

# Development and Implementation of a System for Fatigue Detection in Truck Drivers: Computer Vision-based Alert System

**Ivan Arantes Levenhagen**

Volkswagen Truck and Bus

**Lucas Gomes de Almeida**

Volkswagen Truck and Bus

**Jardel Manoel Vieira**

Volkswagen Truck and Bus / UERJ – Resende

## ABSTRACT

The main causes of traffic accidents are attributed to human failures, including fatigue, sleepiness, and driver distraction. To address these factors, technological solutions such as fatigue detectors can help prevent accidents. These devices are artificial intelligence systems that detect risky driver behaviors and emit audible alerts to awaken their attention. Volkswagen Trucks and Buses has developed a computer vision-based fatigue detection system with specific algorithms to monitor eye-lid, yawn, head tilt, object detection, and, now, with the inclusion of its own artificial intelligence algorithm capable of detecting different driver face positions. The entire system was developed with the aid of Python programming and agile methodology, which allowed greater flexibility and adaptability to the needs and requirements of users. Tests were conducted with test vehicle drivers in the company to evaluate the effectiveness of the fatigue detection system. The results were satisfactory, with a significant increase in driver and passenger safety. The adoption of this technology promotes a competitive advantage and increases driver satisfaction, as well as highlighting the company for the adoption of safety and social responsibility practice. The use of proprietary artificial intelligence algorithms, capable of detecting different positions of the driver's face, makes the system even more efficient and accurate in preventing accidents caused by fatigue, increasing safety on the roads and promoting a safer working environment for drivers.

## RESUMO

As maiores causas de acidentes de trânsito são atribuídas a falhas humanas, incluindo sono, cansaço e distração dos motoristas. Para abordar esses fatores, soluções tecnológicas, como os detectores de fadiga, podem ajudar a prevenir acidentes. Esses dispositivos são sistemas de inteligência artificial que detectam comportamentos de risco dos motoristas e emitem alertas sonoros para despertar sua atenção. A Volkswagen Caminhões e Ônibus desenvolveu um sistema de detecção de fadiga baseado em visão computacional e algoritmos específicos para monitorar sinais como pálpebra dos olhos, bocejo, inclinação da cabeça, detecção de objetos e, agora, com a inclusão de um algoritmo de inteligência artificial próprio, capaz de detectar diferentes posições do rosto do motorista. Todo o sistema foi desenvolvido com o auxílio de programação em Python e utilizando metodologia ágil, o que permitiu maior flexibilidade e adaptabilidade às necessidades e requisitos dos usuários. Foram realizados testes com motoristas de veículos de teste na empresa, a fim de avaliar a eficácia do sistema de detecção de fadiga. Os resultados obtidos foram satisfatórios, com um aumento significativo na segurança dos motoristas e dos passageiros. A adoção dessa tecnologia promove vantagem competitiva e aumenta a satisfação dos motoristas, além de destacar a empresa pela adoção de práticas de segurança e responsabilidade social. A utilização de algoritmos de inteligência artificial próprios, capazes de detectar diferentes posições do rosto do motorista, torna o sistema ainda mais eficiente e preciso na prevenção de acidentes causados por fadiga, aumentando a segurança nas estradas e promovendo um ambiente de trabalho mais seguro para os motoristas.

## 1. INTRODUÇÃO

Dirigir cansado ou com os reflexos lentos, traz riscos não só para quem está ao volante, mas também para as pessoas com quem ele divide o veículo e as que estão na pista. Vencer a fadiga no trânsito é um desafio para os motoristas, que precisam dirigir horas devido ao trabalho. De acordo com a Associação Brasileira de Medicina de Tráfego (ABRAMET) em parceria com a Academia Brasileira de Neurologia e com o Conselho Regional de Medicina, 42% dos acidentes envolvendo veículos estão relacionados ao sono e 18% por fadiga. Somados, os 60% resultante mostram um retrato do problema e do quanto pode ser fatal conduzir com sono ou distraídos.[1]

Esse quadro tem tudo para fazer parte do passado se as reguladoras abraçarem a tecnologia como arma preventiva. O investimento na educação dos motoristas é fundamental, mas ela encontra barreiras estruturais, além de possuir efeitos a longo prazo. Exigir que um equipamento antifadiga seja padrão de fábrica é acelerar as mudanças que salvarão vidas. É o que fez a União Europeia que a partir de 2022 passou a obrigar todas as montadoras a entregarem vans, carros, ônibus e caminhões com um sensor que detecta fadiga ou distrações nos motoristas. O equipamento faz parte do pacote chamado de New Safety Features in your Car (Novas Configurações de Segurança no seu Carro).

Atualmente existem tecnologias que auxiliam a combater a fadiga ao dirigir. A câmera de detecção de fadiga é uma tecnologia cada vez mais utilizada por gestores de frota para garantir viagens seguras. Ela consegue identificar movimentos de risco feitos pelo condutor e captar sinais que indicam que quem está ao volante deveria fazer uma pausa, como expressões que denunciem sono, distração ou cansaço, além do uso de celular ao volante. Ao identificar tais sinais, o equipamento emite um alerta sonoro para o motorista e notifica a central de monitoramento. Assim, o gestor de frota pode entrar em contato imediatamente com o motorista e orientá-lo a fazer uma pausa. Motoristas que dirigem com uma câmera de fadiga se tornam mais atentos aos sinais de cansaço e mais propensos a respeitar as pausas de descanso [2].

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de detecção de distração e sonolência que usa inteligência artificial e visão computacional para prevenir riscos de motorista de caminhão, identificando comportamentos de fadiga e alertando-o para que tome medidas preventivas em tempo real. Isso será feito com algoritmos de machine learning e deep learning especializados que monitoram a taxa de abertura dos olhos, identificação de bocejo, a inclinação da cabeça e a detecção de objetos com potencial risco de distração.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Definição de Fadiga e Sonolência

A fadiga e a sonolência são dois estados distintos, embora possam estar relacionados em alguns casos. Aqui estão as principais diferenças entre os dois:

**Fadiga:** Uma sensação geral de cansaço, esgotamento ou falta de energia física ou mental. Pode ser causada por uma variedade de fatores, como falta de sono adequado, estresse, atividade física intensa, doença ou condições médicas crônicas. A fadiga pode afetar tanto o corpo quanto a mente e pode resultar em diminuição do desempenho físico e cognitivo.

**Sonolência:** Já a sonolência é um estado em que você se sente sonolento e pode ter dificuldade em manter os olhos abertos ou ficar alerta. A sonolência é frequentemente causada por falta de sono adequado, mas também pode ser resultado de distúrbios do sono, como apneia do sono, insônia, narcolepsia ou outras condições médicas.

