

LOQUIOCULIS: UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE COMUNICAÇÃO AUMENTATIVA E ALTERNATIVA PARA PESSOAS COM SÍNDROME DO ENCARCERAMENTO

Eduardo dos Santos Arruda*

Andressa Bezerra Ferreira**

Felipe Bastos Nunes***

RESUMO

Desde os primórdios da civilização humana a comunicação desempenha um papel fundamental para a vida em sociedade, sendo essencial para uma boa qualidade de vida e inclusão social. No entanto, existe uma síndrome chamada síndrome do encarceramento que impossibilita a comunicação verbal e não verbal convencionais, sendo necessários aparatos que auxiliem a comunicação desses indivíduos. Desta forma, este estudo trata da construção de um sistema de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) denominado *LoquiOculis*, que utiliza os poucos movimentos possíveis desses indivíduos para construir mensagens e assim poder se comunicar com outras pessoas. A ferramenta funciona como um sistema de digitalização em um teclado virtual, utilizando detecção dos movimentos das pálpebras para controlar o *mouse*. Os testes mostraram alta precisão na detecção de piscadas (93%) e bom desempenho médio de comunicação (6,86 caracteres por minuto com *mouse*, 5,3 caracteres por minuto com piscadas). Toda a construção do sistema é discutida em detalhes, desde as escolhas dos requisitos funcionais até a sua implementação, levando em consideração o objetivo de ser um sistema de baixo custo que utiliza técnicas não intrusivas para a detecção das piscadas.

Palavras-chave: Teclado virtual, Tecnologia Assistiva, Comunicação Aumentativa e Alternativa, Visão computacional, Síndrome do Encarceramento.

ABSTRACT

Since the beginnings of human civilization, communication has played a fundamental role in life in society, being essential for a good quality of life and social inclusion. However, there is a syndrome called locked-in syndrome that makes conventional verbal and non-verbal

* Graduando em Ciência da Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Aracati, CE, Brasil. E-mail: eduardodossantosarrudag@gmail.com

** Mestre em Ciência da Computação, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: andressa.ferreira@ifce.edu.br

*** Especialista em Docência no Ensino Técnico, docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Aracati, CE, Brasil. E-mail: felipebastos@ifce.edu.br

communication impossible, requiring devices to help these individuals communicate. Therefore, this study involves the construction of an Augmentative and Alternative Communication (AAC) system called LoquiOculus that uses the few possible movements of these individuals to construct messages and thus be able to communicate with other people. The tool works as a scanning system on a virtual keyboard, using eyelid movement detection to control the mouse. The tests showed high accuracy in detecting blinks (93%) and good average communication performance (6.86 characters per minute with mouse, 5.3 characters per minute with blinks). The entire construction of the system is discussed in detail, from the choices of functional requirements to its implementation, taking into account the objective of being a low-cost system that uses non-intrusive techniques for detecting blinks.

Keywords: Virtual keyboard, Assistive Technology, Augmentative and Alternative Communication, Computer vision, Locked-in Syndrome.

1 INTRODUÇÃO

A comunicação desempenha um papel fundamental na vida humana, sendo essencial em diversos aspectos da vida, além de ser crucial para a boa convivência e harmonia na sociedade (MACHADO, 2023). O ser humano, dotado de uma natureza multissensorial, possui a capacidade única de se comunicar por meio de diversas modalidades, seja através da linguagem verbal utilizando palavras articuladas ou escritas ou usando linguagem não verbal por meio de gestos e expressões faciais (SILVA et al., 2000).

Contudo, a síndrome do encarceramento (SE), também conhecida como *Locked-in syndrome* (LIS), é uma condição neurológica rara e grave que impede a comunicação verbal e não verbal. Esta síndrome é caracterizada por tetraplegia e anartria, resultando na completa imobilização do indivíduo e a impossibilidade de se comunicar através da fala ou de gestos. No entanto, apesar das limitações físicas impostas pela SE, as pessoas afetadas mantêm sua função cognitiva intacta, podendo enxergar e ouvir. Os únicos movimentos voluntários preservados incluem a abertura e o fechamento das pálpebras e os movimentos oculares verticais (CARDWELL, 2013).

Diante desse quadro, uma forma de comunicação viável para esses indivíduos é utilizar desses movimentos restritos para responder a perguntas com respostas pré-estabelecidas, como perguntas com apenas duas opções: sim ou não, o que restringe as possibilidades de resposta. Outra técnica, descrita no livro "O Escafandro e a Borboleta" (BAUBY, 2014), envolve a seleção de caracteres através do piscar dos olhos enquanto alguém recita o alfabeto em voz alta, ampliando desta forma as opções de resposta.

Atualmente com o avanço da tecnologia é possível superar ainda mais a barreira de comunicação imposta pela síndrome do encarceramento com o emprego de outros meios de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) mais eficientes. Conforme descrito por Voity et al. (2024) é possível utilizar métodos de CAA de alta tecnologia para fazer o rastreamento ocular

para controlar dispositivos eletrônicos como o smartphone ou o computador, utilizar a captura de sinais neurais para selecionar comandos em uma Interface Cérebro Computador (ICC) ou usar a detecção de piscadas para selecionar uma opção em sistemas computacionais que utilizam o método de varredura.

Com base na situação descrita, o propósito fundamental deste estudo é desenvolver uma solução de CAA denominada *LoquiOculis* capaz de facilitar a comunicação de pessoas afetadas pela Síndrome do Encarceramento. Esta ferramenta funciona com um sistema de varredura de teclas em um teclado virtual, utilizando a detecção do piscar voluntário dos olhos ou o pressionamento do botão esquerdo do *mouse* como método de seleção. Além disso, o teclado oferece recursos adicionais, como sugestão de palavras e a capacidade de reproduzir o texto escrito.

Destaca-se que o sistema será projetado com a premissa de ser uma solução de baixo custo, uma vez que requer apenas um computador, uma *webcam*, alto-falantes e um *mouse*. Essa abordagem visa aumentar a disponibilidade da ferramenta, ampliando assim o potencial impacto positivo na vida daqueles que enfrentam desafios de comunicação devido à Síndrome do Encarceramento.

A fim de apresentar a solução proposta, este trabalho está estruturado da seguinte maneira. A Seção 2 traz a fundamentação teórica, onde são abordados os principais conceitos relacionados à proposta deste trabalho. A Seção 3 discute os trabalhos relacionados, apresentando soluções de comunicação para indivíduos com graves dificuldades de comunicação verbal e não verbal. Na Seção 4, a metodologia é detalhada, explicando o processo de desenvolvimento do sistema *LoquiOculis*, desde a escolha dos requisitos até a implementação das funcionalidades. A Seção 5 apresenta os resultados obtidos nos testes realizados. E por fim, a Seção 6 encerra o trabalho com as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Síndrome do encarceramento

A Síndrome do Encarceramento (SE), também conhecida como *Locked-in Syndrome* é uma condição grave que pode surgir como consequência de doenças neurodegenerativas, como a esclerose lateral amiotrófica (ELA), hemorragias causadas por acidente vascular cerebral (AVC) ou traumas que ocasionam em lesões no trato corticoespinal e na ponte ventral do corpo humano (ANGELIN et al., 2020).

Desta forma, o indivíduo acometido por esta síndrome fica incapaz de movimentar qualquer parte superior e inferior do corpo, ocasionando a tetraplegia, além disso, a paralisia facial impede que sejam feitas expressões faciais e a paralisia do olhar conjugado horizontal faz com que a movimentação horizontal dos olhos não seja possível, sendo viável apenas os movimentos verticais e os movimentos das pálpebras de abrir e fechar os olhos.

Além disso, a maioria desses indivíduos permanecem com as suas funções cognitivas

preservadas, logo, seus pensamentos, lembranças e conhecimentos ficam intactas (FILHO; GOMES, 1982), dessa maneira é como se a pessoa ficasse presa ao seu próprio corpo sem a possibilidade de se movimentar e se comunicar verbalmente ou por gestos.

De acordo com Smith e Delargy (2005) cerca de 80% das pessoas afetadas pela síndrome do encarceramento têm uma expectativa de vida em torno de 10 anos. Este autor também evidencia a importância do tratamento precoce que além de aumentar a expectativa de vida contribui para uma melhor qualidade de vida, mesmo que seja um ganho limitado devido a gravidade desta condição.

Além da SE clássica, existem a SE incompleta que é semelhante a SE clássica, exceto pelo fato que além dos movimentos dos olhos verticais e das pálpebras existe a capacidade de realizar outros movimentos voluntários. Já a SE total representa um extremo oposto onde os indivíduos encontram-se com a consciência preservada, mas estão em um estado de completa incapacidade para realizar qualquer tipo de movimento voluntário, abrangendo uma paralisia total que impede até mesmo a mínima capacidade de movimentar os olhos ou piscar (PATTERSON; GRABOIS, 1986) (ANGELIN et al., 2020).

Diante das graves limitações físicas impostas pela Síndrome do Encarceramento, a tecnologia assistiva surge como uma importante ferramenta capaz de mitigar algumas dessas barreiras e desafios, proporcionando uma melhor qualidade de vida e inclusão social para esses indivíduos (ANDRADE, 2023).

2.2 Tecnologia Assistiva

Ao longo da história humana, várias ferramentas de auxílio foram desenvolvidas para aprimorar habilidades e facilitar diversas atividades cotidianas, entretanto o termo Tecnologia Assistiva (TA) ainda é considerada recente sendo introduzido originalmente em “1988 nos Estados Unidos, como um elemento jurídico fundamental na legislação denominada *Public Law 100-407*” (BERSCH, 2023b).

No Brasil o termo foi conceituado pelo Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) em 2006 como:

“Uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social” (TÉCNICAS, 2009).

Além disso, a Lei Brasileira de Inclusão, 13.146 de julho de 2015 reconhece a Tecnologia Assistiva (TA) como um componente essencial para a promoção de acessibilidade capaz de proporcionar autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social para pessoas com deficiência (PLANALTO, 2023).

Neste sentido a concepção da tecnologia assistiva não está diretamente ligada ao produto, mas também envolve uma gama de metodologias e serviços que dependem de diversas áreas do conhecimento para serem criados, sendo necessário a união de diversas expertises para a criação de soluções eficazes e inclusivas (RODRIGUES; ALVES, 2013). A criação de um sistema de comunicação aumentativa e alternativa para a comunicação de pessoas com síndrome do encarceramento, por exemplo, requer um entendimento das necessidades específicas desse público, indo além da mera funcionalidade técnica do sistema.

2.2.1 Comunicação Aumentativa e Alternativa

A Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) é uma subárea da Tecnologia Assistiva que tem como propósito a pesquisa e a construção de ferramentas capazes de facilitar e expandir habilidades de comunicação de indivíduos que possuem sérias dificuldades em compreender e se comunicar por meio da fala, gestos e/ou da escrita (CESA; MOTA, 2015) (BERSCH, 2023a).

