http://journal.unoeste.br/index.php/ca/index
DOI: 10.5747/ce.2019.v11.n2.e273
ISSN on-line 2178-8332

Colloquium Exactarum

Submetido: 03/12/2018 Revisado: 15/03/2019 Aceito: 20/06/2019

DETECÇÃO DE FADIGA A PARTIR DA ANÁLISE DE IMAGENS FACIAIS

FATIGUE DETECTION WITH FACIAL IMAGES ANALYSIS

Fernando de Almeida Noronha; Leandro Luiz de Almeida; Francisco Assis da Silva; Flávio Pandur Albuquerque Cabral; Robson Augusto Siscoutto

Universidade do Oeste Paulista
Faculdade de Informática de Presidente Prudente
E-mail: fer.noronha@hotmail.com; {llalmeida, Pandur, chico, robson}@unoeste.br

RESUMO – Grande número de acidentes e prejuízos causados pela presença da fadiga em pessoas fez com que a preocupação em relação a esse tema apresentasse uma atenção maior nesses últimos anos. Estudar e desenvolver técnicas capazes de detectar a fadiga em um usuário se tornou possível graças a evolução contínua da tecnologia e da visão computacional. O processamento de imagem se tornou uma forte ferramenta, pois seu uso não interfere na condução do veículo, contudo, existem interferências que dificultam a análise do condutor por meio da visão computacional, essas interferências são difíceis de controlar pois envolvem a luminosidade do ambiente, custo do poder computacional da ferramenta e objetos desnecessários no ambiente. Foram utilizadas as técnicas de visão computacional: *Template Matching*, Transformada de *Hough* e *Landmarks*, linguagem Python com auxílio da biblioteca OpenCV e uso do hardware de baixo custo Raspberry. Os resultados foram satisfatórios e mostram que a junção de técnicas adequadas e luminosidade controlada torna possível detectar fadigas e alertar o condutor com grande acurácia.
Palavras-chave: Fadiga; Processamento de Imagens; Visão Computacional.

ABSTRACT – A large number of accidents and injuries caused by the presence of fatigue on people has caused a concern about this, more attention has been taken in recent years. Studying and developing techniques capable of detecting fatigue in a user has become possible thanks to the continuous evolution of technology and computer vision. Image processing has become a strong tool because does not interfere the driving of the vehicle, however, there are interferences that make difficult the analysis of the driver through the computer vision, these interferences are difficult to control because they involve the luminosity of the environment, cost of computational power of the tool and

unnecessary objects in the environment. computer vision techniques were used: Template Matching, Hough Transfor and Landmarks, Python language with the help of the OpenCV library and use of low cost hardware such as Raspberry. The results were satisfactory and show that the combination of techniques and controlled light makes it possible to detect fatigue and alert the driver with great accuracy.
Keywords: Fatigue; Image Processing; Computer Vision.

1. INTRODUÇÃO

Uma de várias causas de acidentes de trânsito é a fadiga, que pode afetar tanto condutores comuns quanto condutores profissionais. Pesquisas relatam que grande parte das pessoas não costumam descansar ou revezar o volante quando viajam por longas horas, tal comportamento traz impacto significativo na condução do motorista, podendo gerar desgaste e cansaço. Roque (2013) ressalta que a fadiga está, necessariamente, associada a um determinado tempo de condução, pois cada indivíduo responde de maneira singular quando exposto a essa condição.

Entre os principais efeitos da fadiga destaca-se o aumento significativo do tempo de resposta e a diminuição da capacidade cognitiva. Desta forma, há uma probabilidade de ocorrência de erros humanos durante o desempenho de sua ação. Nessas condições, um condutor fatigado pode não conseguir visualizar um obstáculo no seu percurso ou até mesmo adormecer e provocar um acidente. Acidentes causados por fadiga é um problema que se encontra no mundo inteiro e pesquisadores como os citados nesse artigo, buscam ferramentas para diminuir esse número, para isso, muitos utilizam o "poder" da tecnologia.

De acordo com a base de dados coletada pela polícia rodoviária federal no ano de 2018 entre os meses "Janeiro" e "Setembro", houve cerca de 1984 acidentes de trânsitos ocorridos por conta da má condução do motorista ao tomar os riscos de dirigir com sonolência.

A cada dia que se passa, o número de projetos que envolvem tecnologia crescem gradativamente, passou a ser uma ferramenta de auxílio com objetivo de entregar benefícios à população. Projetos das mais diversas áreas como saúde, segurança, comunicação, transporte, entre outros, são desenvolvidos com o conhecimento e aplicação de técnicas computacionais.