Embora a fadiga possa levar à sonolência em algumas situações, nem sempre são sinônimos. Alguém pode se sentir fatigado sem sentir necessariamente sono, e vice-versa. A fadiga geralmente está associada a um esgotamento mais amplo de energia física e mental, enquanto a sonolência é uma sensação específica de desejo de dormir [3].

### 2.2 Discussão literária

**Estatísticas:** No âmbito profissional, o sono possui importância fundamental, a coordenação motora, a atenção, o ritmo mental e principalmente o estado de alerta são influenciados pela fadiga. A Associação Brasileira do Sono estima que o sono seja responsável por 30% das mortes e 20% dos acidentes no país. De acordo com Lemler (2012) em um levantamento feito com base nos dados da Polícia Rodoviária Federal de 2001 e 2002 sobre ocorrências em estradas federais, foi revelado que o sono é responsável por um em cada quatro acidentes de trânsito nas rodovias do país.

No que se refere aos transportes, Mello, Santos e Tufik, 2006, afirmam que a sonolência contribui de uma forma significativa para o aumento no número de acidentes nas rodovias, sendo também influenciada por vários fatores como, o ritmo circadiano vigília-sono, trabalhos em horários irregulares, tempo de trabalho na direção dos veículos, distúrbios de sono e principalmente privação de sono (MELLO, SANTOS E TUFIK, 2006) [4].

De acordo com Mello, et.al. 2006, justamente a sonolência diurna pode desencadear a diminuição desta atenção e aumentar o risco de acidentes, esta sonolência pode ainda ser uma consequência de uma má qualidade de sono, tempo de sono insuficiente ou dos distúrbios de sono. Segundo o mesmo autor, constatação de estudos, afirmam

que o erro humano é um dos maiores determinante nos acidentes automotivos, falta de atenção, observações inadequadas e erros cognitivos são responsáveis por aproximadamente 40% dos casos [5].

**Fatores:** Para Alves (2010), o ruído uniforme e contínuo, a vibração de corpo inteiro e o movimento pendular do tronco e cabeça quando na direção veicular concorrentes, também favorecem para indução ao sono. Desta forma, a junção desses fatores gera torpor e sonolência aos motoristas expostos [6].

O neurologista, Rubens Reimão, afirma que os caminhoneiros, tendem a fazer jornadas muito longas, em muitos casos, tomam estimulantes proibidos para manterem-se alertas, conhecidos como “rebites”. Porém, essas drogas não funcionam. O motorista tem a sensação de estar bem, por causa do componente euforizante, mas na realidade tem um déficit de atenção. Desta forma, os rebites são mais um risco adicionado à vida destes condutores, considerando que quando o efeito acaba os motoristas não percebem e chegam a dormir de olho aberto (LEMLE, 2012) [7].

**Estratégias de prevenção e intervenção:** Motoristas podem utilizar algumas estratégias a fim de diminuir a sonolência ao volante, como, sonecas rápidas nos intervalos dos trajetos. Outro fator importante é a necessidade de descanso e intervalos superiores a 24 horas, entre as jornadas de trabalho. Uma avaliação polissonográfica e a adequação das escalas de trabalho ao cronotipo e ritmos biológicos do motorista também é muito importante para amenizar os efeitos negativos destes desgastes, melhorando a produtividade e eficiência, além de reduzir os riscos à saúde e a vida. O IBGE em 1998 compartilhou um quadro com indicações para hábitos saudáveis, destacou-se aqui os hábitos para uma qualidade de sono melhor [8]:

- Dormir apenas o necessário para sentir-se recuperado, pois muito tempo na cama interfere na qualidade do sono na noite seguinte;
- Ter horário regular para levantar sete dias por semana;
- Evitar bebidas com cafeína à noite, pois o café, chá preto, chimarrão, chocolate e refrigerantes à base de cola estimulam o sistema nervoso;
- Evitar fumar, principalmente à noite devido à nicotina ter efeitos diversos sobre o sistema nervoso e é prejudicial ao sono;
- Evitar ingerir bebidas alcoólicas à noite, pois pode prejudicar a respiração, estimular o ronco e sonhos desagradáveis, além disso, o álcool cria dependência física e psíquica;
- Dormir em ambiente escuro, silencioso, bem ventilado e com temperatura agradável;
- Atenção: Não dormir com fome, porém evitar refeições pesadas até três horas antes de dormir;

- Nos casos de insônia, não se deve permanecer na cama forçando o sono, deve-se procurar uma atividade fora da cama e só retornar quando sentir novamente sono.

Além das medidas tradicionais existem soluções tecnológicas. O detector ou sensor de fadiga e sonolência através do uso de câmera é um sistema capaz de identificar e analisar o comportamento do motorista, combinando informações sobre os movimentos do veículo, a estrada à frente e o nível de atenção do condutor. Atualmente existem várias opções de sensores de fadiga no mercado, dos mais simples – que detectam apenas os motoristas em fadiga e sonolência – aos mais completos – que atuam diretamente em 7 comportamentos de risco que estão entre as maiores causas de acidentes de trânsito: Fadiga, Distração, Uso de celular, Distância perigosa em relação a outros veículos, fumar enquanto dirige, Uso do cinto de segurança e Mudança de pista sem acionar o alerta [9].

### 2.3 Estudos sobre sistemas de detecção de fadiga

Diversas pesquisas têm sido conduzidas para desenvolver métodos eficazes de detecção de fadiga em motoristas. Por exemplo, estudos têm explorado o uso de sensores de movimento ocular, sensores de eletroencefalograma, sensores de frequência cardíaca e algoritmos de aprendizado de máquina para identificar padrões associados à fadiga. Além disso, pesquisas têm se concentrado em abordagens baseadas em visão computacional, como detecção de piscadas, movimentos oculares anormais e alterações na posição da cabeça. Esses estudos demonstraram resultados promissores na detecção precisa da fadiga e na emissão de alertas para evitar acidentes causados por motoristas sonolentos. No entanto, existem desafios contínuos a serem abordados, como a necessidade de aprimorar a precisão e a adaptabilidade dos sistemas de detecção de fadiga em diferentes condições de condução e indivíduos. Ao analisar os estudos anteriores, é possível identificar as abordagens mais eficazes e os avanços recentes nessa área, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento do sistema de detecção de fadiga proposto no presente trabalho.

### 2.4 Conceitos

**Inteligência Artificial:** A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência cujo propósito é estudar, desenvolver e empregar máquinas para realizarem atividades de maneira similar aos humanos. A IA envolve o agrupamento de várias tecnologias, como redes neurais artificiais, algoritmos, sistemas de aprendizado, entre outros, que conseguem simular capacidades humanas ligadas ao aprendizado, solução de problemas, compreensão da linguagem, reconhecimento de voz e de visão e a tomada de decisões [10].