Na perspectiva da Ciência da Computação, um sistema de CAA pode ser entendido como conjunto integrado de *softwares* e *hardwares* que juntos formam ferramentas capazes de oferecer suporte e auxílio a indivíduos na superação de suas dificuldades de comunicação (FIDALGO; FRANCO, 2019).

A CAA pode ser aplicada sem a ajuda de auxílios externos, utilizando de canais diferentes da fala, destacando a comunicação não verbal como a leitura facial e corporal, possibilitando a interpretação de expressões faciais, gestos e posturas corporais para detectar e compreender mensagens. Contudo, sua eficácia pode ser aprimorada por meio de ferramentas comunicacionais, as quais não só auxiliam na construção e compreensão de expressões, mas também ampliam o repertório comunicativo, possibilitando uma comunicação mais precisa e efetiva. (BERSCH, 2023a).

Neste contexto, é importante destacar a importância da junção de diferentes métodos e áreas do conhecimento, além das particularidades e desafios individuais de cada pessoa para aprimoração de ferramentas que se adequem a necessidade de cada indivíduo. Por exemplo, uma forma de comunicação possível de ser utilizada por pessoas com síndrome do encarceramento clássica é usar o movimento de abrir e fechar os olhos como meio de comunicação, desta forma é possível criar um sistema de comunicação aumentativa e alternativa que utilize a detecção do piscar dos olhos para controlar uma interface gráfica em sistemas computacionais.

2.3 Detecção do piscar dos olhos

Piscar os olhos consiste em fazer o movimento de abrir e fechar as pálpebras. Pode ser uma ação involuntária ou voluntária. Na forma involuntária, pode ocorrer como um mecanismo natural de maneira inconsciente, para manter os olhos lubrificados e protegidos, ou pode ser desencadeado por estímulos externos, como uma ação reflexiva, servindo como uma resposta automática a fatores como luminosidade intensa, partículas no ar ou outros estímulos sensoriais.

Além desses movimentos involuntários, o piscar também pode ser uma ação voluntária quando o indivíduo tem controle consciente sobre o movimento das pálpebras (TAKAHAGI et al., 2008).

A detecção do piscar dos olhos pode ser aplicada em diferentes cenários, como em um algoritmo de monitoramento de piscadas para detectar sinais de sonolência em motoristas e emitir alertas sonoros (RAHMAN; SIRSHAR; KHAN, 2015), em um algoritmo para estimar a fadiga ocular por meio da detecção de piscadas espontâneas (KUWAHARA et al., 2022), ou ainda em um algoritmo para avaliar o nível de atenção dos alunos com base na frequência de piscadas (DAZA et al., 2021).

Os métodos de detecção de piscadas podem ser divididos em métodos intrusivos e não intrusivos. Os métodos intrusivos envolvem a necessidade de uso de dispositivos específicos onde são colocados em contato direto com o usuário, como pequenos eletrodos colocados próximos aos músculos oculares para captar impulsos elétricos que são geradas ao piscar e mover os olhos, ou óculos especiais com pequenas câmeras capazes de capturar o movimento das pálpebras. Já os métodos não intrusivos são projetados para capturar informações sem a necessidade de intervenção física direta, minimizando assim o desconforto e preservando a naturalidade do processo de detecção (SOUKUPOVA, 2016).

De acordo com (NYSTRÖM et al., 2024), três métodos de detecção de piscadas têm sido amplamente utilizados nas últimas décadas. São eles eletro-oculografia (EOG), lentes de contato especiais com bobinas de busca magnética e vídeo-oculografia.

A eletro-oculografia (EOG) é baseada na medição da diferença de potencial elétrico entre a córnea e a retina. Essa diferença de potencial gera um campo elétrico ao redor do globo ocular. Quando os olhos ou as pálpebras se movem, esse campo elétrico também se move, e eletrodos posicionados ao redor do olho podem captar essas variações de potencial, permitindo assim o rastreamento dos movimentos oculares e também movimento de abrir e fechar os olhos. Esse método é utilizado devido a ser menos invasivo que outros métodos e por ter um custo relativamente baixo. Entretanto, é suscetível a ruído elétrico e exige várias calibrações para garantir uma boa precisão nos resultados (NYSTRÖM et al., 2024).

As lentes de contato especiais com bobinas de busca magnética são mais invasivas, pois envolvem o uso de lentes de contato de silicone com pequenas bobinas de busca magnética integradas, capazes de detectar as variações no campo magnético ao redor dos olhos ao movimentá-los. Essas bobinas são conectadas por um fio a um dispositivo externo que registra os movimentos oculares. Embora ofereçam uma excelente precisão no rastreamento dos movimentos dos olhos, o processo de utilização é muito invasivo e pode ser desconfortável para alguns usuários (NYSTRÖM et al., 2024) (SILVA et al., 2021).

A vídeo-oculografia é uma técnica não invasiva baseada no uso de câmeras de vídeo para rastrear os movimentos oculares ou detectar piscadas. Existem vários métodos que foram propostos para detecção de piscadas utilizando vídeo-oculografia. Um deles envolve o processamento digital de imagens para realçar as pupilas, permitindo a comparação dos frames com os olhos abertos e fechados. Outro método é a utilização de visão computacional para detectar pontos de referência nos olhos, a fim de calcular a Razão de Aspecto dos Olhos (EAR), que representa

a razão entre a abertura e a largura dos olhos. No entanto, uma desvantagem dos métodos que utilizam vídeo-oculografia é que eles são sensíveis às condições de iluminação (NYSTRÖM et al., 2024).

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, são apresentados nove trabalhos ou livros que abordam problemáticas semelhantes com a proposta deste estudo ou que retratem o cotidiano de pessoas com síndrome do encarceramento e trazem no seu conteúdo como foi feita a comunicação com essas pessoas. Estes trabalhos têm em comum a implementação de sistemas de CAA que oferecem soluções para melhorar a comunicação de indivíduos que enfrentam grandes dificuldades na comunicação verbal e não verbal. Com o propósito de aproveitar contribuições desses estudos anteriores, cada sistema de CAA proposto foi analisada e posteriormente foram incorporadas ao sistema *LoquiOculis* algumas ideias ou funcionalidades que são relevantes à proposta deste trabalho.

3.1 O escafandro e a borboleta

O escafandro e a borboleta (BAUBY, 2014) é um livro autobiográfico escrito por Jean-Dominique Bauby que conta um pouco da sua história antes de possuir a síndrome do encarceramento e a sua rotina convivendo com ela. No livro também é descrito o sistema de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) que ele utilizou para escrever este livro, que consiste em uma prancha de comunicação com as letras organizadas em ordem decrescente de acordo com a frequência de uso na língua francesa, a qual uma pessoa recitava cada letra, aguardando que ele indicasse a letra escolhida ao fechar o olho esquerdo. Esse processo era repetido até que a mensagem estivesse completa.

3.2 Abordagem interdisciplinar na síndrome do encarceramento: relato de caso

Neste trabalho (ANGELIN et al., 2020) é descrito a evolução de um paciente do sexo masculino de 39 anos natural de São José do Rio Preto que foi diagnosticado com Síndrome do Encarceramento. Para manter a comunicação com este paciente foram utilizados dois métodos manuais.

Primeiramente foi construída uma prancha de comunicação com 4 linhas e 7 colunas com as letras do alfabeto organizadas em ordem alfabética. Cada linha possui uma cor distinta para facilitar o rastreamento das letras. Para formar a mensagem, um interlocutor percorria cada linha informando a cor dela e esperava que o paciente com síndrome do encarceramento piscasse os olhos para selecionar a linha. Após selecionado a linha o interlocutor falava cada letra presente nela até que o usuário piscasse novamente os olhos para selecionar a letra, posteriormente, o interlocutor escrevia a letra em papel posicionado abaixo da prancha. Desta forma, esse método era repetido até que o paciente concluísse a sua mensagem.

Após uma melhora na resposta motora cervical, foi possível adotar um novo método de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) que consistia no acoplamento de uma caneta a laser na armação do seu óculos para permitir que o indivíduo seleciona-se as letras movimentando um pouco a cabeça para direcionar o laser para a letra pretendida na prancha de comunicação.

3.3 Desenvolvimento de alternativa de comunicação para pacientes com síndrome de encarceramento

Diferente dos demais, neste projeto (ALVES, 2020), é apresentada uma aplicação *desktop* de baixo custo com o propósito de facilitar a comunicação de pessoas com síndrome do encarceramento a partir da seleção de frases prontas. Esta aplicação consiste em uma interface com quatro categorias (expressões, vontades, sentimentos físicos e sentimentos psicológicos) que agrupam diversas frases correspondentes a cada categoria. O método de seleção das categorias ou frases consiste no rastreamento ocular para identificar a região na interface a qual o usuário está focando o olhar. Deste modo o usuário pode mirar o olhar no canto inferior esquerdo ou direito ou ainda no canto superior esquerdo ou direito para escolher uma categoria e depois do mesmo modo uma frase.

3.4 Um estudo preliminar do protocolo de navegação de interfaces gráficas baseado na codificação de huffman

Este trabalho (GOMIDE et al., 2015) tem o propósito de criar um método de interação humano computador (IHC) para pessoas com síndrome do encarceramento utilizando um algoritmo de detecção de piscadas e a codificação de Huffman. O método criado utiliza a codificação de Huffman para distinguir os comandos em uma sequência de combinações de piscadas curtas e longas. Deste modo, quanto maior o número de comandos em uma interface maior vai ser o número de combinações de piscadas curtas e longas para selecionar um determinado comando. A precisão da classificação do olho aberto ficou em torno de 96,41% e do olho fechado em 63,06%.

3.5 Educar em um piscar de olhos: superando desafios dentro da sala de aula por meio do uso de tecnologia assistiva

Em Bem (2020) é apresentada uma aplicação *desktop* com modelo semelhante a um *chat* denominada *SmartBlink* que possui o objetivo de aprimorar a comunicação entre alunos com múltipla deficiência e professores em uma sala de aula. Esse sistema utiliza o método de varredura em até 8 frases previamente cadastradas pelo seu professor e 2 botões com as seguintes funcionalidades: limpar caixa de mensagem e enviar mensagem. O método de seleção é feito com o piscar dos olhos através de um dispositivo chamado *MindWave* que utiliza o EEG (eletroencefalograma) para detectar as piscadas. Ao selecionar uma frase, este texto é enviado para o campo de mensagem semelhante a um *chat* na própria aplicação e para enviar ao professor o usuário deve piscar novamente os olhos quando a varredura chegar no botão enviar mensagem, desta forma o professor poderá respondê-lo utilizando o *chat* do próprio sistema instalado no

seu computador. Para validar os resultados, foi conduzida uma comparação com outro *software* de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA) denominado *TelepatiX*, onde foi possível perceber uma redução do tempo que um usuário leva para digitar ou expressar cada uma das frases em cerca de 140%.