A visão computacional e a inteligência artificial são campos que tem progredido para atender as demandas diárias da população, além de que essas áreas destacam-se como uma excelente alternativa para monitorar condutores por meio de suas técnicas de processamento de imagem, pois geralmente não interferem o motorista em sua condução do veículo. A visão computacional constitui-se em estudo de imagens, que tem como atributos de entrada uma imagem e o resultado a interpretação da mesma pelo sistema, procurando simular a visão humana. Gonzalez (1993) diz que o caminho percorrido da visão computacional em relação ao processamento de imagens até o resultado a ser obtido passa por três etapas, sendo elas, visão em baixo nível, visão em nível intermediário e visão de alto nível. A detecção de fadiga em motoristas por meio de imagens em tempo real tem como ferramenta uma das tecnologias mais promissoras e utilizadas, técnicas de visão computacional, ou seja, recolher, processar e analisar imagens digitais com vista a identificar nas mesmas possíveis padrões de fadiga (ROQUE, 2013). Segundo Vural et al. (2007), existem diversas técnicas para a detecção de fadiga em motoristas, tal como a aplicação de sensores em partes do veículo para que se possa monitorar o condutor, porém, essa técnica não provou ser eficiente pois de acordo com Abut (2005, apud VURAL et al., 2007), pessoas reagem de diferentes maneiras ao apresentar fadiga em relação ao acelerador do carro. Outra maneira de detectar fadiga que tem apresentado resultados positivos como apresentado por Chieh et al. (2005), é utilizar técnicas de eletro-oculograma (EOG) para fazer uma classificação a partir de sinais captados e assim determinar o resultado, contudo, essa técnica possui desvantagem, para captar sinais é preciso de aparelhos específicos que podem atrapalhar a condução do motorista. Em consideração ao que foi dito, a detecção da fadiga com o uso da visão computacional e da inteligência artificial veio a ter uma vantagem em relação aos outros métodos por não ser invasivo ao motorista. Vural et al. (2007), Ueno, Kaneda e Tsukino (1994),

Queiroz (2011) e outros pesquisadores, mostram que os sinais de fadiga apresentados podem ser observados nos mínimos detalhes visuais, sendo essa também uma vantagem da utilização do processamento de imagem e do aprendizado de máquina. Detectar o nível de fadiga de um motorista por meio de seu monitoramento com o uso da visão computacional é considerado complexo, pois envolve elementos fisiológicos e comportamentais do condutor que devem ser analisados. Independente disso, como foi dito, a visão computacional é vista como um excelente recurso para tal finalidade, ela possibilita o monitoramento da pessoa sem interferir na sua condução.

Este trabalho tem como objetivo analisar em tempo real, dados obtidos das aplicações de métodos de visão computacional e processamento de imagens em um conjunto de imagens capturadas da face do motorista durante seu percurso. Para isso, será desenvolvido um sistema capaz de prognosticar a presença de fadiga e sonolências em motoristas com base nos resultados processados. Serão analisados e apresentados métodos para a identificação da presença de fadiga e sonolência que melhor se enquadre com o objetivo proposto, como o método *Adaboost* para detecção de faces e olhos e o método de cálculo baseado no sistema PERCLOS, um método para estimar se um indivíduo possuí ou não fadiga.

O sistema foi desenvolvido para que auxilie o usuário motorista, alertando-o sobre seu atual estado de cansaço. Trata-se de um sistema não invasivo, pois a análise ocorre a partir de técnicas de processamento de imagens e inteligência artificial aplicadas no reconhecimento de movimentos faciais previamente detectados. Outra finalidade deste trabalho, é expor diversificados ambientes em que este sistema pode ser usufruído de uma maneira que auxilie na identificação de padrões de fadiga, além de servir como base de estudos para projetos futuros.

A divisão desse trabalho consiste no estudo de trabalhos relacionados onde são apresentados estudos semelhantes que auxiliaram no desenvolvimento; no desenvolvimento da ideia, onde são mostrados uma visão geral, os recursos utilizados e a metodologia de desenvolvimento; após essas etapas são apresentados os resultados e a conclusão do trabalho onde são mostrados os pontos positivos e negativos desse trabalho e possíveis futuras pesquisas.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A vontade de desenvolver inovações para solucionar problemas mundiais cresce paralelamente com o avanço da tecnologia, empresas e pesquisadores buscam solucionar casos e problemas dos mais variados tipos, isso inclui a detecção de sonolência e fadigas. Empresas como a montadora de carros Volvo estão adicionando funcionalidades em seus carros que detectam a presença de fadiga no condutor, consequentemente, ajustando o veículo para que alerte o motorista de uma forma segura. Carros da Volvo com essas funcionalidades já estão em circulação e utilizam de *hardwares* específicos e inteligência artificial para detectar a fadiga.