**Visão Computacional:** A Visão Computacional é o processo de modelagem e replicação da visão humana

usando software e hardware. Ela faz parte da inteligência artificial e é uma disciplina que estuda como reconstruir, interromper e compreender uma cena 3d a partir de suas imagens 2d em termos das propriedades da estrutura presente na cena por meio de tecnologia [11].

**Algoritmos de Detecção de Objetos:** A detecção de objetos é uma importante tarefa de visão computacional usada para detectar instâncias de objetos visuais de certas classes (por exemplo, humanos, animais, carros ou edifícios) em imagens digitais, como fotos ou quadros de vídeo. O objetivo é desenvolver modelos computacionais que forneçam as informações mais fundamentais necessárias para aplicações de visão computacional. A detecção e o rastreamento de objetos são a base fundamental de uma ampla gama de aplicações modernas de visão computacional. Por exemplo, a detecção de objetos permite monitoramento inteligente de saúde, direção autônoma, vigilância inteligente por vídeo, detecção de anomalias, visão robótica e muito mais. Cada aplicação de visão de IA geralmente requer uma combinação de algoritmos diferentes que formam um fluxo (pipeline) de várias etapas de processamento [12].

### 3. METODOLOGIA



Figura 1. Jetson Nano. Fonte: NVIDIA

A escolha da Nvidia Jetson Nano como plataforma de processamento é influenciada por vários fatores, incluindo as necessidades de visão computacional atrelada à inteligência artificial do sistema. A placa é um dispositivo compacto e de baixo consumo de energia, projetado especificamente para aplicações de IA em dispositivos embarcados. Sua GPU integrada e suporte ao framework CUDA possibilitam a execução de algoritmos de aprendizado de máquina e visão computacional de forma eficiente. Isso permite que o sistema de detecção de fadiga processe imagens em tempo real, aplicando técnicas avançadas de detecção de objetos e análise de expressões faciais. Além disso, sua natureza embarcada facilita a integração do sistema em veículos. Em resumo, a escolha da Nvidia Jetson Nano como hardware para o sistema de detecção de fadiga é baseada em sua potência de processamento, eficiência energética, suporte à visão computacional e inteligência artificial, bem como sua adequação para aplicações embarcadas [13].

## 4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

### 4.1 Design Thinking

O design thinking é uma abordagem centrada no usuário. A ideia por trás desse processo é que para se chegar a soluções inovadoras, é preciso adotar a mentalidade de um designer. Assim, é a partir da perspectiva do usuário que é abordado o problema. Ao mesmo tempo, o design thinking tem relação com a prática; o objetivo é transformar suas ideias em produtos ou processos tangíveis e testáveis [14].

Por isso, essa abordagem visa alcançar resultados práticos e soluções que sejam:

- Viável economicamente e em tecnologia;
- Desejável para o usuário.

### 4.2 Etapas do Design Thinking

O primeiro passo é compreender a fundo o problema que precisa ser solucionado. Em seguida, analisar possíveis soluções, escolher a melhor alternativa e, por fim, planejar sua aplicação. O processo de Design Thinking pode ser dividido em 5 etapas: empatia, definição do problema, ideação, prototipação e teste [15]. O processo, como um todo, busca a inovação de forma não linear, a atribuição e descoberta de novos valores e significados para os projetos, serviços e produtos, bem como o pensamento colaborativo para o alcance de soluções baseadas na experiência do consumidor. Confira a seguir [16].

**1) Empatia e Compreensão:** A primeira etapa é ter uma compreensão empática sobre quais são as necessidades das pessoas que estão envolvidas no problema. Através da solicitação de clientes a respeito de sistemas de segurança para motoristas de frota, dados da polícia rodoviária federal que mostram números assustadores de acidentes causados por sonolência e distração e uma nova legislação que exigirá sistema antifadiga notamos a necessidade de desenvolver um dispositivo que prevenisse esse tipo de acidente.

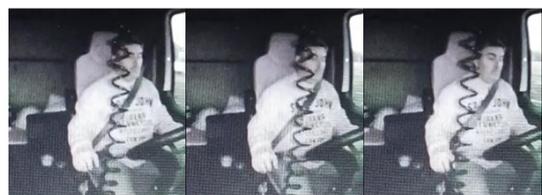


Foto 2. Motorista de frota dormindo ao volante. Fonte: Autor.

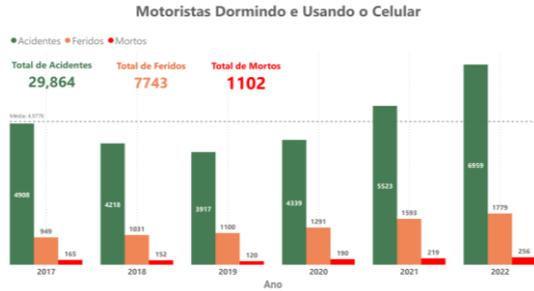


Figura 3. Estatísticas de acidentes causados por motoristas de caminhão dormindo ou usando celular entre 2017 e 2022. Fonte: gov.br

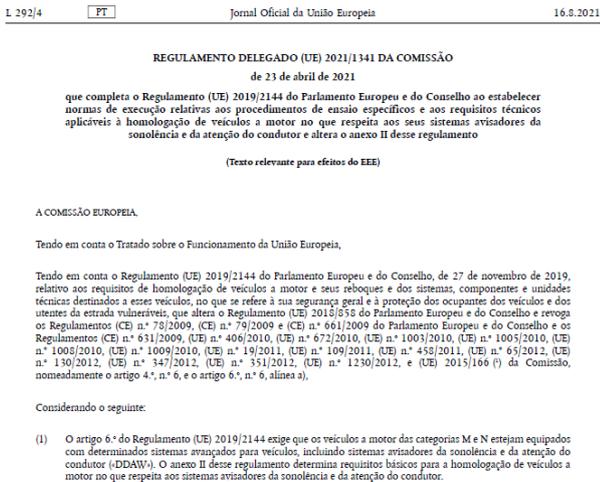


Figura 4. Regulamento da UE que exige a instalação obrigatória de sistemas de aviso de sonolência e atenção ao motorista a partir de 6 de julho de 2022. Fonte: EUR-Lex

A fim de entender a necessidade do cliente saiu-se da zona de conforto e explorou-se a realidade das pessoas que convivem com esse problema, realizou-se uma imersão no universo dos motoristas de caminhão. A ferramenta adotada para essa etapa foi a entrevista exploratória onde criou-se um formulário com perguntas escalonadas a fim de quebrar objeções e entender as “dores” através de contato direto com os motoristas. Com isso foi possível colher feedbacks e insights valiosos. As entrevistas foram realizadas em postos ao longo da Rodovia Presidente Dutra.