3.6 Communication via Eye Blinks - Detection and Duration Analysis in Real Time

Neste trabalho (GRAUMAN et al., 2001) é criado um método não intrusivo de entrada de dados chamado "*Blink Link*" que detecta as piscadas em tempo real e não exige a detecção prévia do rosto ou iluminação especial. O método utiliza a detecção de piscadas voluntárias para gerar o cliques do *mouse* para operar alguns *softwares*. Com esse objetivo ele faz a utilização de várias técnicas de visão computacional capazes de detectar automaticamente os olhos em tempo real através de uma câmera e também consegue determinar se uma piscada foi voluntária ou involuntária com base na sua duração. Com base nos testes, o algoritmo conseguiu detectar 98% das piscadas e alcançou uma precisão de 93% de acertos na classificação de piscadas curtas e longas. Para testar a viabilidade deste método como método de entrada de dados em computadores, foi utilizado o *Blink Link* em três jogos simples que utilizam o método de varredura e o clique do *mouse* como métodos de interação, depois cada usuário foi instruído a digitar "*GO EAGLES*" em um programa de ortografia que utiliza os mesmos métodos. Como resultado a pontuação média nesses jogos foi de 90% e no programa de ortografia o tempo médio necessário para completar esta tarefa em uma tentativa foi de 95 segundos.

3.7 Writing Blindly in Incomplete Locked-In Syndrome with A Custom-Made Switch-Operated Voice-Scanning Communicator - A Case Report

Neste trabalho (CALIGARI; GIARDINI; GUENZI, 2022) é desenvolvido um sistema de CAA que utiliza o método de varredura auditiva e um interruptor como método de seleção adaptado especificamente para uma mulher de 51 anos de idade com síndrome do encarceramento incompleto e com a visão comprometida. Os autores agruparam as letras e os comandos em seis conjuntos de A1 até A6. O sistema faz a varredura de cada conjunto pronunciando sequencialmente os nomes atribuídos a cada conjunto ("A1", "A2", "A3" ... "A6"), onde a usuária pode selecioná-lo pressionando o interruptor, em seguida da mesma forma cada item do conjunto selecionado é pronunciado sequencialmente e novamente a usuária pode selecioná-lo pressionando novamente o interruptor, se o item selecionado for uma letra, um número ou um sinal de pontuação, ele é adicionado a caixa de mensagem do sistema. Após um processo de tentativa e erro usando diferentes temporizações chegou-se a um tempo ideal da varredura em 800 milissegundos. Com este tempo ela foi capaz de escrever mais de 2 palavras por minuto.

3.8 Computer Vision Based Eye Gaze Controlled Virtual Keyboard for People with Quadriplegia

No estudo conduzido por Islam, Rahman e Sarkar (2021), é apresentado a construção de um sistema *desktop* de baixo custo com *layout* em formato de teclado contendo 40 teclas, distribuídas da seguinte forma: 26 letras do alfabeto da língua inglesa, 10 números de 0 a 9, uma tecla de espaço, uma tecla para ponto final, uma tecla com o símbolo gráfico "@" e uma tecla com a funcionalidade de delete. O teclado proposto utiliza o método de varredura, onde as teclas são iluminadas sequencialmente com base na direção do olhar do usuário. O processo de digitação acontece da seguinte forma: primeiro o sistema rastreia a direção do olhar do usuário, em seguida inicia a ativação das teclas correspondentes nessa direção, quando a tecla pretendida pelo usuário for iluminada, ele deve fechar os olhos durante um pequeno período de tempo para selecioná-la, desta forma é produzido sinal sonoro e a letra é mostrada em uma outra janela do sistema. Para avaliar o desempenho do sistema, cinco participantes foram convidados a escrever a palavra "HI THERE" usando o teclado virtual. Os seguintes parâmetros foram avaliados: caracteres por minuto (CPM) e palavras por minuto (PPM). Os resultados obtidos foram 9,5 CPM e 2,03 PPM.

3.9 Desenvolvimento de um teclado virtual para comunicação por meio de gestos visuais

No Trabalho de Silva et al. (2021) é feito um estudo sobre interação humano computador através do rastreamento ocular (Eye tracking), além de propor a criação de um teclado virtual ocular WEB que utiliza a detecção do traçado do olhar como método de entrada de texto. Este teclado opera com o auxílio do rastreador ocular *Tobii 4c*, um dispositivo que utiliza luz infravermelha invisível ao olho humano para determinar a área da interface que o usuário está focando o olhar. Este dispositivo é empregado para movimentar o cursor do computador de acordo com a direção para a qual o usuário olha. O processo de escrita no sistema envolve o usuário mirando seu olhar na primeira letra da palavra desejada e pressionando um botão físico, em seguida, o olhar percorre letra por letra até alcançar a última letra da palavra, momento em que o botão é liberado. Após essa etapa, um algoritmo de decodificação é acionado para transformar a sequência de coordenadas percorridas pelo olhar em palavras e então é exibido ao usuário até 5 possíveis palavras que ele pretendeu digitar, juntamente com o tempo em milissegundos necessário para a resposta do algoritmo de decodificação. Os resultados obtidos demonstram uma taxa de acerto superior a 90%, ao utilizar diferentes tamanhos de léxicos variando de 5 a 500 palavras com os *layouts QWERTY, Fitaly e OPTI*. A velocidade de digitação nestes três tipos de *layouts* variou entre 3,56 a 7,41 palavras por minuto (PPM) e a taxa de reconhecimento do algoritmo de decodificação foi em média de 83,75%.

3.10 Correlações entre os trabalhos

A seguir, é apresentada duas tabelas. A primeira Tabela 1 mostra as ideias que foram adicionadas ao projeto, enquanto a segunda Tabela 2 apresenta as ideias que não foram incorporadas

ao sistema e os respectivos motivos:

Autor(es)	Ideia ou funcionalidade
Bauby (2014)	Ordenar as letras em ordem de frequência de utilização em uma determinada língua.
Angelin et al. (2020)	Método de seleção de linhas para depois selecionar o item da coluna.
Grauman et al. (2001)	Utilizar técnicas de visão computacional para permitir o controle do <i>mouse</i> através de piscadas voluntárias.
Caligari, Giardini e Guenzi (2022)	Usar algum interruptor para permitir a seleção de teclas no teclado virtual que utiliza o método de varredura.
Islam, Rahman e Sarkar (2021)	Reproduzir um sinal sonoro toda vez que o usuário selecionar algum item da interface.
Silva et al. (2021)	Sugestões de palavras

Tabela 1 – Ideias Adicionadas ao Projeto.

Autor(es)	Ideia ou funcionalidade	Incorporada ao projeto
Gomide et al. (2015)	Utilização da codificação de huffman com algumas combinações de piscadas curtas e longas para selecionar algumas funcionalidades específicas do sistema.	Não, pois aumentaria a complexidade de utilização do sistema proposto.
Bem (2020) e Alves (2020)	Utilização de frases prontas ao invés das letras do alfabeto.	Não, pois restringe as possibilidades de respostas.
Silva et al. (2021)	Empregar o rastreamento ocular como método de seleção.	Não, porque as pessoas com síndrome do encarceramento têm dificuldade em movimentar os olhos lateralmente. Isso dificultaria o acesso a recursos localizados nos cantos esquerdo ou direito da interface.
Bem (2020)	Utilizar interface cérebro computador	Não, pois é um método intrusivo que pode encarecer o sistema proposto neste trabalho.

Tabela 2 – Ideias Não Incorporadas ao Sistema.

Desta forma, todas as ideias escolhidas para fazerem parte do sistema melhoram a experiência do usuário final, garantindo um sistema eficiente, intuitivo e de fácil utilização por pessoas com Síndrome do Encarceramento.

4 O SISTEMA *LOQUIOCULIS* E A SUA CONSTRUÇÃO

Esta seção tem como objetivo apresentar como foi feita a criação do sistema *LoquiOculis*.

O desenvolvimento desta aplicação visa oferecer uma ferramenta de comunicação aumentativa e alternativa acessível, que permita que pessoas com síndrome do encarceramento se comuniquem e expressem seus pensamentos de forma autônoma.

Na construção desta ferramenta é utilizada técnicas não intrusivas, para capturar as piscadas voluntárias dos usuários. Além disso, a aplicação foi desenvolvida visando a integração de tecnologias de inteligência artificial já existentes, como bibliotecas de visão computacional para a detecção dos pontos faciais e linguagem natural para transformar o texto em áudio.

O sistema funciona com dois métodos de entrada. O primeiro com o reconhecimento de piscadas voluntárias e segundo com o pressionamento do botão esquerdo do *mouse* para ser utilizado por pessoas com síndrome do encarceramento incompleto.

Ao longo desta seção, serão abordados aspectos teóricos, técnicos e de design do desenvolvimento dessa aplicação, destacando a importância de considerar as necessidades específicas dos usuários alvo para promover uma maior acessibilidade comunicativa aos usuários que utilizarem o sistema.

4.1 Requisitos funcionais

De acordo com Sommerville (2011), os requisitos funcionais representam as características que descrevem as ações que o sistema deve realizar. Com objetivo de aproveitar métodos e estudos anteriores, foram analisados cada método de CAA proposto nos trabalhos apresentados na seção de trabalhos relacionados, a fim de determinar quais requisitos se alinham melhor com a proposta deste trabalho. Foram definidos os seguintes requisitos funcionais:

1. Utilizar a varredura de linhas e colunas: O sistema deve realizar primeiro a varredura das linhas e, ao selecionar uma linha, deve efetuar uma nova varredura nas colunas correspondentes à linha selecionada para, então, permitir a seleção de uma tecla no teclado virtual.
2. Selecionar uma linha ou tecla através do piscar voluntário dos olhos ou ao pressionar o botão esquerdo do *mouse*: O usuário deve fechar os olhos durante um curto período de tempo ou pressionar o botão esquerdo do *mouse* para fazer uma seleção.
3. Sugerir palavras: O sistema tem que sugerir palavras à medida que o usuário for selecionando as letras.
4. Reproduzir o texto presente na caixa de mensagem: O sistema deve permitir a reprodução do texto que foi digitado pelo usuário.
5. Apagar um caractere: O sistema deve permitir a exclusão da última letra ou número escolhido pelo usuário.
6. Apagar todo texto: O sistema deve permitir a exclusão de todo texto digitado pelo usuário.

Em referência a literatura correlata, apresentada na Seção 3, destaca-se que: Os requisitos 1 e 2 têm suas bases nos trabalhos de Angelin et al. (2020) e Grauman et al. (2001), enquanto o requisito 3 é fundamentado no estudo de Silva et al. (2021). O requisito 4 é embasado em

Islam, Rahman e Sarkar (2021), e os requisitos 5 e 6 são contribuições advindas dos autores deste estudo.