Pesquisadores também utilizam do poder da tecnologia para buscar soluções ideais desse problema. Em 2011, Queiroz propôs em sua dissertação um sistema baseado em vídeo para detecção de sonolência em motoristas, o mesmo utilizou três métodos para detectar a sonolência baseado no processamento de imagens e inteligência artificial, sendo eles a aplicação de um limiar automático na imagem, a aplicação de um limiar alto na imagem e utilização do *Template Matching*. Segundo Queiroz (2011), o método baseado em limiarização automático apresentou um resultado abaixo dos outros dois métodos, tendo como resultado 94,3%, já a aplicação do limiar alto foi o que teve um melhor resultado, sendo 98,1% de acerto e a

utilização do *Template Matching* obteve 96,4% de acertos.

Outro pesquisador que trabalhou na detecção da fadiga foi Roque (2013), o mesmo também utilizou a visão computacional para analisar vídeos e aplicar métricas para detecção de fadigas. Com um vídeo gravado do motorista, Roque utilizou a técnica de detecção de gestos para identificar os ações dos olhos, possibilitando identificar o estado do olho do condutor, se estava aberto, fechado ou parcialmente fechado. Além dos olhos, Roque também analisou a inclinação da face do condutor e a quantidade de bocejos.

Os métodos utilizados para obter os resultados dessa pesquisa feita por Roque foram PERCLOS e AECS (em relação aos olhos), bocejos e orientação da cabeça do condutor. Em relação aos olhos, AECS obteve um índice de eficácia menor comparando com o PERCLOS, sendo esse índice 64,3% e o do PERCLOS 100%. Enquanto no PERCLOS a media é feita com a porcentagem de quantidade de olhos (abertos ou fechados) em uma imagem, o AECS considera o tempo em que uma pessoa precisa para fechar e abrir os olhos, sendo assim, considerando apenas imagens o PERCLOS apresenta vantagens em cima ao AECS Roque (2011). Na comparação global, a métrica que considera a orientação da face teve uma eficácia de 31,3% e a de bocejos teve 55,4% de eficácia. Os testes foram realizados em vídeos de condutores e com iluminações do ambiente diferentes.

Pode-se observar que existem diversos trabalhos nessa área, tanto de pesquisadores quanto de empresas, até mesmo entre parceria dos dois lados e isso traz um benefício considerável para os cidadãos, principalmente para os condutores, ajudando e prevenindo possíveis acidentes.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Visão Geral

A análise dos dados de acidentes de trânsito causados pela fadiga mostram que a detecção da mesma tem uma grande importância na contribuição da segurança, portanto, o sistema proposto deve apresentar uma qualidade suficiente para não ter erros e isso trouxe complexidades no desenvolvimento do trabalho, tais como as variáveis que atrapalham na execução do sistema junto a luminosidade do ambiente e a baixa qualidade dos vídeos.

Com os devidos equipamentos sendo utilizados, o sistema terá como objetivo detectar a probabilidade do motorista estar com fadiga e assim alertá-lo. Sua funcionalidade é baseada na análise dos olhos, boca e face encontrados em uma imagem, verificando se os mesmos se enquadram no sistema de detecção de fadiga (PERCLOS e outros).

Para o desenvolvimento e teste do trabalho foram utilizados hardwares específicos instalados no automóvel. Além disso, a câmera foi configurada para cada usuário de teste. Após a configuração, os testes foram salvos em um arquivo e analisados.

3.2 Recursos Utilizados

Com o grande número de acidentes de trânsito referente a fadiga e sonolência no motorista causados pela atividade contínua do mesmo, é de suma importância a fácil acessibilidade do sistema proposto, portanto foi proposto a utilização de um hardware de baixo custo para analisar o condutor. Nesse trabalho, foi utilizado o computador de baixo custo Raspberry Pi 3 modelo B como pode ser visto na Figura 1, e uma câmera V2 NoIR de 8 MP própria para o Raspberry que também pode ser visto na Figura 2.

A escolha dessa câmera se deve ao fato de que ela não possui o filtro de infravermelho, por esse motivo as luzes infravermelhas refletidas da face não são filtradas, fazendo com que a imagem noturna fique visível nesses tipos de câmera, portanto, com uma fonte de luz infravermelha em ambientes escuros é possível detectar a imagens mais nítidas.