Para desenvolver o questionário e ver o valor que o produto agrega aos clientes utilizamos a Matriz CSD (Matriz de Certezas, Suposições e Dúvidas). Após a definição do questionário realizou-se uma entrevista a campo para entender a visão do cliente observando suas necessidades, motivações, frustrações, comportamentos relacionados ao tema e o se esse sistema agrega valor ao cliente.

QUESTIONÁRIO PESQUISA DE CAMPO

Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_ Gênero:  Masculino  Feminino  Outro: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_ Tempo como motorista: \_\_\_\_\_

- Relação com o caminhão:  Autônomo  Motorista de frota
- Em quais segmentos você atua? (É possível assinalar mais de uma alternativa)
  - Veículos leves  Ônibus Urbanos
  - Veículos médios  Ônibus Rodoviários
  - Veículos pesados  Veículo Comercial
  - Veículos extrapesados
- Em qual período do dia você tem o hábito de dirigir?
  - Dia  Noite  Manhã
- Você já foi vítima de algum acidente causado por sonolência ou distração?  Sim  Não
- Você já conheceu alguém que causou algum acidente por esses motivos?  Sim  Não
- Quando se está com sonolência quais são os indícios mais comuns? \_\_\_\_\_
- Qual o tempo limite (horas ininterruptas dirigindo) você consegue ter sem apresentar cansaço? \_\_\_\_\_
- Durante a direção o que pode proporcionar uma distração? \_\_\_\_\_
- Quais comportamentos você apresenta durante muito tempo de direção:
  - Alongar  Abaixar a janela
  - Cantar  Ajustar o espelho
  - Bocejar  Coçar o olho
  - Perda de concentração  Sua cabeça "pesa" quando está cansado
  - Outros: \_\_\_\_\_
- O que você poderia propor para evitar problemas de distração e sonolência? \_\_\_\_\_
- Qual a sua opinião a respeito de um sensor que avisasse o comportamento de distração e sonolência?
  - Ótimo  Bom  Regular  Ruim  Péssimo
- Você já ouviu falar de algum caminhão com esta tecnologia citada?  Sim  Não
  - Sensor
  - Câmera
- Você já dirigiu algum veículo/caminhão com esse dispositivo?  Sim  Não
  - Como foi? \_\_\_\_\_
- Em uma escala de 0 a 10, qual você daria para esse dispositivo com câmera futuramente? \_\_\_\_\_

Figura 5: Questionário de entrevista. Fonte: Autor

Foram entrevistados 72 motoristas entre homens e mulheres que dirigem caminhão e em suma o sistema agrega valor aos motoristas. Apesar de muitos não conhecerem o dispositivo, a maior parte dos entrevistados se dispôs a adquirir tal sistema de segurança.

**2) Definição do Problema:** Nesta etapa foi feita a análise dos insights e dados coletados durante a fase de empatia. Refinou-se o problema em uma declaração clara e focada: "Como podemos desenvolver um sistema que alerte o motorista sinais de fadiga, considerando: assegurar a precisão na detecção, fatores ambientais e fatores do veículo, monitorar integração com os sistemas existentes, garantir interação e promover a aceitação e a confiança dos motoristas?"

**3) Ideação:** Com a imersão concluída e os pontos que precisam de solução mapeados, reuniu-se o time em um brainstorming para produzir ideias e gerar insights. Para gerar propostas utilizou-se a plataforma White board do Miro onde os integrantes propuseram soluções para os problemas encontrados e também levantaram outros questionamentos.



Figura 6: White board para discussão. Fonte: Miro

Através do trabalho em equipe determinou-se que o sistema deve atender aos seguintes requisitos:

- Parâmetros que devem ser captados: Inclinação da cabeça e pálpebra dos olhos;
- Situações a serem levadas em consideração: velocidade do veículo e iluminação;
- Objetos que podem causar distração: celular, cigarro, copo/xícara, garrafa;
- Objeto que obstrui o acompanhamento da câmera em relação aos olhos: óculos de sol.

**4) Prototipagem - Detalhes do hardware:** A ideia do protótipo consiste em produzir um Mínimo Produto Viável (MVP). A partir das ideias geradas na etapa anterior, criou-se uma versão simples do produto, produzida rapidamente, sem gastar muitos recursos, para um período de testes. Após selecionar as soluções mais promissoras desenvolveu-se um protótipo simples para testar e validar as soluções propostas com a equipe, permitindo ajustes e melhorias a qualquer momento.

O protótipo possui os seguintes itens:

- Placa de processamento;
- Kit desenvolvimento Nvidia;
- Câmera com infravermelho;
- Display de 7 polegadas;
- Inversor de energia;
- Plug usb de internet;
- Cooler;
- Protoboard;
- Buzzer.

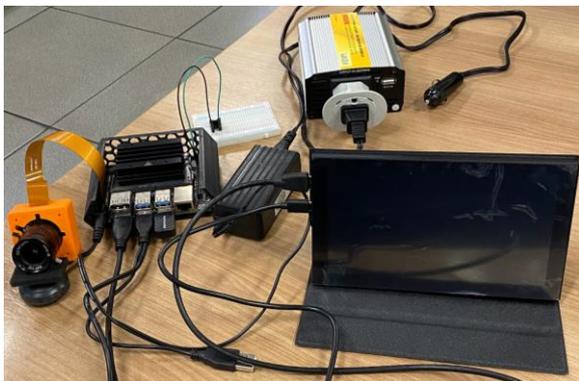


Figura 7: Sistema de detecção de fadiga com display.  
Fonte: Autor

Os suportes para a placa e câmera foram elaborados no software CATIA e confeccionados em impressão 3D. Os códigos foram desenvolvidos na linguagem de programação Python.

**O que é Python?** O Python é uma linguagem de programação amplamente usada em aplicações da Web, desenvolvimento de software, ciência de dados e machine learning (ML). Os desenvolvedores usam o Python porque

é eficiente e fácil de aprender e pode ser executada em muitas plataformas diferentes. Esse software pode ser baixado gratuitamente, integra-se bem a todos os tipos de sistema e agiliza o desenvolvimento [17].

**4.1) Desenvolvimento dos algoritmos:** Inicialmente os programas foram feitos em um notebook com sistema operacional Linux, com a aquisição da placa de desenvolvimento os algoritmos foram adaptados e então foi feito o deploy ficando atento às ferramentas de aceleração CUDA para extrair o máximo de desempenho.

**Razão de Aspecto dos Olhos (EAR)**

Um dos recursos para identificar a sonolência nos motoristas foi monitorado a taxa de abertura das pálpebras. O Eye Aspect Ratio, ou EAR, é um valor numérico que corresponde à abertura dos olhos.