4.2 Arquitetura do sistema

Na Figura 1 é apresentada a arquitetura do sistema *LoquiOculis*, que permite que uma pessoa com síndrome do encarceramento interaja com o sistema por meio de piscadas voluntárias ou pressionando o botão esquerdo do *mouse*.

Para utilizar o sistema com piscadas, além da interface WEB, é necessário executar o algoritmo de detecção de piscadas que foi desenvolvido com a linguagem de programação *Python*. Esse algoritmo utiliza as bibliotecas *OpenCV* e *MediaPipe* para processar as imagens capturadas pela câmera e detectar os pontos de referência dos olhos para possibilitar a identificação das piscadas e a biblioteca *Pyautogui* usada para simular o pressionamento do botão esquerdo do *mouse*, possibilitando a interação com o sistema.

Já na interface WEB, foram utilizadas tecnologias como HTML para estruturar a página, CSS para estilizar a interface e o *JavaScript* para implementar funcionalidades como a varredura das teclas e a captura do evento de clique do *mouse*. A biblioteca *FuzzySet.js* foi utilizada para sugerir palavras à medida que o usuário digita, e a interface *SpeechSynthesisUtterance* para permitir que o texto digitado seja convertido em áudio e reproduzido pelos alto-falantes do dispositivo, facilitando a comunicação do usuário.

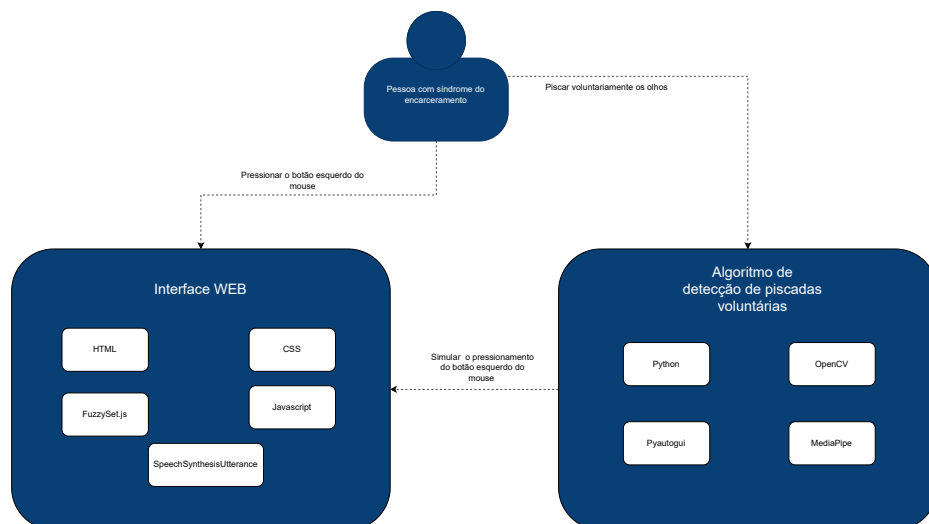


Figura 1 – Diagrama da arquitetura do sistema.

Mais detalhes sobre o sistema são explorados nas subseções a seguir.

4.3 Design

A interface do sistema *LoquiOculis* se baseia em um teclado de computador. Seus diferenciais de design estão no fato de que, em cada linha foi adicionada uma cor diferente para facilitar a visualização e a localização das linhas. Para evitar sobrecarregar a interface com um

grande número de teclas e reduzir o tempo necessário para selecionar as últimas teclas, optou-se por não incluir na interface teclas com letras acentuadas ou com sinais gráficos. Ademais, para tornar mais fácil a identificação da linha selecionada, ela é destacada das demais, como ilustrado na Figura 2.

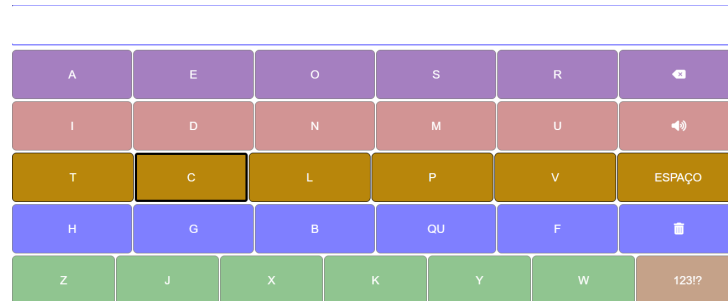


Figura 2 – interface com a terceira linha do teclado virtual selecionada.

É importante ressaltar que o campo de sugestões somente será exibido caso existam sugestões compatíveis com a palavra que está sendo digitada, conforme ilustrado nas imagens 3 e 4.

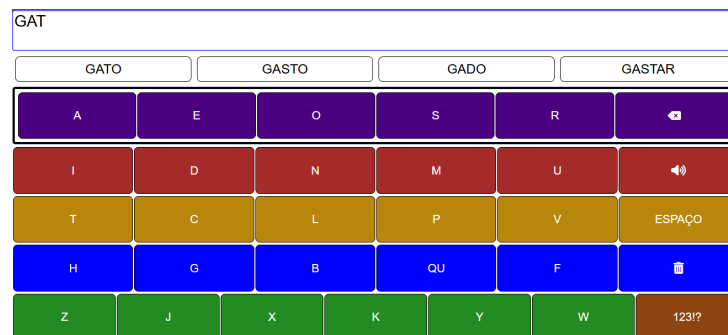


Figura 3 – Interface exibindo sugestões compatíveis com as letras "GAT".

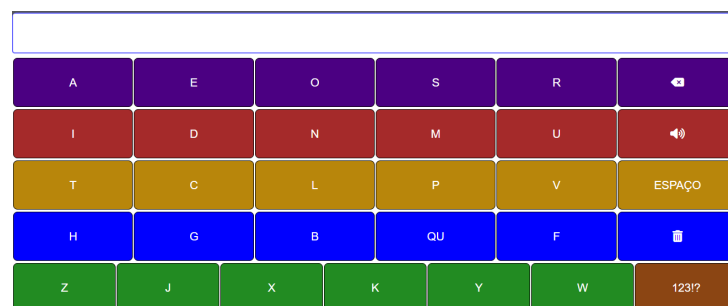


Figura 4 – Interface sem nenhuma sugestão de palavras.

Além disso, o teclado virtual foi dividido em duas partes, a primeira com as teclas contendo letras e a segunda com as teclas contendo números e sinais de pontuação.

Conforme ilustrado na Figura 5, o *layout* da primeira parte do teclado virtual foi estrategicamente organizado com base na frequência com que cada letra aparece em palavras da

língua portuguesa (BRETAS, 2010), colocando as letras mais comuns nas primeiras linhas. Isso foi feito para facilitar a digitação de diversas palavras e agilizar a seleção das teclas do teclado.

Nesta parte o teclado é composto por uma caixa de mensagem onde ficar o texto digitado, um campo de sugestões de palavras e teclas composta por 26 letras, além de uma tecla de espaço, uma tecla para deletar um caractere, outra para ouvir o texto, uma para deletar todo o texto e outra para ir para outra parte do teclado, totalizando 31 teclas distribuídas em 5 linhas, com as primeiras 4 linhas contendo 6 teclas e a última linha com 7 teclas.

Na primeira linha do teclado, estão localizadas as letras A, E, O, S, R, além da tecla para deletar um caractere. Na segunda linha, encontram-se as letras I, D, N, M, U e a tecla para ouvir o texto que foi digitado. A terceira linha abriga as letras T, C, L, P, V, juntamente com a tecla de espaço. Já na quarta linha, estão posicionadas as letras H, G, B, F e o dígrafo QU, além da tecla para deletar todo o texto. Por fim, na última linha, encontram-se as letras Z, J, X, K, Y, W e a tecla para mudar as teclas de números e pontuações.

Essa sequência de teclas visa otimizar a usabilidade do teclado, facilitando o acesso intuitivo às letras mais frequentemente utilizadas na língua portuguesa, enquanto as teclas adicionais visam enriquecer a experiência do usuário ao fornecer funcionalidades práticas, como ouvir o texto digitado e facilitar a correção de erros na digitação e diminuir o tempo para digitar uma determinada palavra com as sugestões de palavras.

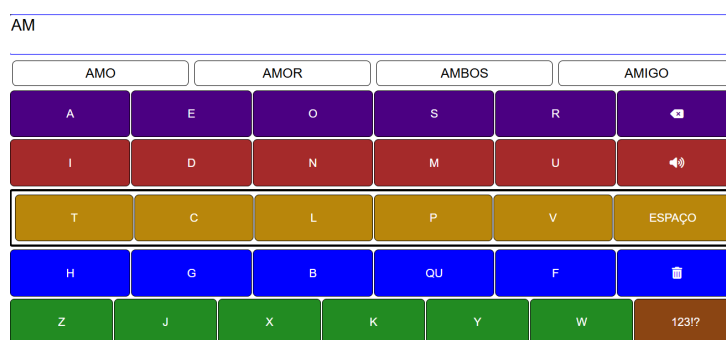


Figura 5 – Interface da primeira parte do teclado.

Na segunda parte, como podemos ver na Figura 6, o teclado virtual é composto pela caixa de mensagem, campo de sugestões e 19 teclas, contendo caracteres numéricos de 0 a 9 e alguns sinais de pontuação.

Na primeira linha estão os números 0, 1, 2, 3, 4 e a tecla com a funcionalidade de deletar um caractere. Na Segunda linha os números 5, 6, 7, 8, e 9. Na terceira linha os sinais de pontuação “?” (Ponto de interrogação), “!” (Ponto de exclamação), “.” (Ponto final) e “,” (vírgula), o símbolo gráfico “@” (Arroba) e a uma tecla para adicionar um pequeno espaço entre os caracteres. Na última linha o sinal de pontuação “;” (Ponto e vírgula) e uma tecla para retornar ao *layout* das teclas principais.

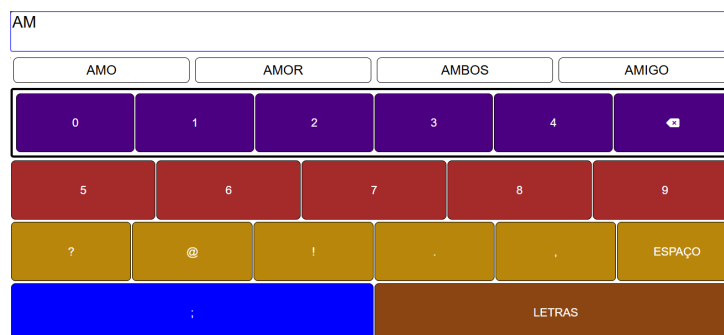


Figura 6 – Interface da segunda parte do teclado.

A implementação da interface WEB pode ser acessada por meio do link do GitHub¹.