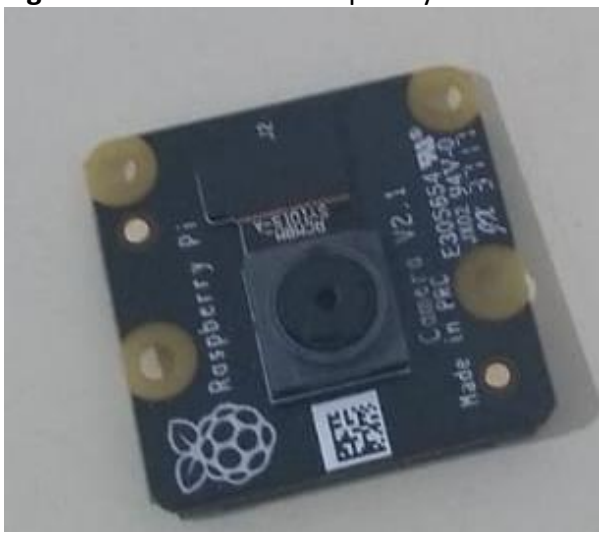
Bibliotecas como OpenCV e Dlib foram utilizadas como apoio fundamental no desenvolvimento da aplicação, sendo elas essenciais para obter o resultado esperado no processamento das imagens.

Figura 1. Raspberry Pi.



Fonte: (Próprio autor).

Figura 2. Câmera NoIR Raspberry Pi.

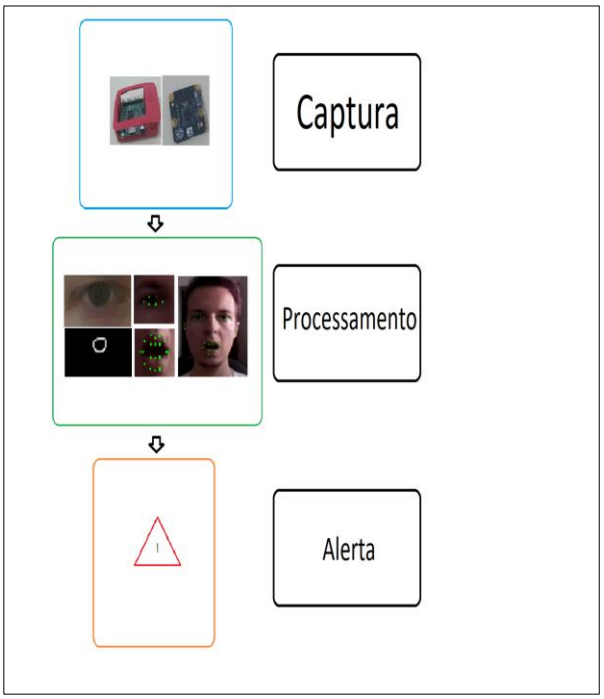


Fonte: (Próprio autor).

3.3 Metodologia

A metodologia do projeto foi dividida em três etapas como pode ser visto na Figura 3 abaixo. Cada uma é responsável por uma fase, como a captura do vídeo, processamento dos frames e o alerta ao condutor.

Figura 3. Processo da metodologia.

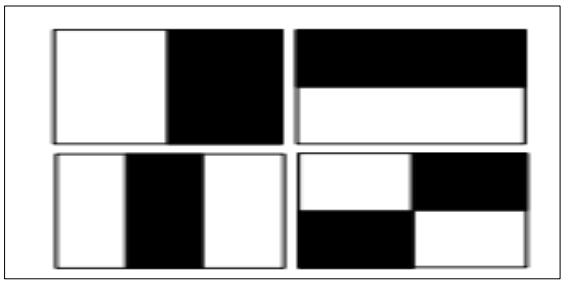


Fonte: (Próprio autor).

A primeira etapa é a obtenção das imagens que devem ser processadas, a captura dessas imagens são feitas por uma câmera e de um Raspberry, com a configuração adequada o resultado gera uma sequência de *frames* que serão processados nos próximos passos.

Na segunda etapa, que tem como objetivo o processamento da imagem, cada *frame* da sequência obtida é analisada. As fases dessa etapa consiste em detectar faces, detectar olhos, detectar a boca, detectar características específicas e analisar essas descrições para gerar um resultado. Caso a análise seja positiva, o sistema emite um sinal ao motorista, caso contrário, é analisada o próximo frame. Partindo da primeira fase, deve-se obter a face do motorista, foi utilizado o algoritmo Viola-Jones que foi proposto pelos pesquisadores Paul Viola e Michael J. Jones (2003), essa técnica consiste em utilizar o algoritmo de *Adaboost* para treinar um classificador com *features* específicas para detecção de face, possui grande destaque no tempo de detecção. Algumas dessas *features* utilizadas podem ser vista na Figura 4.

Figura 4. Configurações possíveis de feature.



Fonte: (Próprio autor).

A captura resulta em pontos que classificam o espaço que a face se encontra na imagem. Interligando esses pontos é obtido a região em que se encontra a face, possuindo os pontos da face, é feito um recorte de acordo com os pontos na imagem, deixando apenas a face selecionada como mostrado na Figura 5. Essa etapa auxilia muito para eliminar possíveis erros nas detecções futuras.