Foi utilizado um limite EAR variável para categorizar automaticamente os vários tipos de piscadas. Depois disso, analisamos o resultado experimental e determinamos o melhor limite de EAR para nossos testes. Cada quadro do fluxo de vídeo é usado para estimar o EAR. Além disso, quando o usuário fecha os olhos, o EAR cai e retorna ao nível normal quando os olhos são abertos novamente. Esta técnica é usada para determinar as piscadas e a abertura dos olhos. Como a fórmula EAR é insensível tanto à direção da face quanto à distância entre ela e o observador, ela pode ser usada para detectar faces a uma distância considerável. O valor de EAR pode ser calculado inserindo seis coordenadas ao redor dos olhos, conforme mostrado na Figura 5 e nas equações (1) e (2) [18].

$$EAR = \frac{\| P2 - P6 \| + \| P3 - P5 \|}{2 \| P1 - P4 \|} \tag{1}$$

$$AVG EAR = \frac{1}{2} (EAR_{Left} + EAR_{Right}) \tag{2}$$

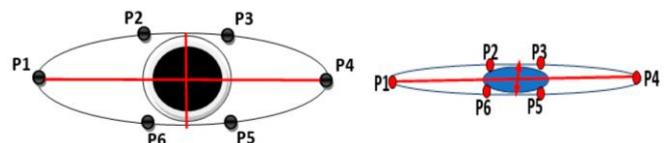


Figura 8. Olhos abertos e fechados com marcros faciais (P1, P2, P3, P4, P5, P6). (a) Olho aberto. (b) Olho quase fechado. Fonte: Autor

O programa monitora a taxa de abertura dos olhos, se após uma certa contagem de quadros o valor for abaixo do limite, o sistema dispara o alarme.

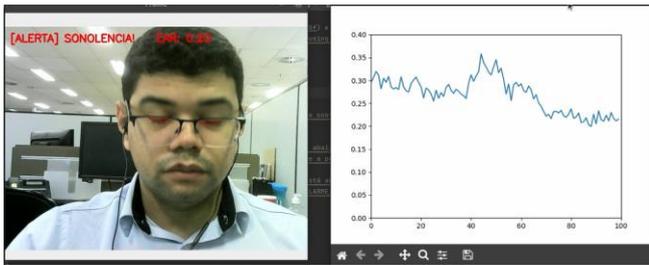


Figura 9. (a) Olhos fechados por longo período de contagem de quadros e alarme disparado. (b) Monitoramento da taxa de abertura dos olhos por gráfico de linha. Fonte: Autor

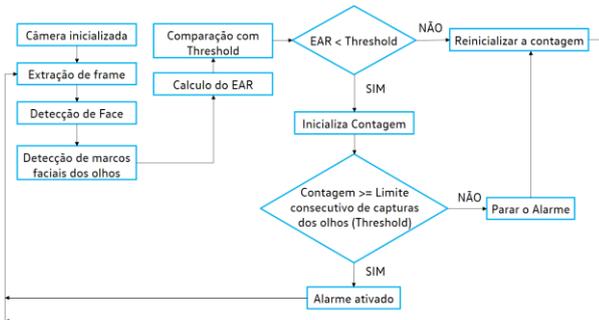


Figura 10. Algoritmo Detector de sonolência. Fonte: Autor

### Razão de Aspecto da Boca (MAR)

Bocejar pode ser um sinal de sono, mas não é necessariamente indicativo de sono iminente. O bocejo é uma resposta automática do corpo que ocorre em várias situações, como cansaço, tédio ou até mesmo quando vemos alguém bocejando. Não existem muitos estudos a fundo relacionando uma frequência de bocejos ao sono, pode-se considerar algumas abordagens quanto a sensibilidade. A detecção do bocejo é baseada na taxa de abertura da boca, similar ao que foi feito com os olhos. O algoritmo é similar ao da figura 10. A proporção da boca declarada neste algoritmo foi encontrada através de testes e estudos. Se o cálculo da distância euclidiana dos pontos da boca acusar uma razão maior que a estabelecida será considerado um bocejo. Cada vez que o motorista bocejar, haverá uma contagem. Esta contagem de bocejos indica se o colaborador está com sonolência, com a constatação da sonolência o alarme de atenção é disparado.



Figura 11. Detecção de bocejo e alerta. Fonte: Autor

### Estimativa de posição de cabeça

Através da posição da cabeça pode-se estimar se o motorista está prestando atenção na estrada. O objetivo é encontrar a pose de um objeto quando temos uma câmera, e sabemos a localização de n pontos 3D no objeto e as projeções 2D correspondentes na imagem.

**Como representar matematicamente o movimento da câmera?:** Um objeto rígido 3D tem apenas dois tipos de movimentos em relação a uma câmera: Translação (movimentação na direção X, Y ou Z) e Rotação (Girar a câmera sobre os eixos X, Y e Z). Assim, estimar a pose de um objeto 3D significa encontrar 6 números — três para translação e três para rotação.

**O que é necessário para estimar a posição?:** Para calcular a pose 3D de um objeto em uma imagem, você precisa das seguintes informações: Coordenadas 2D de alguns pontos, Localizações 3D dos mesmos pontos e Parâmetros intrínsecos da câmera.

**Como funciona o algoritmo de estimativa de posição de cabeça?:** Há três sistemas de coordenadas em jogo. As coordenadas 3D das várias características faciais mostradas acima estão em coordenadas de mundo. Se soubéssemos a rotação e a translação (ou seja, a postura), poderíamos transformar os pontos 3D em coordenadas de mundo em pontos 3D em coordenadas de câmera. Os pontos 3D nas coordenadas da câmera podem ser projetados no plano da imagem (ou seja, sistema de coordenadas da imagem) usando os parâmetros intrínsecos da câmera (distância focal, centro óptico etc.) [19].

Com aplicações matemáticas e recursos das bibliotecas utilizadas chegamos no seguinte resultado:

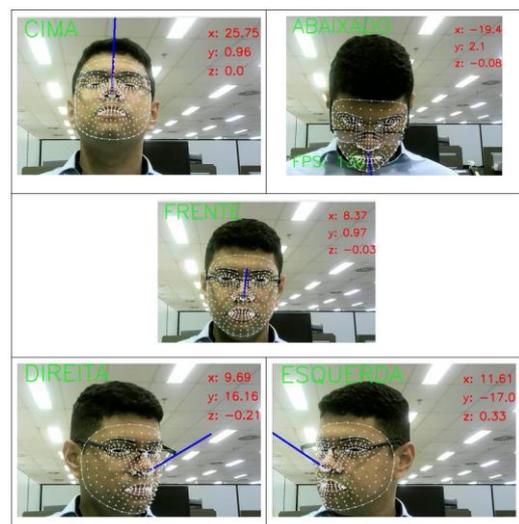


Figura 12. Estimativa de inclinação de cabeça (a) Olhando para cima. (b) Olhando para baixo. (c) Olhando para frente. (d) Olhando para a direita. (e) Olhando para a esquerda.