4.4 Tecnologias utilizadas para criação da interface

A interface gráfica foi feita utilizando tecnologias comumente utilizadas no desenvolvimento de interfaces WEBS:

O HTML (HyperText Markup Language) é uma linguagem de marcação que foi empregada para definir a estrutura do conteúdo do sistema. Ele é responsável por organizar e estruturar o conteúdo em diferentes elementos, como títulos, parágrafos, listas, links, imagens e etc, sendo a base para qualquer página WEB. Além de crucial para definir a hierarquia e a semântica dos elementos para garantir uma correta interpretação pelos navegadores WEBS e acessibilidade do conteúdo por parte dos usuários(MOZILLA, 2024b).

O CSS (Cascading Style Sheets) é uma linguagem de estilo que foi usada para descrever como elementos são mostrados na interface. Com ele é possível definir os aspectos visuais dos elementos HTML como cores, tamanhos e disposição desses elementos na tela, entre outros aspectos, para garantir que a interface tenha um design atraente e coerente para que a experiência do usuário seja a mais agradável e coesa possível (MOZILLA, 2024a).

O *Javascript* é uma linguagem de programação frequentemente utilizada para tornar páginas WEBS interativas, permitindo a criação de elementos dinâmicos, como pop-ups, animações, atualizações de conteúdo sem recarregar a página, além de interações em tempo real com os usuários e muito mais (MOZILLA, 2024c). Neste sistema ele foi utilizado para criar a varredura nas linhas e colunas no teclado, para adicionar o evento de clique do *mouse* para permitir que o usuário possa clicar em qualquer parte da interface para selecionar uma linha ou tecla do teclado a qual a varredura está direcionada. Além de ser fundamental para a criação das funcionalidades de adicionar o caractere selecionado a caixa de mensagem, apagar todo texto, apagar o último caractere, ouvir o texto digitado, sugerir palavras à medida que o usuário for digitando e mudar o *layout* do teclado para teclas com números e alguns sinais de pontuações ou para o *layout* principal contendo as letras do alfabeto.

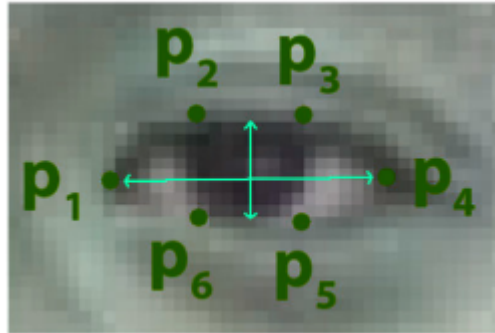
¹ <<https://github.com/eduardoarruda/interface-LoquiOculis>>

4.5 Detecção das piscadas

4.5.1 Detecção das piscadas

Conforme descrito por Mota (2019) para detectar piscadas, primeiro é necessário estabelecer uma Região de Interesse (*ROI- Region Of Interest*) composta por seis pontos de referência em cada um dos olhos, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Pontos de referência em um olho



Fonte: (MOTA, 2019).

Com base em pontos de referência oculares, é calculada em cada olho a Razão de Aspecto Ocular (EAR- Eye Aspect Ratio). Essa métrica representa a relação entre as distâncias verticais e horizontais desses pontos. O EAR pode ser representado pela seguinte equação:

$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2 * \|p_1 - p_4\|} \quad (1)$$

Onde:

p_1, p_2, \dots, p_6 : São os pontos de referência dos olhos em coordenadas 2D.

$\|p_i - p_j\|$: Denota a distância euclidiana entre os pontos p_i e p_j .

O EAR permanece praticamente constante quando o olho está aberto devido à maior distância vertical entre os cantos superior e inferior dos olhos. No entanto, quando o olho está fechado, essa distância diminui, resultando em uma diminuição drástica desse valor.

Dessa maneira, é possível estabelecer um limiar. Se o EAR cai abaixo do valor do limiar significa que o olho está fechado e se for superior significa que o olho está aberto.

Para detectar as piscadas, basta monitorar continuamente o valor do EAR ao longo do tempo. Se o valor do EAR cai abaixo do limiar estabelecido então significa que o usuário piscou o olho.

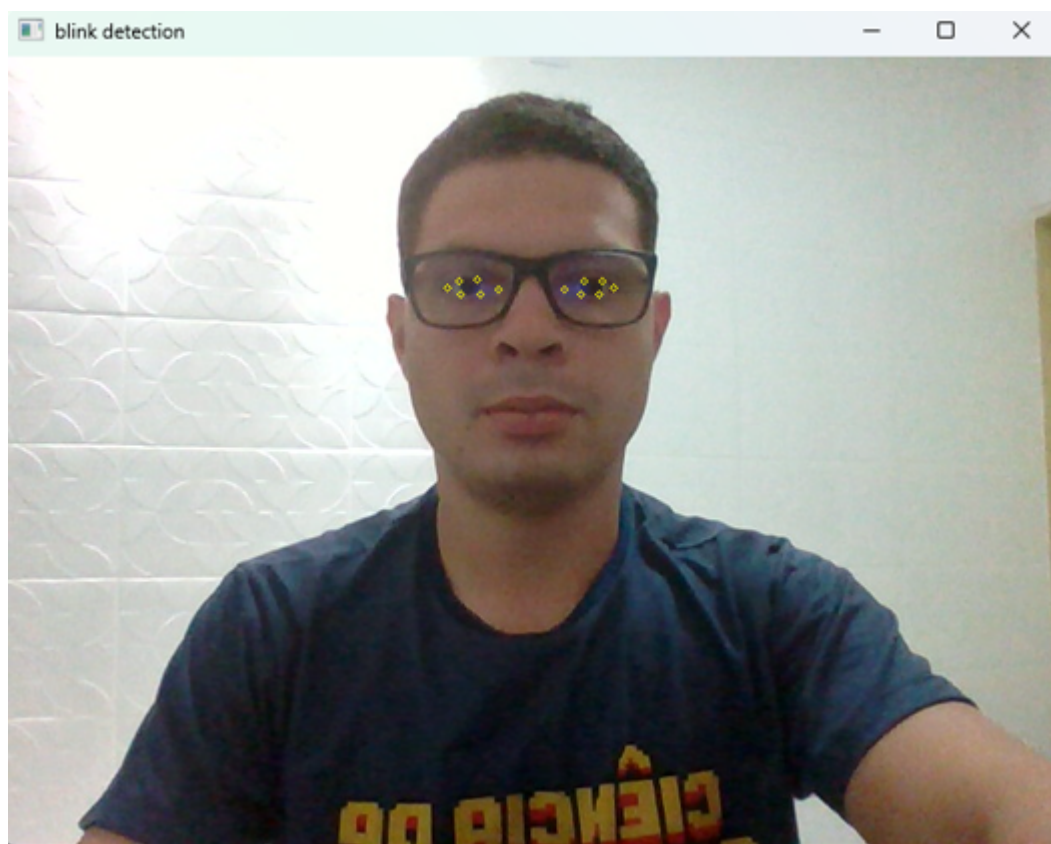
De acordo com Kuwahara et al. (2022) este método apresenta um desempenho excelente, com uma elevada precisão e alta robustez. Entretanto, pode ocorrer uma diminuição na precisão em casos de movimentos bruscos do rosto ou quando o rosto está muito distante da câmera.

4.5.2 Algoritmo de detecção de piscadas

O algoritmo de detecção de piscada foi desenvolvido utilizando *Python*, uma linguagem de programação de alto nível e interpretada na sua versão 3.11.8.

O sistema utiliza a biblioteca de processamento digital de imagens e visão computacional de código aberto conhecida como *OpenCV (Open Computer Vision Library)* para capturar os frames da câmera. Além disso, também é usado para desenhar os pontos da região de interesse nos olhos do usuário em uma interface gráfica, que exibe a imagem da câmera em tempo real, como ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Pontos de referência nos dois olhos



Fonte: elaborado pelos autores

Para identificar os pontos faciais, é utilizado a biblioteca de código aberto desenvolvida pela *Google* chamada *MediaPipe* que é equipada com modelos pré-treinados e possui diversos módulos que permitem o processamento de imagens e vídeos em tempo real (GOOGLE, 2023). No contexto específico deste sistema, é utilizado o módulo *MediaPipe Face Landmarker* que possui um modelo capaz de detectar 478 pontos de referência faciais, no entanto apenas 6 pontos de referência em cada olho são usados para detectar as piscadas. São eles: 33, 160, 158, 133, 153 e 144 para o olho direito e 362, 385, 387, 263, 373 e 380 para o olho esquerdo.

Para fazer o cálculo do *Eye Aspect Ratio (EAR)* é utilizado a seguinte função 1 feita com *Python*:

```
1 def eye_aspect_ratio(p1, p2, p3, p4, p5, p6):
```

```
2   A = abs (p2 - p6)
3   B = abs (p3 - p5)
4   C = abs (p1 - p4)
5   ear = (A + B) / (2.0 * C)
6   return ear
```

Algoritmo 1 – Função para calcular a razão de aspecto dos olhos (EAR, do inglês "*eye aspect ratio*")

Para detectar a piscada do olho foi utilizado o limiar de 0,25 e um intervalo de tempo padrão de 500 milissegundos a 2000 milissegundos para classificar a piscada como voluntária. Esse valor de 500 milissegundos foi escolhido, pois a maioria das piscadas involuntárias duram cerca de 150 a 450 milissegundos (NYSTRÖM et al., 2024), Já o limite de 2000 milissegundos foi estabelecido para evitar que o sistema interprete o fechamento prolongado dos olhos como uma piscada voluntária.

Para simular o pressionamento do botão esquerdo do *mouse* ou clique do *mouse* foi utilizado a biblioteca automação de *mouse* e teclado denominado *Pyautogui*.

O fluxograma do algoritmo de detecção de piscadas proposto é apresentado na Figura 9. Primeiramente, os *frames* são capturados pela câmera. Em seguida, são detectados os pontos dos olhos, que são utilizados no cálculo do *Eye Aspect Ratio (EAR)*. Se o valor do *EAR* for menor que o limiar de 0,25, isso indica que o usuário piscou. Se o tempo em que os olhos permaneceram fechados estiver entre 500 ms e 2000 ms, considera-se que o usuário realizou uma piscada voluntária, acionando assim o clique do *mouse* e reiniciando o processo do algoritmo.

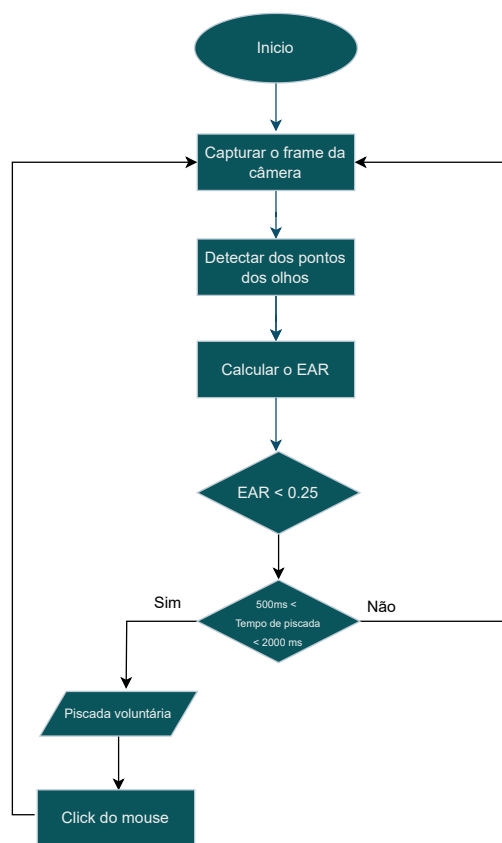


Figura 9 – Fluxograma do algoritmo de detecção de piscadas.