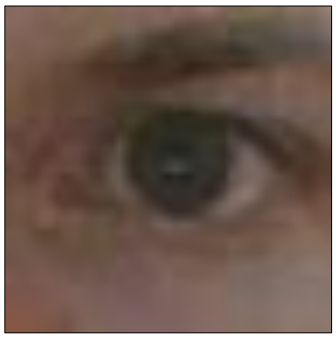
Figura 5. Face detectada.



Fonte: (Próprio autor).

Caso a captura da face do motorista seja efetuada com sucesso, a imagem é enviada ao próximo processamento que consiste em detectar os principais emissores da presença de fadiga, as regiões de interesse, sendo eles os olhos e a boca. Para detectar os olhos, He et al. (2013) mostra que existem diversas maneiras, tal como, a transformada de *Hough*, *Adaboost* e a Análise de Componentes Principais (PCA) e sua escolha foi utilizar a aplicação do algoritmo de *Adaboost* usando *Haar-like* com característica de detecção de olhos. Nesse trabalho foram utilizados dois métodos para detecção dos olhos, os dois são baseados em classificadores treinados para detectar essa região. O primeiro é o que He et al. (2013) propuseram, que se baseia em um classificador treinado pelo algoritmo *Adaboost* utilizando *Haar-Likes* específicos. Esse método, como o método Viola-Jones, também retorna pontos que interligados delimitam uma região em que o olho detectado se encontra, recortando essa região é obtido o olho como pode ser visto na Figura 6.

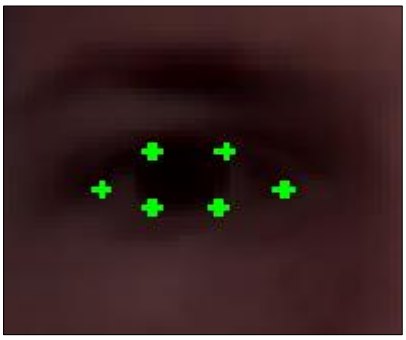
Figura 6. Olho detectado.



Fonte: (Próprio autor).

O segundo método para detectar os olhos foi um classificador conhecido como *landmarks* que baseia-se em detectar pontos específicos de uma região, no caso, foram selecionados seis pontos que contornavam os olhos conforme a Figura 7. Segundo Silva e Oliveira (2012), esse sistema de *landmarks* é muito importante em tarefas de reconhecimento facial e análise de expressões faciais. Esses pontos são detectados a retornados e com análises é possível identificar fatores e expressões sendo que os mesmos acompanham a movimentação em tempo real.

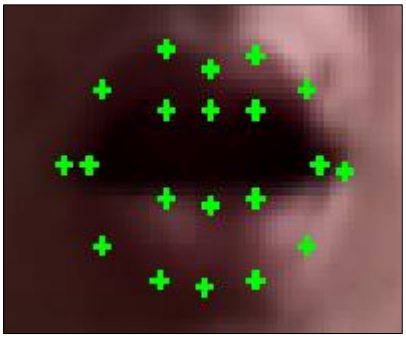
Figura 7. Pontos *Landmarks*.



Fonte: (Próprio autor).

Outra região de interesse muito importante para prever a fadiga é a boca. Conforme Roque (2013) a biblioteca OpenCV possui alguns métodos para a detecção da boca, porém esses métodos não geram o efeito desejado para esse trabalho pelo fato do motorista não estar com sua cabeça em um estado fixo, fazendo com que a imagem passe a capturar outras partes do rosto e confundindo com uma boca. Assim, também foram utilizados *landmarks* para detectar os pontos da boca como mostra a Figura 8.

Figura 8. Pontos dos *Landmarks* da boca.



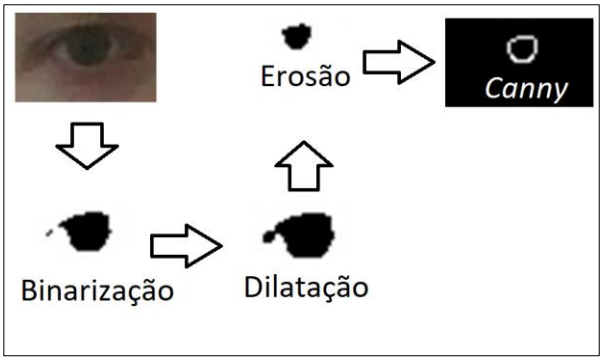
Fonte: (Próprio autor).

Detectado as regiões de interesse o próximo passo é a detecção do estado do olho e da quantidade de bocejos. Essas características são muito importantes pois as mesmas emitem sinais da presença da fadiga. Para detectar o estado dos olhos foram utilizados três técnicas.

