar um pouco a cabeça). É possível ver o destaque verde seguindo uma orientação mais fechada, porém a verdade é que o algoritmo pode ser um tanto inconsistente em alguns casos, afinal, os resultados dependerão muito da qualidade de imagem, do distanciamento da câmera até a pessoa, e do ângulo em que ela estará posicionada. E por isso, como é mostrado na imagem abaixo, o gráfico parte de quase 0.30 e acaba oscilando um pouco no final, praticamente chegando a alcançar 0.20, o bastante para soar o alarme representado pelo texto “[ALERTA] SONOLENCIA!” localizado no canto superior esquerdo da câmera em vermelho .



Figuras 6 - Sono profundo

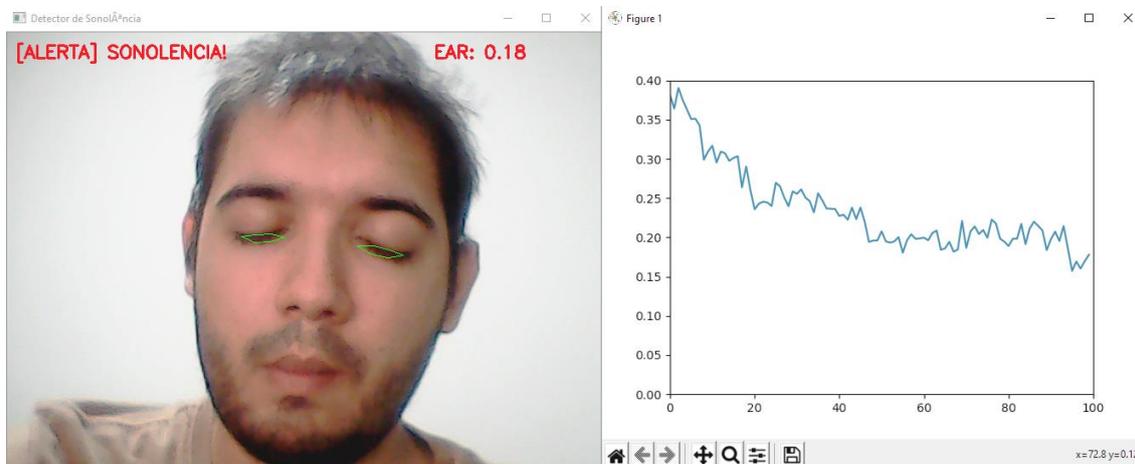
E nos últimos testes de tela dupla, achamos que seria interessante formar um padrão crescente e decrescente, mostrando a reação de detecção no gráfico. Abaixo, é

possível ver a frequência subindo rapidamente, partindo da ação de deixar os olhos bem fechados e abrir gradativamente.



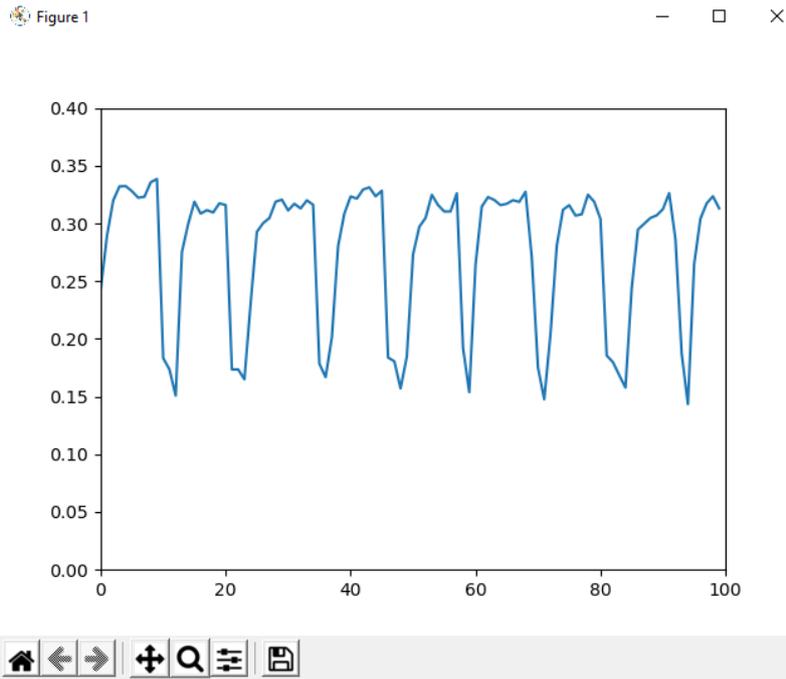
Figuras 7 - Acordando - gráfico crescente

Para a reação de decadência brusca, foi necessário deixar os olhos bem abertos e assim fechar o bastante para formar um padrão decrescente, que por consequência soar o alarme, como é representado novamente no canto esquerdo superior da câmera.