Fonte: Autor

Encontrar a posição da cabeça não é o maior desafio, a maior dificuldade é soar o alarme em uma situação que ele realmente esteja desatento. O motorista pode estar olhando para uma placa, para os retrovisores, pode estar andando em uma velocidade em que olhar para a janela não é considerado uma atitude perigosa. Para essa programa não apresentar falsos positivos é necessário levar em consideração todas essas variáveis. Atentos a essas condições de contorno o programa soa um alarme de desatenção à partir de uma determinada velocidade estabelecia e com um ângulo de visão diferente de quando ele está olhando para os retrovisores.

### Detecção de Objetos

Bebidas alcoólicas, direção agressiva e noites mal dormidas são os principais causadores dos acidentes de trânsito, porém, o que muitos esquecem é que pequenas distrações também podem causar graves acidentes e trazer danos irreparáveis [20]. As distrações manuais e visuais estão relacionadas a todas as atividades nas quais os motoristas desviam os olhos e as mãos do volante.

Em virtude desse fator preocupou-se em implementar um sistema para detecção de objetos personalizados que podem proporcionar um potencial risco de distração e causar acidentes. Para a seleção dos itens levou-se em consideração a respostas dos entrevistados na etapa de empatia, pesquisas e os objetos que a equipe listou na etapa de ideação através do White board. Após todas as considerações treinamos o modelo de IA com os seguintes itens:

- Celular;
- Cigarro;
- Copo/xícara;
- Garrafa;
- Pessoas;
- Óculos de sol (por obstruir os olhos e impedir o seu monitoramento).

Quando o motorista pega algum desses itens enquanto dirige o algoritmo faz a detecção em tempo real e emite um alerta ao motorista

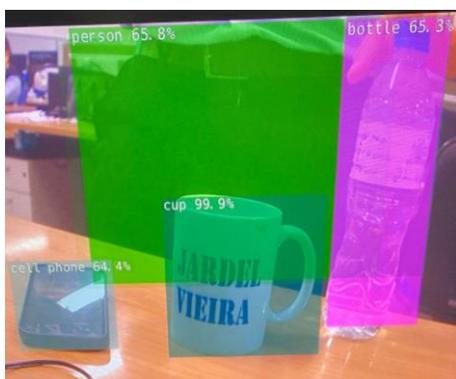


Figura 13. Detecção de objetos com potencial risco de distração. Fonte: Autor.

**5) Teste – Roteiro:** Para a validação dos algoritmos em ambiente real foi feito um roteiro de testes para cada programa. Abaixo segue a matriz para validação do algoritmo de detecção de objetos que foi dividido em 3 steps:

#### STEP 1 – DETECÇÃO DE OBJETO

**Objetivo:** validar o algoritmo “detecção de objeto” em ambiente de cabine estática;

**Método:** realizar a verificação dos outputs e posteriormente realizar o cross check do programa DDAW com a câmera de monitoramento;

**Medida:** 01 CW para verificação dos outputs + avaliação de filmagens;

**Meio Ambiente:** cabine do veículo;

**Outputs:**

- Início de teste: Qual foi o horário (hora, min, sec) que o teste iniciou?
- Quantas vezes e em qual horário ocorreu a detecção do celular (qual o posicionamento do celular)?
- Quantas vezes e em qual horário ocorreu a detecção do cigarro (tanto na mão quanto na boca)?
- Quantas vezes e em qual horário ocorreu a detecção do óculos (de sol, de grau)?
- Quantas vezes e em qual horário ocorreu a detecção do recipiente (xícara, copo, garrafa)?
- Quantas vezes e em qual horário ocorreu a detecção do objeto (livro, jornal, revista, manual)?

#### STEP 2 – DETECÇÃO DE OBJETO

**Objetivo:** validar o algoritmo “detecção de objeto” com uma diversidade de pessoas, baseado em um roteiro pré-definido;

**Método:** induzir a ocorrência do comportamento através do roteiro e verificar a ocorrência dos eventos (horário do evento) fazendo um cross check do programa DDAW com o comportamento em si, importante que a pessoa esteja o tempo todo em posição de dirigir (pelo menos uma mão ao volante)

**Medida:** 01 CW para validação em diferentes pessoas (abrange a maior quantidade de diversidade dentro da persona do motorista – 10 pessoas);

**Meio Ambiente:** cabine do veículo;

**Materiais:** dispositivo DDAW + câmera de monitoramento;

**Roteiro:**

- Abordar e explicar para pessoa o DDAW;
- Pedir pra pessoa assinar o documento (liberação de imagem da pessoa e confidencialidade sobre o DDAW);
- Pedir para a pessoa entrar no caminhão e sentar no banco do motorista;
- Pedir para a pessoa posicionar o celular na posição desejada (pelo menos orelha e lendo no celular);
- Pedir para a pessoa posicionar o cigarro na posição desejada;
- Pedir para a pessoa posicionar o óculos na posição desejada;
- Pedir para a pessoa posicionar o recipiente na posição desejada;
- Pedir para a pessoa posicionar o objeto (livro, revista, etc) na posição desejada;

#### STEP 3 – DETECÇÃO DE OBJETOS

**Objetivo:** validar o algoritmo “detecção de objeto” com uma diversidade de pessoas, baseado em um roteiro pré-definido, porém, com o veículo em movimento (estipular uma velocidade mínima).

**Método:** induzir a ocorrência do comportamento através do roteiro e verificar a ocorrência dos eventos (horário do evento) fazendo um cross check do programa DDAW com o comportamento em si, importante que a pessoa esteja o tempo todo em posição de dirigir (pelo menos uma mão ao volante)

**Medida:** 01 CW para validação em diferentes pessoas (abrange a maior quantidade de diversidade dentro da persona do motorista – 10 pessoas);

**Meio Ambiente:** cabine do veículo;

**Materiais:** dispositivo DDAW + câmera de monitoramento;

**Roteiro:**

- Abordar e explicar para pessoa o DDAW;
- Pedir pra pessoa assinar o documento (liberação de imagem da pessoa e confidencialidade sobre o DDAW);
- Pedir para a pessoa entrar no caminhão e sentar no banco do motorista;
- Colocar o veículo em movimento;
- Pedir para a pessoa posicionar o celular na posição desejada (pelo menos orelha e lendo no celular);
- Pedir para a pessoa posicionar o cigarro na posição desejada;
- Pedir para a pessoa posicionar o óculos na posição desejada;
- Pedir para a pessoa posicionar o recipiente na posição desejada;
- Pedir para a pessoa posicionar o objeto (livro, revista, etc) na posição desejada;

Figura 14. Roteiro matriz de teste para validar detecção de objetos. Fonte: Autor.