A primeira técnica implementada foi detectar o estado do olho através da íris, verificando se a íris é detectada por meio do método de Transformada de *Houh* em Círculo. Com a região do olho detectado, foram aplicados filtros para binarizar a imagem e operadores morfológicos para facilitar na detecção do círculo, depois disso, foi utilizado o detector de bordas *Canny* para circular a região da íris. Com a borda da íris detectada foi possível aplicar a Transformada de *Hough* em Círculo. Essa transformada consiste em percorrer a borda detectada, para cada ponto da borda foi tracejado um círculo com um raio configurado, e para cada posição desse círculo foi incrementado um valor em uma matriz do tamanho da imagem. Ao terminar de percorrer a borda detectada, a posição da matriz que tiver mais incremento será o centro do círculo. Caso não houver um centro, o círculo não foi detectado e consequentemente a íris também não.

Na Figura 9, pode-se observar os resultados das aplicações dos métodos de binarização, erosão, dilatação e do detector de bordas *Canny*, para com isso, aplicar a transformada de *Hough* em círculo.

Figura 9. Resultados dos métodos.



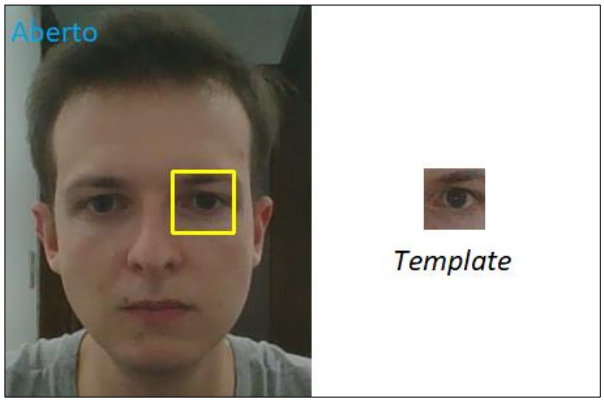
Fonte: (Próprio autor).

Se a iris foi detectada porém a face não, significa que houve um piscar, essa piscada vai ser guardada para uma futura análise. A desvantagem desse método é a grande interferência da luz do ambiente e o alto custo de processamento.

A segunda técnica para detectar o estado do olho foi o *Template Matching*. Esse método consiste em comparar uma imagem de *template* salva com a imagem detectada como é mostrado por Horng et. al. (2004) e Queiroz (2011). Essa comparação retorna um *score* normalizado, que pode ser visto como uma probabilidade da imagem *template* ser a

imagem detectada. Assim, tendo salvo como *template* uma imagem do olho do motorista, o olho detectado vai ser comparado, se o *score* for acima de 0.8 e abaixo ou igual a 1.0, o olho é considerado aberto, se o resultado estiver entre 0.5 e 0.8, o olho é considerado fechado, caso não estiver entre esses valores, o olho não tem nenhuma relação. Esse método para detectar o estado do olho por meio do *template* e as métricas foram propostas por Queiroz (2011). A Figura 10 mostra a detecção do estado de um olho aberto por um *template* salvo.

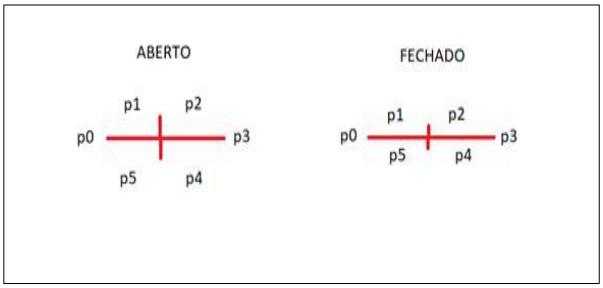
Figura 10. Detecção com *Template Matching*.



Fonte: (Próprio autor).

A terceira e última técnica implementada para detectar o estado do olho foi feito calculando a distância entre os pontos detectados dos *landmarks*, a relação da distância está entre os pontos superiores e inferiores comparados com uma reta entre os centrais como mostra a Figura 11. O resultado desse cálculo mostra que quanto maior o valor, mais distantes os pontos estão entre si, e quanto menor o valor, mais próximos estão. Com a aplicação de um *threshold*, é possível identificar o estado do olho, se tiver abaixo do valor recomendado o olho é considerado como fechado, se tiver acima, o olho é considerado aberto.

Figura 11. Distância dos pontos dos olhos.



Fonte: (Próprio autor).

Essa mesma técnica é utilizada para detectar os bocejos que ocorrem, porém, o *threshold* dessa relação é diferente da detecção do estado do olho. De acordo com Roque (2013), caso a boca fique por 1,5 segundo aberta, significa que o bocejo está acontecendo. Assim, se o cálculo da distância dos pontos da boca estiver acima do *threshold* por 1,5 segundos, significa que o condutor estava bocejando, essa característica também é guardada para uma futura análise.