A implementação do algoritmo de detecção de piscadas pode ser acessada por meio do link do *GitHub*²

4.6 Sugestão de palavras

4.6.1 Algoritmo utilizado para sugerir palavras

Para fazer a funcionalidade sugestão de palavras é utilizada a biblioteca *FuzzySet.js* que faz operações de correspondência aproximada de cadeias de caracteres (*fuzzy matching*) (CHIACCHIERI, 2023). Essa biblioteca é usada no sistema para sugerir prováveis palavras à medida que o usuário for selecionando as teclas.

Essa biblioteca compara uma palavra em uma lista de palavras disponíveis e, em seguida, as organiza em ordem decrescente de similaridade, com base em uma pontuação de semelhança atribuída a cada palavra e as armazena temporariamente em uma estrutura de dados chamada *map*. Para calcular a pontuação de semelhança é utilizado a fórmula de similaridade do cosseno, que retorna um valor entre 0 (nada semelhante) e 1 (idêntica). Para melhorar o resultado é possível reorganizar as palavras utilizando a distância de Levenshtein nas 50 palavras com as

² <<https://github.com/eduardooarruda/detector-de-piscadas>>

maiores pontuações de semelhança, para encontrar erros ortográficos nos quais as letras estão fora de ordem.

4.6.2 Corpus linguístico

Um corpus linguístico consiste em um conjunto organizado e sistemático de textos escritos ou registros orais que são essenciais para extrair novas informações a respeito de uma determinada língua (OLIVEIRA, 2009).

O corpus linguístico utilizado para compor a lista de palavras da funcionalidade de sugestões de palavras foi criado por Finatto et al. (2014) onde é apresentada uma tradução das "3000 palavras da *Oxford*" que foi elaborada pela Editora *Oxford* com o intuito específico de listar as palavras mais básicas destinadas a aprendizes da língua inglesa. Este corpus abrange um total de 3853 palavras, das quais 8 estão em inglês, devido à sua frequente utilização pelos brasileiros.

Foi escolhido este corpus linguístico levando em consideração sua dimensão mais compacta se comparado com outros corpus linguísticos que possuem milhões de palavras, afim de otimizar o algoritmo de sugestão de palavras, proporcionando um desempenho mais eficiente.

Além disso, esse corpus se destaca por ter em sua composição muitas palavras que possuem aplicação prática no cotidiano e que podem ser facilmente incorporadas ao dia a dia do usuário.

4.7 Transformação de texto em áudio

Para converter texto em áudio é utilizado a interface *SpeechSynthesisUtterance* que faz parte da *API WEB Speech* do *Javascript* (MOZILA, 2023). Essa interface permite que o texto escrito seja transformado em áudio para poder ouvi-lo no alto-falante do dispositivo. Além disso, ela possui alguns recursos que permitem a personalização da síntese da voz, como a seleção do idioma desejado, ajuste do tom de voz e controle da velocidade da fala. Abaixo é mostrado um exemplo básico do uso da interface *SpeechSynthesisUtterance*:

```
1 var mensagem = new SpeechSynthesisUtterance();
2
3 mensagem.text = "hello world";
4
5 mensagem.lang = "pt-BR";
6
7 mensagem.rate = 1.0;
8
9 speechSynthesis.speak(mensagem);
```

Algoritmo 2 – Código em JavaScript para reproduzir a mensagem "Olá, mundo!" em português, com velocidade normal.

4.8 Operação do Sistema

O sistema utiliza o método de varredura. Primeiro, é feita uma varredura com duração de 3 segundos em cada linha do teclado, depois de selecionado a linha é feita outra varredura também com a duração de 3 segundos em cada tecla da linha selecionada, caso nenhuma tecla seja selecionada e a varredura das teclas chegue ao fim, o sistema reiniciará a varredura das linhas.

Para selecionar uma linha ou uma tecla específica, o usuário tem que realizar o fechamento dos olhos por um período entre 500 milissegundos a 2000 milissegundos, para que o algoritmo de detecção de piscadas classifique como uma piscada voluntária para fazer a seleção no teclado virtual. Além de utilizar as piscadas voluntárias dos olhos, o sistema também utiliza como método de entrada o pressionamento do botão esquerdo do *mouse* que pode ser útil para pessoas com síndrome do encarceramento incompleto.

Ao selecionar qualquer tecla do teclado virtual é emitido um sinal sonoro. Caso for uma tecla de caractere, seu conteúdo é incluído na caixa de mensagem, em seguida o algoritmo de sugestão de palavras é acionado e a depender das letras digitadas podendo exibir até 4 palavras semelhantes como sugestões para facilitar a digitação da mensagem ou corrigir erros ortográficos (se alguma das sugestões de palavras for selecionada ele substitui a última palavra digitada pela palavra selecionada e adiciona um pequeno espaço na frente dessa palavra), em seguida, a varredura reinicia a partir da primeira linha do teclado, perpetuando esse ciclo até que o usuário finalize sua mensagem.

Além da digitação convencional, o usuário tem a capacidade de selecionar teclas para realizar outras ações como apagar um caractere, deletar todo o texto inserido, ouvir a mensagem digitada, além de mudar para o teclado numérico e com pontuações ou para o teclado principal contendo as letras do alfabeto da língua portuguesa.

O fluxograma 10 ilustra de forma breve a operação da interface gráfica do sistema proposto. Primeiramente, inicia-se a varredura das linhas do teclado, caso uma piscada voluntária ou clique do *mouse* for detectado, a linha correspondente é selecionada e um sinal sonoro é emitido, em seguida uma nova varredura é realizada nas teclas da linha selecionada e se uma piscada voluntária for detectada e a tecla selecionada contiver um caractere, este é adicionado à caixa de mensagem e o algoritmo de sugestão de palavras pode sugerir até quatro palavras com base nas letras digitadas, se a tecla selecionada não contiver um caractere, mas sim uma função específica como apagar o último caractere, ouvir o texto digitado, apagar todo o texto ou alternar para outro *layout* de teclas, então essa função é executada. Após isso, o processo do algoritmo é reiniciado, voltando à varredura das linhas.

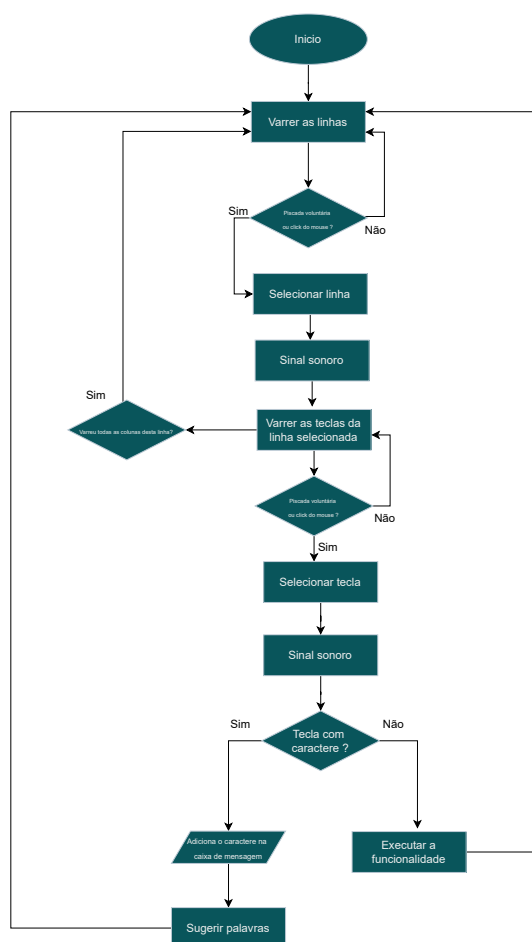


Figura 10 – Fluxograma da operação do sistema.

5 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados dos testes realizados com o sistema *LoquiOculis*. Todos os testes foram feitos no mesmo ambiente com uma boa iluminação para permitir que o algoritmo de detecção de piscadas detecte com precisão as piscadas. Os experimentos foram executados em um *notebook Acer Aspire 5* com o sistema operacional *Windows 11* com arquitetura x64 e 8 GB de RAM. Tanto a interface WEB quanto o algoritmo de detecção de piscadas foram executados neste *notebook* e a sua *webcam* integrada com a resolução de 1280 x 720 (HD) foi usada para capturar os *frames* que foram utilizados pelo algoritmo de detecção de piscadas.

É importante destacar que os testes foram realizados por seis pessoas, com idades variando entre 9 e 42 anos, todas alfabetizadas e sem portar alguma síndrome.

O sistema foi testado apenas por pessoas sem a síndrome do encarceramento devido à dificuldade em conseguir indivíduos que apresentam essa condição. Dessa forma, optou-se por

realizar os testes com pessoas sem essa síndrome, buscando garantir a viabilidade e a eficácia dos resultados dentro das limitações logísticas e éticas existentes.

Dentre os participantes, duas pessoas possuem miopia e realizaram os testes utilizando óculos. Todos os experimentos foram realizados na ordem em que cada subseção é apresentada.

5.1 Quantidade de acertos na classificação de piscadas voluntárias

Com o objetivo de verificar a precisão do algoritmo na detecção de piscadas voluntárias, apenas o algoritmo de detecção de piscadas foi executado. Cada participante foi instruído a ficar com a cabeça parada olhando para a tela do *notebook* e piscar voluntariamente (com uma duração entre 500ms a 2000ms) a cada dez segundos. Durante os intervalos de dez segundos, os participantes piscavam normalmente, até que o intervalo expirasse e uma nova piscada voluntária fosse feita.

Este teste foi repetido cinco vezes por cada participante. Foi considerado erro quando uma piscada voluntária não foi detectada ou quando uma piscada involuntária, feita durante o intervalo de dez segundos, foi detectada como voluntária. E foi considerado um acerto se, durante o intervalo de dez segundos, nenhuma piscada voluntária fosse detectada e ao final do intervalo a piscada voluntária fosse corretamente identificada.

Deste modo, quatro participantes conseguiram exceto nas cinco tentativas e dois em quatro tentativas resultando em uma precisão média de 93,3%. Esse resultado é considerado positivo, visto que se assemelha àquele identificado na literatura correlata, especificamente no trabalho de Grauman et al. (2001)), no qual a precisão atingida foi de 93%.