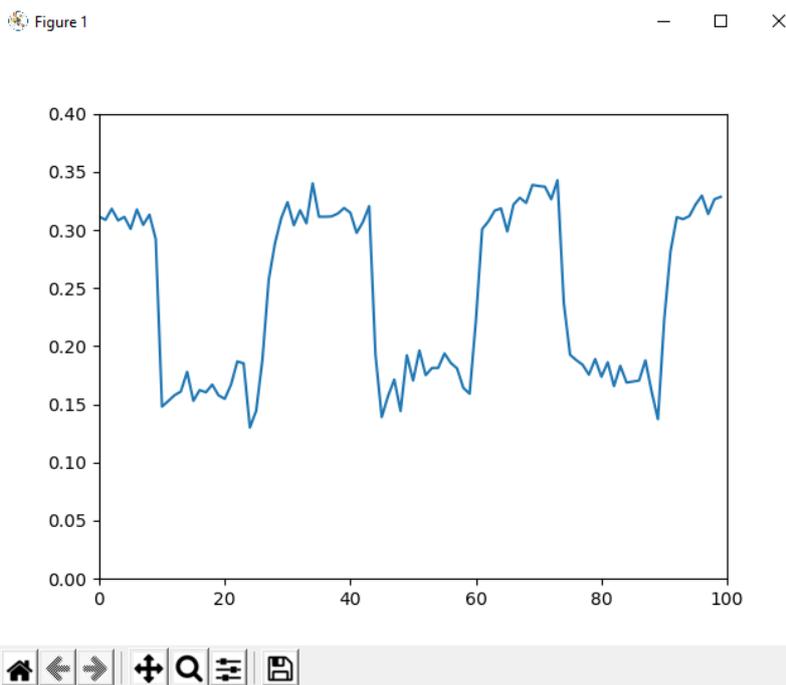


Figuras 8 - Caindo no sono - gráfico decrescente

Em seguida, apenas com o gráfico à mostra verificamos a sensibilidade do sensor através de breves piscadas. A velocidade de detecção dependerá muito das capacidades de processamento do computador utilizado, mas é possível notar que o detector é bem sensível a leves movimentos, como é mostrado a seguir por meio de piscadas rápidas e piscadas longas, respectivamente:



Figuras 9 - Piscadas rápidas - sensibilidade da detecção



Figuras 10 - Piscadas longas - sensibilidade da detecção

Para o registro das fotos foram utilizadas duas câmeras sendo uma delas improvisada e a outra mais moderna, como é mostrado abaixo, respectivamente:



Figuras 11 - Câmera 1



Figuras 12 - Câmera 2

E assim conclui-se a demonstração dos testes, vale mencionar que o algoritmo possui algumas inconsistências, por exemplo, o uso de óculos pode acabar causando leves oscilações no fluxo de detecção por conter reflexos ou também pela armação que pode interferir na captação do rosto. E em relação aos dispositivos, é preferível que os motoristas tenham consigo uma câmera adaptada com visão noturna ou tecnologia infravermelha, visto que a falta da tecnologia irá incapacitar o funcionamento do algoritmo em casos de escuridão extrema. Tirando estes dois empecilhos, é possível ter em mão uma ferramenta com grande potencial.

Considerações Finais

O presente estudo buscou desenvolver uma solução inovadora para a prevenção de acidentes de trânsito relacionados à fadiga do motorista, explorando a aplicação de dispositivos Wearables e técnicas avançadas de detecção de fadiga. Inicialmente, a abordagem foi centrada no uso de Smartwatches & Smartbands, com especial atenção aos modelos Apple Watch, Galaxy Watch e Redmi Smart Band Pro.

Durante os testes, ficou evidente que, embora os dispositivos Wearables ofereçam uma variedade de sensores, o tempo de detecção e resposta para alertar o condutor não seria viável em situações de tráfego real. No entanto, uma solução inovadora foi identificada: a integração de uma câmera externa, utilizando a biblioteca "Dlib" e o modelo "shape_predictor_68_face_landmarks.dat". Este ajuste permitiu a criação de um sensor de fadiga capaz de analisar padrões faciais, em particular o fechamento prolongado dos olhos, apresentando-se como uma alternativa eficaz em tempo real.

A diversidade de dispositivos testados, incluindo o Smart Watch genérico, ofereceu insights valiosos sobre a viabilidade prática da implementação. A escolha estratégica dos sensores PPG e ECG, presentes em dispositivos como o Apple Watch e o Galaxy Watch, proporcionou uma avaliação abrangente do estado físico e cardiovascular do motorista, contribuindo para a precisão das detecções.

Contudo, é crucial reconhecer as limitações inerentes ao estudo, como a dependência de condições ideais de iluminação para a câmera externa. Uma sugestão para contornar esse obstáculo seria a adoção de câmeras com visão infravermelha, capazes de operar em ambientes com iluminação variável, inclusive no escuro.

Além disso, é importante ressaltar que, embora os dispositivos Wearables não tenham demonstrado serem eficazes na prevenção direta de fadiga, eles desempenham

um papel significativo ao fornecer informações adicionais sobre a saúde do motorista. O monitoramento da qualidade do sono durante as pausas para descanso e a detecção de outros problemas de saúde durante o transporte podem ser pontos cruciais para promover o bem-estar global dos condutores.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos fornecem uma base sólida para futuras melhorias e aprimoramentos nesta área. A abordagem integrada, combinando sensores de Wearables e câmeras externas, destaca o potencial dessa solução na prevenção proativa de acidentes causados por fadiga, contribuindo para a segurança no trânsito.