Os dados foram coletados simultaneamente com a realização dos testes. Seguindo o roteiro, o comportamento do motorista era registrado com data e tempo no momento do evento. Para validar a precisão foi comparado os eventos registrados com uma câmera de monitoramento. O roteiro explica isso de maneira clara e sucinta.

## 5. RESULTADOS

**Avaliação da precisão do sistema:** Os resultados dos testes indicaram uma boa precisão do sistema em identificar com eficiência os sinais de fadiga, como bocejos e “pescadas”. A identificação de sonolência ainda precisa de mais testes e uma base de dados maior a fim encontrar um threshold ideal ou adicionar uma funcionalidade de calibração automática de acordo com a taxa de abertura de cada motorista. A detecção de objetos funcionou de maneira espetacular. A taxa de acurácia correta desses sinais é um indicativo da confiabilidade e desempenho do sistema.

No conjunto de imagens abaixo podemos ver uma prévia do comportamento de detecção de objetos em tempo real com o motorista na dentro do caminhão o dirigindo:



Figura 15. Detecção de Objetos com potencial risco. Fonte: Autor.

**Efetividade na prevenção de acidentes:** Durante os testes, foi possível observar a efetividade do sistema na prevenção de acidentes causados por fadiga, distração e sonolência. Os alertas sonoros emitidos pelo sistema foram capazes de despertar a atenção do motorista a tempo, evitando situações de perigo.



Figura 16. Estimativa de posição da cabeça do motorista. Fonte: Autor.

**Impacto na segurança dos motoristas e passageiros:** Os resultados dos testes demonstraram um aumento significativo na segurança dos motoristas e dos passageiros com a implementação do sistema de detecção de fadiga. A capacidade de identificar e alertar sobre a fadiga permite reduzir o risco de acidentes causados por sonolência e fadiga excessiva.

**Satisfação dos motoristas:** Durante os testes, foi realizada uma avaliação da satisfação dos motoristas em relação ao sistema de detecção de fadiga. Por meio de entrevistas, foram coletadas opiniões e feedback sobre a usabilidade, eficácia e utilidade percebida do sistema. Essas informações são importantes para compreender o impacto real da solução no dia a dia dos motoristas.

### Vantagem competitiva e responsabilidade social:

Além dos benefícios diretos na segurança e satisfação dos motoristas, os resultados também podem destacar a empresa pela adoção de práticas de segurança e responsabilidade social. O desenvolvimento e implementação de um sistema avançado de detecção de fadiga demonstram o comprometimento da empresa em promover a segurança nas estradas e contribuir para a redução de acidentes.

Inicialmente, houve uma certa desconfiança por parte dos motoristas em relação à câmera direcionada para eles. No entanto, tranquilizamos os motoristas, explicando que a câmera estava focada apenas em capturar eventos de risco e não seria utilizada para armazenar filmagens. Além disso, asseguramos que o sistema só estaria em funcionamento quando o caminhão estivesse ligado e em movimento. Alguns motoristas já tinham conhecimento prévio desse tipo de sistema e sua preocupação estava relacionada aos alarmes de falsos positivos. Alguns relataram que o sistema acusava o uso de cigarro quando pegavam em uma caneta, identificava comportamento de bocejo ao conversar ou cantar, e até mesmo anunciava distração quando colocavam a mão no rosto. Todos esses feedbacks com a experiência de outros equipamentos semelhantes foram cuidadosamente considerados e levados em conta no processo de melhoria e desenvolvimento.

Além de considerarmos o feedback de outros equipamentos semelhantes, os motoristas também forneceram valiosos insights sobre possíveis melhorias para o nosso sistema. Eles compartilharam informações sobre a posição ideal da câmera e identificaram outros potenciais itens de distração, como alimentos, mapas, revistas e fones de ouvido. Todas essas sugestões foram cuidadosamente registradas e serão levadas em consideração nas próximas etapas de aprimoramento do sistema. Reconhecemos a importância de incorporar esses insights dos motoristas para garantir que o sistema atenda às suas necessidades e seja efetivo na detecção de fadiga e sonolência.

Após as primeiras impressões, os motoristas de teste foram se familiarizando cada vez mais com o equipamento e reconheceram o valor que ele pode agregar.

## 6. CONCLUSÃO

Em conclusão, este artigo apresentou o desenvolvimento e a implementação de um sistema de detecção de fadiga em motoristas de caminhão, utilizando visão computacional como base para um sistema de alerta sonoro. Os resultados dos testes realizados com motoristas demonstraram a eficácia desse sistema na prevenção de acidentes causados por fadiga, sonolência e distração. Através da aplicação de algoritmos de visão computacional, inteligência artificial e hardware específico para essa finalidade, foi possível criar um sistema preciso e confiável.

É crucial ressaltar o impacto significativo desse sistema na promoção da segurança nas estradas e na criação

de um ambiente de trabalho seguro para os motoristas. A detecção precoce de sinais de fadiga e sonolência possibilita a adoção de medidas preventivas, evitando acidentes e salvaguardando vidas. Além do aspecto humanitário, é importante destacar os benefícios financeiros associados. Ao prevenir esses tipos de acidentes, há uma considerável economia nos custos de aquisição de novos caminhões, reparos, multas, processos e até mesmo na apólice de seguro dos veículos. A implementação desse sistema de segurança demonstra o compromisso da empresa em proteger tanto seus motoristas quanto seus recursos financeiros.

Embora os resultados obtidos tenham sido satisfatórios, é fundamental reconhecer que há espaço para melhorias e expansões futuras no sistema. Uma das principais áreas de aprimoramento é o treinamento dos algoritmos e modelos de inteligência artificial com uma maior quantidade de dados, permitindo previsões em situações reais, como trajetos longos e ambientes externos variados. Com base no feedback dos motoristas, recomenda-se explorar ajustes na posição da câmera e aprimorar a detecção de outros possíveis elementos de distração. Além disso, a integração do sistema de detecção de fadiga com outros sistemas de segurança veicular pode ser considerada, criando um ambiente ainda mais abrangente e seguro. Um plano futuro envolve a integração da detecção do comportamento fisiológico com os fatores de dirigibilidade, como monitoramento dos pedais, uso de setas e movimento do volante. Dessa forma, a detecção se tornará ainda mais precisa e completa, proporcionando uma análise abrangente do estado do motorista. Essas melhorias e expansões planejadas reforçam o compromisso contínuo com a segurança e o aprimoramento do sistema de detecção de fadiga. Com o avanço da tecnologia e a coleta de feedback valioso, espera-se continuar aprimorando o sistema, tornando-o cada vez mais eficiente e capaz de garantir a segurança dos motoristas e de outros usuários das estradas.