5.2 Quantidade de acertos e erros ao digitar a palavra amor

Para habituar os participantes ao teclado virtual e identificar qual dos dois métodos de seleção é mais fácil de ser utilizado, cada participante foi instruído a digitar a palavra "AMOR" no tempo máximo de 60 segundos, durante 5 tentativas. O tempo de varredura escolhido foi de 3 segundos e o tempo para fechar e abrir os olhos para que o algoritmo classifique como piscada voluntária foi de 500ms a 2000ms. O teste foi realizado primeiro com o método de detecção de piscadas voluntárias e depois com o método do pressionamento do botão esquerdo do *mouse*.

Conforme mostrado na Tabela 3, apenas uma pessoa conseguiu completar a tarefa em todas as cinco tentativas (16,7%) , usando o método de detecção de piscadas, três pessoas conseguiram em três tentativas (50%) e duas pessoas em duas tentativas (33,3%).

Método	Quantidade de tentativas	Porcentagem de acertos
Apenas piscadas	5 tentativas	16,7%
	3 tentativas	50%
	2 tentativas	33,33%
Apenas o uso do mouse	5 tentativas	100%

Tabela 3 – Quantidade de acertos ao digitar a palavra "amor".

Já com o método de pressionamento do botão esquerdo do *mouse*, todos os participantes conseguiram completar a tarefa em todas as cinco tentativas, alcançando uma taxa de sucesso de 100%.

Durante a realização deste teste foi perceptível que a maioria dos participantes precisaram de um tempo maior para se habituar, tanto ao tempo da varredura quanto ao tempo necessário para fechar e abrir os olhos para selecionar uma linha ou tecla do teclado virtual, pois o erro foi maior nas primeiras tentativas e conforme foi passando as tentativas o acerto foi aumentando. Já o método de pressionamento do botão esquerdo do *mouse* se mostrou mais fácil, pois todos os participantes conseguiram digitar a palavra "amor" nas cinco tentativas.

5.3 Caracteres por minuto

Com o propósito de avaliar a eficiência do teclado foi utilizado o parâmetro de Caracteres Por Minuto (CPM), conforme o cálculo proposto por Islam, Rahman e Sarkar (2021), que mede a quantidade de caracteres digitados em um minuto.

$$\text{CPM} = \frac{\text{Número de caracteres digitados}}{\text{Tempo em segundos}} \times 60 \quad (2)$$

Cada participante foi instruído a digitar a frase "AMO JOGAR XADREZ" utilizando tanto o método de detecção de piscadas quanto o pressionamento do botão esquerdo do *mouse* e o tempo necessário para concluir a tarefa foi cronometrado. Para o cálculo do EAR, foram contabilizados 17 caracteres na frase, incluindo letras e espaços em branco. O tempo de varredura foi de 3 segundos, e o tempo necessário para o algoritmo classificar uma piscada voluntária foi de 500ms a 2000ms. A frase foi escolhida por incluir letras localizadas tanto nas primeiras quanto nas últimas linhas do teclado.

A média de caracteres por minuto utilizando a detecção de piscadas voluntárias foi de 5,3 CPM, e o tempo médio gasto para concluir a tarefa foi de 185 segundos. Já com o método de pressionamento do botão esquerdo do *mouse*, a média de CPM foi de 6,86 e o tempo médio para concluir a tarefa foi de 140 segundos.

A Tabela 4, a seguir, apresenta uma síntese dos resultados apresentados nesta seção.

Cenário	CPM
Apenas piscadas	5,3
Apenas o uso do mouse	6,86

Tabela 4 – Comparação do CPM em diferentes cenários.

Ao observar os resultados obtidos para este item percebe-se que eles estão consideravelmente abaixo daqueles apresentados em Islam, Rahman e Sarkar (2021), o que sugere capacidade de melhoria para o sistema *LoquiOculis*.

Durante a execução dos testes, alguns participantes piscaram no momento errado (antes ou depois da linha ou tecla desejada) ou se esqueceram de piscar, o que fazia com que a varredura

passasse e eles precisassem esperar até que a linha e posteriormente a tecla desejada fosse novamente destacada.

O método do pressionamento do *mouse* se mostrou mais eficiente, pois todos os participantes conseguiram selecionar as teclas no tempo certo, resultando em um número de CPM melhor e praticamente constante. Além disso, todos os participantes optaram por utilizar as sugestões de palavras fornecidas pelo sistema, o que ajudou a melhorar a eficiência na digitação.

5.4 Tempo ideal de varredura

Para descobrir se o tempo de 3 segundos é ideal para a varredura, foi realizado um processo de tentativa e erro. Os participantes foram perguntados se o tempo de varredura estava adequado e, caso contrário, a velocidade da varredura era ajustada e testada, usando os dois métodos de seleção para digitar a palavra "AMOR". Esse processo era repetido até que os participantes considerassem o tempo de varredura ótimo.

Utilizando o método de detecção de piscadas, quatro pessoas indicaram que 3 segundos (66,7%) eram suficientes, enquanto duas pessoas consideraram o tempo de 2 segundos (33,3%) mais adequado, conforme mostrado na Tabela 5

Método	Segundos	Aceitação
Apenas piscadas	3 segundos	66,7%
	2 segundos	33,3%
Apenas o uso do mouse	3 segundos	33,3%
	2 segundos	66,7%

Tabela 5 – Tempo de varredura ideal selecionado pelos participantes para utilizar o método de seleção por piscadas voluntárias ou pressionamento do botão esquerdo do mouse.

Por outro lado, conforme mostrado na Tabela 5, utilizando o método de pressionamento do botão esquerdo do *mouse*, quatro pessoas indicaram que 2 segundos (66,7%) era mais adequado, enquanto duas pessoas consideraram 3 segundos suficientes (33,3%).

Como o método de pressionamento do botão esquerdo do *mouse* se mostrou mais fácil de ser utilizado, é possível reduzir o tempo de varredura, o que conseqüentemente vai diminuir o tempo de digitação. Já no método de detecção de piscadas voluntárias, o tempo de 3 segundos se mostrou mais adequado.

5.5 Tempo ideal para abrir e fechar os olhos para detecção de piscadas voluntárias

Também foi realizado um processo de tentativa e erro para determinar o tempo ideal de abertura e fechamento dos olhos, de modo que o algoritmo classificasse corretamente as piscadas voluntárias. Os participantes foram perguntados se o intervalo de 500ms a 2000ms era adequado. Com base nas respostas, o tempo foi ajustado no algoritmo e testado utilizando a interface WEB para digitar a palavra "AMOR". Esse processo foi repetido até que o usuário ficasse satisfeito

com o tempo para abrir e fechar os olhos. Ao final dos testes, todos os participantes afirmaram que o intervalo de 500ms a 2000ms era adequado.

5.6 Impressões dos participantes

Para saber quais eram as impressões dos participantes após os testes, foi disponibilizado um questionário com questões de múltipla escolha.

A primeira pergunta do questionário: “Como você classificaria a facilidade de uso do teclado virtual?”, foi feita para avaliar a percepção dos participantes sobre a usabilidade do teclado virtual. O objetivo era identificar o quão intuitivo e fácil de usar o sistema se mostrou durante os testes. Foram disponibilizadas cinco alternativas de resposta: “Muito fácil”, “Fácil”, “Moderado”, “Difícil” e “Muito difícil”.

Conforme mostrado na Tabela 6, uma pessoa (16,7%) classificou o teclado virtual como "Muito fácil" de usar, enquanto cinco pessoas (83,3%) classificaram como "Fácil". O que indica uma percepção geral positiva da usabilidade do teclado virtual entre os participantes.

Pergunta	Escala	Resposta
Como você classificaria a facilidade de uso do teclado virtual?	Muito fácil	16,7%
	Fácil	83,3%
	Moderado	0%
	Difícil	0%
	Muito difícil	0%

Tabela 6 – Resultados obtidos na primeira pergunta.

A segunda pergunta, "Como você avalia a eficiência deste teclado?", busca quantificar, em uma escala de 1 a 5, o quão eficaz os participantes consideraram o teclado virtual durante os testes.

Como evidenciado na Tabela 7, quatro participantes atribuíram a nota quatro (66,7%), enquanto duas atribuíram a nota cinco (33,3%).

Pergunta	Escala	Resposta
Como você avalia a eficiência deste teclado?	Nota 5	33,3%
	Nota 4	66,7%
	Nota 3	0%
	Nota 2	0%
	Nota 1	0%

Tabela 7 – Resultados obtidos na segunda pergunta.

A terceira pergunta, "O teclado virtual interpretou suas piscadas com precisão?", busca entender a percepção dos participantes sobre a precisão na seleção de linhas ou teclas utilizando o método de detecção de piscadas durante os testes. Para isso foram disponibilizadas cinco alternativas: “Sempre”, “Na maioria das vezes”, “Às vezes”, “Raramente” e “Nunca”.

De acordo com os dados da Tabela 8, três participantes escolheram a opção “Sempre” (50%), dois “Na maioria das vezes” (33,3%) e um participante “Às vezes” (16,7%).

Pergunta	Escala	Resposta
O teclado virtual interpretou suas piscadas com precisão?	Sempre	50%
	Na maioria das vezes	33,3%
	Às vezes	16,7%
	Raramente	0%
	Nunca	0%

Tabela 8 – Resultados obtidos na terceira pergunta.

Quanto a este item, observa-se uma discrepância entre o mesmo e o resultado exposto na Seção 5.1. Essa disparidade pode ser atribuída à tensão inicial demonstrada por alguns participantes durante os testes. Em diversos momentos, esses participantes tentaram evitar piscadas involuntárias, temendo que isso pudesse afetar o resultado do teste. Essa evitação comprometeu a identificação correta de piscadas voluntárias e, por consequência, a percepção da precisão. Após serem orientados sobre o uso do sistema e a sua capacidade de lidar com as piscadas involuntárias, tal situação foi sanada e os testes foram novamente realizados. Apesar disso, a impressão de que piscadas foram identificadas incorretamente persistiu e refletiu nas respostas para essa pergunta.

A quarta pergunta, "Você acha que é confortável usar o sistema de varredura e o método de seleção por piscadas por longos períodos?", foi feita para avaliar o conforto dos participantes ao utilizar o método de detecção de piscadas por um tempo prolongado.

Como apresentado na Tabela 9, 50% dos participantes acharam que o método é confortável para ser usado por longos períodos, enquanto os outros 50% discordaram. Isso indica que o sistema pode ser adequado para alguns, mas necessita de melhorias para aumentar o conforto e a usabilidade para todos os usuários durante grandes períodos.

Pergunta	Escala	Resposta
Você acha confortável usar o sistema de varredura e seleção por piscadas por longos períodos?	Sim	50%
	Não	50%

Tabela 9 – Resultados obtidos na quarta pergunta.