Com as quantidades de piscadas e bocejos, são executados os cálculos para detectar a fadiga. Pelos olhos, foi utilizado o sistema de PERCLOS (*PERcentage eye CLOsure*). Esse sistema se baseia na porcentagem em que os olhos detectados estão fechados durante um determinado tempo. De acordo com Pradham et al. (2012), com a quantidade de olhos detectados (*Nm*) em um tempo e a quantidade de olhos considerados abertos (*Na*) também detectados no mesmo tempo, é possível calcular o PERCLOS por meio da Equação (1). Sendo o resultado a porcentagem de olhos considerados abertos em relação a quantidade de olhos encontrado no frame.

$$PERCLOS = (\frac{Nm-Na}{Nm}) * 100\% \quad (1)$$

O resultado do PERCLOS e as demais métricas guardadas, são passados para o terceiro e último processo da metodologia, que consiste em analisar o resultado e emitir o sinal de alerta se necessário.

Na análise, caso o resultado do PERCLOS esteja acima de 80%, o condutor é classificado como fadigado crítico, por outro lado, se o resultado estiver acima de 70% e a

quantidade de bocejos estiver constante durante um minuto, o condutor também é classificado como fadigado.

Com a classificação do condutor obtida, se o mesmo for classificado como fadigado, o sistema emite um alerta sonoro para o mesmo tomar as devidas providências.

4. RESULTADOS

Os resultados foram baseados na resposta da aplicação desse sistema em um grupo de 10 pessoas, sendo 5 homens e 5 mulheres, que simularam estar dirigindo. A iluminação e outras características estavam controladas e não foi levado em consideração o poder computacional para assim testar os algoritmos implementados e compará-los.

Os testes não consideraram o poder computacional pois *hardwares* de baixo custo computacional não suportaram os métodos de *Template Matching* e Transformada de *Hough*.

Para o teste, foi considerado a quantidade de sinais de alerta ao motorista em relação a quantidade de fadigas que existiram. A simulação da fadiga foi realizada seguindo o padrão proposto por Queiroz (2011), em que o mesmo diz que se um condutor tiver durante 1 minuto 16 piscadas lentas de intervalos de 3 segundos, o resultado do PERCLOS estará acima de 80%, possibilitando o alerta.

A Tabela 1 apresenta as métricas obtidas como o número de fadigas e bocejos alertados em cada técnica desenvolvida. Para a taxa de acerto foi considerado a Equação (2) que visa o total de alerta dividido pela quantidade total simulada.

$$Taxadeacerto = alerta/quantidade \quad (2)$$

Tabela 1. Resultados

	Template Matching	**Transformada de *Hough***	***Landmarks***
Total de frames	6000	6000	6000
Fadigas alertadas	9	5	15
Bocejos alertados	11	-	27
Inconsciência	8	8	8

Fonte: (Próprio autor).

O total de fadigas simuladas foram 17, de bocejos 30 e de inatividades 8. Considerando o alerta de fadiga, foi totalizado uma taxa de acerto de 91% com o sistema de *landmarks*, 29,5% com Transformada de *Hough* e 52,9% de acerto com *Template Matching*. Em relação aos bocejos, a utilização do método de Transformada de *Hough* é inviável vendo que foi feita especificamente para detecção das métricas dos olhos, já em relação ao bocejo, o *Template Matching* obteve 36,6% de acerto e o *landmark* teve 90% de acerto. Na detecção de inatividades foi levado em consideração o tempo que o condutor ficou de olhos fechados, caso esse tempo ultrapasse 3 segundos, o condutor é considerado como inconsciente e o alerta é emitido. Em todos as técnicas a inconsciência foi detectada e alertada, tendo uma taxa de acerto de 100%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desconsiderando o poder computacional necessário para o sistema ser executado e a mudança da iluminação do ambiente, as três técnicas utilizadas para calcular as métricas dos olhos tiveram resultados distintos porém satisfatórios, sendo o que apresentou um melhor resultado entre essas três foi a técnica que utiliza *landmarks*.

Técnicas como a utilização de Transformada de *Hough* e *Template Matching* possuem um alto custo de processamento computacional, sendo inviável sua utilização em um equipamento de baixo custo como o Raspberry. Já os *landmarks* não necessitam de um grande processamento, isso traz uma vantagem em sua utilização.

A detecção de fadiga é muito complexa, interferências do ambiente são muito comuns em estradas e acabam atrapalhando sua execução. A iluminação do ambiente foi a interferência menos controlável, pois durante o percurso do motorista o horário pode variar e a iluminação também tem oscilação. Sendo assim, o sistema aplicado em um tempo com mudanças drásticas de iluminação não terão resultados satisfatórios.