Em um cenário mais amplo, este estudo oferece uma perspectiva inovadora sobre a aplicação de tecnologias emergentes para aprimorar a segurança rodoviária. À medida que a tecnologia continua a evoluir, a integração de dispositivos inteligentes e sistemas de detecção facial pode desempenhar um papel vital na redução de acidentes relacionados à fadiga, promovendo assim um ambiente de condução mais seguro e responsável.

Referência

APPLE. **Monitor your heart rate with Apple Watch.** Disponível em: <https://support.apple.com/en-us/HT204666>. Acesso em: 15 set. 2023

BARBOSA, D. A. do L. **Aquisição de sinais cardíacos, musculares e ambientais para a análise do sono.** Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/155749/1/Barbosa_2022.pdf. Acesso em: 18 set. 2023

CARVALHO, C. H. R. de. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do IPEA sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/arquivos/artigos/7018-td2565.pdf>. Acesso em: 17 set. 2023

CORLISS, J. **How does sleep affect your heart rate?** Disponível em: <https://www.health.harvard.edu/blog/how-does-sleep-affect-your-heart-rate-2021012921846>. Acesso em: 08 out. 2023

IEEE. **Real Time Fatigue Detection Using Shape Predictor 68 Face Landmarks Algorithm.** Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9744142>. Acesso em: 24 set. 2023

INSTITUTO DO SONO. **Fases de sono:** veja quais são e entenda a importância. Disponível em: <https://institutodosono.com/artigos-noticias/fases-de-sono-veja-quais-sao-e-entenda-a-importancia>. Acesso em: 02 out. 2023

KANNAN, A. *et al.* **Incidence of different health factors and their influence on traffic accidents in the province of Madrid, Spain.** Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19269877/>. Acesso em: 18 set. 2023

LIPP, M. E. N. **Mecanismos neuropsicofisiológicos do stress: teoria e aplicações clínicas.** São Paulo: Casa do Psicólogo, 2003.

PARANHOS, V. K. **Sistema de detecção de sonolência.** 2019. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019; Disponível em: <http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1709/1/PF2019Vinicius%20Kerber%20Paranhos.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023

PAULA, J. C. de. **Detector de Fadiga.** Disponível em: https://github.com/jcppaula/Detector_de_Fadiga. Acesso em: 23 out. 2023

PRESA, L. A. P. **A emoção raivosa em motoristas de automóvel, caminhão, motocicleta, ônibus e táxi.** 2010. 160 f. Tese (Doutorado em Psicologia) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59137/tde-12112013-161340/publico/LUIS_ALBERTO_PASSOS_PRESA_doutorado.pdf. Acesso em: 18 set. 2023

RYLO, M. N. **Reconhecimento de gestos de membros superiores utilizando sensores de movimento e fotopletismografia.** 2023. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/9571/5/DISS_MArcosRylo_PPGEE.pdf. Acesso em: 23 set. 2023

SAMSUNG. **Samsung Health Monitor.** Disponível em: <https://www.samsung.com/br/apps/samsung-health-monitor/>. Acesso em: 15 set. 2023

SILVA, M. V. F. da *et al.* **Sensor de fadiga: assistente virtual para direção.** Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/18287>. Acesso em: 22 set. 2023

SILVA FILHO, A. M. da S. Software Everywhere: sobre a demanda de software e da Engenharia de Software. **Espaço Acadêmico**, n. 72, p. 1-4, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/29122/15124>. Acesso em: 23 set. 2023

SOUKUPOVA, T.; CECH, J. **Real-time eye blink detection using facial landmarks.** 2016. Disponível em: <https://vision.fe.uni-lj.si/cvww2016/proceedings/papers/05.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023

TEIXEIRA, E. M. B. **Estresse e acidentes de trânsito: revisão sistemática e adaptação transcultural do questionário Driver Stress Inventory para o Brasil.** 2022. 272 f. Tese (Doutorado em Saúde Coletiva) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022. Disponível em: <https://pos.uel.br/saudecoletiva/wp->

content/uploads/2023/01/TESE_Erica-Mairene-Bocate-Teixeira-18-10-22-1.pdf. Acesso em: 24 set. 2023

TIEMI, A. P. **Como funciona o sensor de fadiga?** Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/como-funciona-o-sensor-de-fadiga-ana-paula-tiemi?trk=public_profile_article_view. Acesso em: 28 set. 2023

XIAOMI. **Pulseira Inteligente Redmi Smart Band Pro.** Disponível em: <https://www.mibrasil.com.br/pulseira-inteligente-xiaomi-redmi-smart-band-pro-x00649-p3810>. Acesso em: 16 set. 2023

ZEBLAZE. **Bluetooth Calling Watch Value King.** Disponível em: <https://zeblaze.info/btalk-lite.html>. Acesso em: 15 set. 2023