Em resumo, o desenvolvimento desse sistema de detecção de fadiga em motoristas de caminhão, baseado em visão computacional, representa um avanço significativo na área de segurança automotiva. A aplicação de visão computacional, inteligência artificial e o uso de hardware especializado para projetos de IA foram elementos fundamentais para alcançar resultados positivos. A contínua melhoria desse sistema pode contribuir para a redução de acidentes e promover a segurança de motoristas e passageiros nas estradas. Com a implementação ampla desse sistema em frotas de caminhões, é possível estabelecer um ambiente de trabalho mais seguro e aumentar a conscientização sobre a importância da prevenção da fadiga ao volante. Além disso, a disseminação dessa tecnologia para outros setores da indústria automotiva pode trazer benefícios ainda maiores em termos de segurança viária. Com investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento, aliados ao feedback dos motoristas e avanços tecnológicos, espera-se aprimorar constantemente esse sistema, tornando-o cada vez mais eficiente e capaz de

garantir a segurança dos motoristas e a redução dos acidentes relacionados à fadiga.

## 7. REFERÊNCIAS

[1] Cobli. Fadiga no trânsito: como combater o cansaço ao volante? Disponível em <https://www.cobli.co/blog/fadiga-no-transito/>. Acesso em: 21/05/2023.

[2] EXAME. Acidentes relacionados ao sono em motoristas estão com os dias contados. Disponível em <https://exame.com/colunistas/opiniaio/acidentes-relacionados-ao-sono-em-motoristas-estao-com-os-dias-contados/>. Acesso em: 21/05/2023.

[3] OpenAI. "ChatGPT é uma inteligência artificial de linguagem natural desenvolvida pela OpenAI, que usa uma arquitetura de rede neural para gerar respostas a perguntas feitas por usuários." Disponível em <https://chat.openai.com/>. Acesso em 25/05/2023.

[4] MELLO, M.T. SANTOS, E. H. R.; TUFIK, S... Distúrbios do Sono, Sonolência e Acidentes de Trânsito; PROJETO/PROGRAMA CEPID/SONO/FAPESP/UNIFESP, 2006. Disponível em: <http://www.estradas.com.br>. Acesso em: 18/05/2023.

[5] MELLO, MT et al . Resenha do livro: Sono: Aspectos Profissionais e suas Interfaces na Saúde, JBrasPsiquiatr. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jbpsiq/v57n4/a12v57n4.pdf>. Acesso em: 18/05/2023.

[6] ALVES, Dirceu Rodrigues J., Portal Transporta Brasil - Notícias em transporte e logística Repercussão do sono sobre o trabalho, artigo publicado em 18 de junho de 2010. Disponível em: <http://www.transportabrasil.com.br/2010/06/repercussao-dosono-sobre-o-trabalho/>. Acesso em: 25/05/2023.

[7] LEMLE, Marina, Privação do sono aumenta riscos de acidentes graves, 05 de julho de 2012, por vias seguras <[info@vias-seguras.com](mailto:info@vias-seguras.com)>. Disponível em: [http://www.viasseguras.com/layout/set/print/comportamentos/desatencao\\_e\\_can\\_saco/privacao\\_do\\_sono\\_aumenta\\_riscos\\_de\\_acidentes\\_grav](http://www.viasseguras.com/layout/set/print/comportamentos/desatencao_e_can_saco/privacao_do_sono_aumenta_riscos_de_acidentes_grav) es. Acesso em: 25/05/2023.

[8] IBGE TEEN, 1998, Vida saudável. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/ibge\\_teen/datas/saude/saude.html](http://www.ibge.gov.br/ibge_teen/datas/saude/saude.html). Acesso em: 22/05/2023.

[9] Trimble. Sensor de fadiga: como funciona? Disponível em: <https://tl.trimble.com/blog/sensor-de-fadiga/>. Acesso em: 15/05/2023.

[10] TOTVS. Inteligência Artificial: o guia completo sobre IA! Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/inovacoes/o-que-e-inteligencia-artificial/>. Acesso em 23/05/2023.

[11] PrimeControl. Visão computacional: conceito e aplicações. Disponível em: <https://www.primecontrol.com.br/visao-computacional-conceito-e-aplicacoes/>. Acesso em: 22/05/2023.

[12] Viso.ai. Object Detection in 2023: The Definitive Guide. Disponível em: <https://viso.ai/deep-learning/object-detection/>. Acesso em: 22/05/2023.

[13] OpenAI. "ChatGPT é uma inteligência artificial de linguagem natural desenvolvida pela OpenAI, que usa uma arquitetura de rede neural para gerar respostas a perguntas feitas por usuários." Disponível em: <https://chat.openai.com/>. Acesso em 25/05/2023.

[14] NA PRÁTICA. Entenda o conceito de design thinking e como utilizá-lo nos mais diferentes contextos. Disponível em: <https://www.napratica.org.br/design-thinking-o-que-como-funciona/>. Acesso em 23/05/2023.

[15] Fagus Consultoria. O que é Design Thinking?. Disponível em: <https://fagusconsultoria.com.br/design-thinking/>. Acesso em 23/05/2023.

[16] Meu Sucesso. O que é Design Thinking: conceitos e definições. Disponível em: <https://meusuccesso.com/artigos/o-que-e-design-thinking-conceitos-e-definicoes-132/>. Acesso em 23/05/2023.

[17] AWS. O que é Python?. Disponível em: [https://aws.amazon.com/pt/what-is/python/#:~:text=O%20Python%20C3%A9%20uma%20linguagem,executada%20em%20muitas%20plataformas%20diferentes](https://aws.amazon.com/pt/what-is/python/#:~:text=O%20Python%20C3%A9%20uma%20linguagem,executada%20em%20muitas%20plataformas%20diferentes.). Acesso em 23/05/2023.

[18] DEWI, Christine. Eye Aspect Ratio for Real-Time Drowsiness Detection to Improve Driver Safety. **Electronics**, pp 4-5, 2022.

[19] Learn OpenCV. Head Pose Estimation using OpenCV and Dlib. Disponível em: <https://learnopencv.com/head-pose-estimation-using-opencv-and-dlib/>. Acesso em 20/05/2023.

[20] CEABS. Pequenas distrações podem causar graves acidentes de trânsito. Disponível em: <https://blog.ceabs.com.br/pequenas-distracoes-podem-causar-graves-acidentes-de-transito/>. Acesso em 20/05/2023.