Em relação a luminosidade, existem poucos recursos que podem auxiliar nesse aspecto quando se trata de processamento de imagem, alguns desses podem ser utilizados como auxílio em futuros trabalhos. Com um emissor de luz infravermelha, a câmera NoIR utilizada no Raspberry possui vantagens nesse quesito de luminosidade, pois no ambiente noturno elas não filtram a luz, possibilitando uma visão nítida da face do motorista.

Apesar das diversas dificuldades encontradas, essas técnicas podem auxiliar em futuros projetos. A utilização de outras pesquisas em conjunto com esses métodos tornam o sistema mais apto a ter melhores resultados, por exemplo, a utilização de equipamentos em veículos que verificam a característica do mesmo como dito por Vural et al. (2007), permitem uma melhor análise, sendo que assim, é possível identificar a aceleração e a direção do veículo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Segurança Pública. **Polícia Rodoviária Federal**. Disponível em: https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes/acidentes#wrapper. Acesso em: 18 out. 2018.

CHIEH, T.C.; MUSTAFA, M.M.; HUSSAIN, A.; HENDI, S.F.; MAJLIS, B.Y. **Development of Vehicle Driver Drowsiness Detection System Using Electrooculogram (EOG)** . In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS, COMMUNICATIONS, & SIGNAL PROCESSING WITH SPECIAL TRACK ON BIOMEDICAL ENGINEERING. 1., 2005, Kuala Lumpur, Malaysia. Anais [...]. Lumpur, Malaysia, 2005. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/document/4977181 Acesso em: 09 fev. 2018

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing.** 3. ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1993.

HE, J.; ROBERSON, S.; FIELDS, B.; PENG, J.; CIELOCHA, S.; COLTEA, J. Fatigue Detection using Smartphones. **J Ergonomics**, v. 3, n.3, p. 1-7. doi:10.4172/2165- 7556.1000120 Disponível em: https://www.omicsonline.org/open-access/fatigue-detection-using-smartphones-2165-7556.1000120.php?aid=21520. Acesso em: 05 out. 2017.

HORNG, W. B.; CHEN, C. Y.; CHANG, Y.; FAN, C. H. Driver Fatigue Detection Based on Eye Tracking and Dynamic Template Matching. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL, 2004. Taipei, Taiwan. **Anais** [...]. Taiwan, 2004. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/1297400/. Acesso em: 20 set. 2018.

NASCIMENTO, A. V. do; GONZAGA, A. **Detecção de faces humanas em imagens digitais:** um algoritmo baseado em lógica nebulosa. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – USP, São Carlos, 2005. Disponível emwww.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../Dissert_Nascimento_AndreiaV_corrigido.pdf . Acesso em: 28 ago. 2018.

PRADHAN, T.; BAGARIA, A.N.; ROUTRAY, A. **Measurement of PERCLOS using eigen-eyes**. Disponível em:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6481864> Acesso em: 17 set. 2018.

QUEIROZ, K. L. de. **Sistema baseado em vídeo para detecção de sonolência em motoristas.** 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011**.** Disponível em: repositorio.unb.br/bitstream/10482/10704/1/2011_KedsonLopesQueiroz.pdf. Acesso em: 27 ago. 2018.

ROQUE, P. M. da S. **Técnicas de Visão Computacional para a detecção automática de padrões de fadiga.** 2013. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade de Évora, Évora, PO, 2013. Disponível em: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/9085/1/Tecnicas%20de%20Visao%20Computacional%20para%20a%20detecao%20automatica%20de%20padroes%20de%20fadiga.pdf. Acesso em: 27 ago. 2018.

SILVA, C.; SCHNITMAN, L.; OLIVEIRA, L. **Detecção de landmarks em imagens faciais baseada em informações locais.** Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271825271_Detection_of_Facial_Landmarks_Using_Local-Based_Information. Acesso em: 10 out. 2018.

UENO, H.; KANEDA, M.; TSUKINO, M. Development of drowsiness detection system. In: _VNIS'94 VEHICLE NAVIGATION AND INFORMATION SYSTEMS CONFERENCE. 1994. Yokohama. **Proceedings** [...].Yokohama, Japan,1994 Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/document/396873 Acesso em: 09 fev. 2018.

VIOLA, P.; JONES, M.J. Robust Real-Time Face Detection. **International Journal of Computer Vision**, v.56, n.2, p.137-154, 2004. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb.. Acesso em: 19 set. 2018.

VURAL, E.; CETIN, M.; ERCIL, A.; LITTLEWORT, G; BARLETT, M.; MOVELLAN, J. **Drowsy Driver Detection Through Facial Movement Analysis**. In: HCI: International Workshop on Human-Computer Interaction, 2007. Disponível em < https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-75773-3_2. Acesso em: 09 fev. 2018.