As pessoas que discordaram mencionaram que este método causa um pouco de cansaço nos olhos. Durante os testes, foi observado que algumas pessoas esqueciam que poderiam piscar normalmente, resultando em menos piscadas involuntárias, levando assim a queixas de ardência nos olhos.

A quinta pergunta: “Você acha que é confortável usar o sistema de varredura com o método de seleção por pressionamento do botão esquerdo do *mouse* por longos períodos?”, foi feita com o objetivo de coletar a opinião dos participantes sobre o conforto na utilização do método de seleção por pressionamento do botão esquerdo do *mouse*.

Conforme mostrado na Tabela 10 todos os participantes afirmaram que este método é confortável para uso prolongado.

Pergunta	Escala	Resposta
Você acha confortável usar o sistema de varredura e seleção por mouse por longos períodos?	Sim	100%
	Não	0%

Tabela 10 – Resultados obtidos na quinta pergunta.

Desta forma o método do pressionamento do botão esquerdo do *mouse* se mostrou mais confortável de ser utilizado por longos períodos do que o método de detecção de piscadas.

A sexta pergunta, "Qual método de seleção você prefere?", foi feita para identificar qual método de seleção os participantes prefeririam.

De acordo com a Tabela 11 todos os participantes escolheram o método de seleção por pressionamento do botão esquerdo do *mouse*.

Pergunta	Escala	Resposta
Qual método de seleção você prefere?	Uso do mouse	100%
	Piscadas voluntárias	0%

Tabela 11 – Resultados obtidos na sexta pergunta.

A última pergunta, "Em uma escala de 1 a 10, como você avaliaria sua experiência geral usando o teclado virtual?", foi feita para obter uma visão geral da satisfação dos participantes ao utilizar o teclado virtual. Esta pergunta permite quantificar a experiência dos usuários sobre a eficácia e a usabilidade do sistema como um todo.

Conforme ilustrado na Tabela 12 uma pessoa atribuiu nota 8 (16,7%), três pessoas deram nota 9 (50%) e duas atribuíram uma nota 10 (33,3%). Sugerindo que, no geral, a experiência dos participantes com o teclado virtual foi positiva e satisfatória.

Pergunta	Escala	Resposta
Em uma escala de 1 a 10, como você avaliaria sua experiência geral usando o teclado virtual?	Nota 10	33,3%
	Nota 9	50%
	Nota 8	16,7%

Tabela 12 – Resultados obtidos na sétima pergunta.

É importante ressaltar que os participantes dos testes não possuem a síndrome, o que pode comprometer ou enviesar os seus *feedbacks*, além de representar uma ameaça à validade do produto. Ciente disso, destaca-se que, apesar de muitos esforços, não foi possível encontrar voluntários com síndrome para participar dos testes.

A Tabela 13 apresenta uma síntese dos resultados obtidos a partir das respostas dos participantes durante os testes.

Pergunta	Escala	Resposta
Como você classificaria a facilidade de uso do teclado virtual?	Muito fácil	16,7%
	Fácil	83,3%
	Moderado	0%
	Difícil	0%
	Muito difícil	0%
Como você avalia a eficiência deste teclado?	Nota 5	33,3%
	Nota 4	66,7%
	Nota 3	0%
	Nota 2	0%
	Nota 1	0%
O teclado virtual interpretou suas piscadas com precisão?	Sempre	50%
	Na maioria das vezes	33,3%
	Às vezes	16,7%
	Raramente	0%
	Nunca	0%
Você acha confortável usar o sistema de varredura e seleção por piscadas por longos períodos?	Sim	50%
	Não	50%
Você acha confortável usar o sistema de varredura e seleção por mouse por longos períodos?	Sim	100%
	Não	0%
Qual método de seleção você prefere?	Uso do mouse	100%
	Piscadas voluntárias	0%
Em uma escala de 1 a 10, como você avaliaria sua experiência geral usando o teclado virtual?	Nota 10	33,3%
	Nota 9	50%
	Nota 8	16,7%

Tabela 13 – Resultados da pesquisa sobre o teclado virtual.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o *LoquiOculis*, um sistema de CAA projetado para facilitar a comunicação de pessoas com síndrome do encarceramento, utilizando uma interface WEB com *layout* de teclado. Para tanto, ele faz uso da detecção do movimento ocular do usuário, especificamente a identificação de piscadas voluntárias. Como alternativa, o sistema também permite que o usuário o manipule por meio do botão esquerdo do *mouse*.

Foram realizados testes com seis participantes e, com base nos resultados obtidos, observou-se que o sistema é capaz de detectar eficientemente as piscadas, alcançando uma precisão de 93%. Em relação ao desempenho de comunicação por parte do usuário final, foram atingidos valores médios de 6.86 CPM e 5,3 CPM, quando utilizado o *mouse* e as piscadas, respectivamente.

Apesar dos resultados promissores, o método de detecção de piscadas não foi amplamente aceito pela maioria dos participantes dos testes, sugerindo a necessidade de investigações adicionais para aprimorar este processo. Por outro lado, o método de pressionamento do botão esquerdo do *mouse* demonstrou ser eficaz e confortável, sendo preferido por todos os participantes em comparação ao método de detecção de piscadas. Além disso, a avaliação geral do sistema

foi positiva, fortalecendo a convicção de que esta ferramenta tem o potencial de se tornar uma solução amplamente adotada para melhorar a qualidade de vida de pessoas com síndrome do encarceramento. Consideram-se relevantes e pertinentes tais informações, mas destaca-se que os participantes do teste não possuem nenhuma síndrome e são habituados ao uso de *mouse*, o que possivelmente representa um viés em suas percepções.

Para futuros trabalhos, sugere-se: A melhoria da funcionalidade de sugestões de palavras, substituindo o algoritmo de correspondência aproximada de cadeias de caracteres por um algoritmo de aprendizado de máquina que leve em consideração o contexto completo do texto digitado pelo usuário para sugerir palavras mais relevantes e apropriada; a identificação e aprendizados de padrões de escrita individuais de cada usuário, aprimorando a fluidez e a precisão da comunicação; a expansão do sistema para suportar outros idiomas, permitindo que falantes de diferentes línguas também se beneficiem do sistema e; por fim, a realização de novos testes com pessoas com síndrome do encarceramento.

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. N. B. Q. C. C. Desenvolvimento de alternativa de comunicação para pacientes com síndrome de encarceramento. Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, p. 1–2, 2020.
- ANDRADE, M. dos S. A influência da tecnologia assistiva na vida de pessoas com deficiência física. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 14, n. 1, 2023.
- ANGELIN, A. C. et al. Abordagem interdisciplinar na síndrome do encarceramento: relato de caso. **Revista Brasileira de Neurologia e Psiquiatria**, v. 24, n. 1, 2020.
- BAUBY, J.-D. **O escafandro e a borboleta**. 3ª edição. ed. [S.l.]: WMF Martins, 2014. ISBN 978-8578279141.
- BEM, L. Y. d. N. Educar em um piscar de olhos: superando desafios dentro da sala de aula por meio do uso de tecnologia assistiva. 2020.
- BERSCH, R. **O que é a Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA)?** 2023. Acesso em: 22 de novembro de 2023. Disponível em: <<https://assistiva.com.br/ca.html>>.
- BERSCH, R. **O que é Tecnologia Assistiva?** 2023. Acesso em: 18 de novembro de 2023. Disponível em: <<https://assistiva.com.br/tassistiva.html>>.
- BRETAS, D. M. Sistema computacional de apoio à rotina de usuários tetraplégicos. 2010.
- CALIGARI, M.; GIARDINI, M.; GUENZI, M. Writing blindly in incomplete locked-in syndrome with a custom-made switch-operated voice-scanning communicator—a case report. **Brain Sciences**, MDPI, v. 12, n. 11, p. 1523, 2022.
- CARDWELL, M. S. Locked-in syndrome. **Texas medicine**, v. 109, n. 2, p. e1–e1, 2013.
- CESA, C. C.; MOTA, H. B. Comunicação aumentativa e alternativa: panorama dos periódicos brasileiros. **Revista CEFAC**, SciELO Brasil, v. 17, p. 264–269, 2015.
- CHIACCHIERI, G. **fuzzysset.js**. 2023. Acesso em: 6 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://glench.github.io/fuzzysset.js/>>.

DAZA, R. et al. Alebk: Feasibility study of attention level estimation via blink detection applied to e-learning. **arXiv preprint arXiv:2112.09165**, 2021.

FIDALGO, R. N.; FRANCO, M. N. **Diálogos da diversidade e o alcance da Comunicação Alternativa**. 1ª edição. ed. [S.l.]: Cia do eBook, 2019. ISBN 978-85-5585-262-6.

FILHO, M. F.; GOMES, M. d. P. Síndrome do encarceramento (locked-in syndrome): registro de um caso e revisão de literatura. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, SciELO Brasil, v. 40, p. 296–300, 1982.

FINATTO, M. J. B. et al. Vocabulário controlado e redação de definições em dicionários de português para estrangeiros: ensaios para uma léxico-estatística textual. **Trama. Marechal Cândido Rondon, PR. Vol. 10, n. 20 (2014), f. 53-68**, 2014.

GOMIDE, R. S. et al. **Um estudo preliminar do protocolo de navegação de interfaces gráficas baseado na codificação de huffman**. [S.l.]: Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

GOOGLE. **Face landmark detection guide**. 2023. Acesso em: 5 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/face_landmarker#configurations_options>.

GRAUMAN, K. et al. Communication via eye blinks-detection and duration analysis in real time. In: IEEE. **Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001**. [S.l.], 2001. v. 1, p. I–I.

ISLAM, R.; RAHMAN, S.; SARKAR, A. Computer vision based eye gaze controlled virtual keyboard for people with quadriplegia. In: IEEE. **2021 International Conference on Automation, Control and Mechatronics for Industry 4.0 (ACMI)**. [S.l.], 2021. p. 1–6.

KUWAHARA, A. et al. Eye fatigue estimation using blink detection based on eye aspect ratio mapping (earm). **Cognitive Robotics**, Elsevier, v. 2, p. 50–59, 2022.

MACHADO, J. O poder da comunicação na diversidade e na inclusão-a realidade e os desafios das marcas. **The Trends Hub**, n. 3, 2023.

MOTA, S. V. **Interface humano-computador baseada em visão computacional: uma solução para pessoas com tetraplegia**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2019.

MOZILLA. **SpeechSynthesisUtterance**. 2023. Acesso em: 7 de dezembro de 2023. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/SpeechSynthesisUtterance>>.

MOZILLA. **CSS**. 2024. <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/CSS>>. Acesso em: 3 de maio de 2024).

MOZILLA. **HTML: Linguagem de Marcação de Hipertexto**. 2024. <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML>>. Acesso em: 3 de maio de 2024).

MOZILLA. **O que é JavaScript?** 2024. <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/web/javascript/guide/introduction>>. Acesso em: 4 de maio de 2024).

NYSTRÖM, M. et al. What is a blink? classifying and characterizing blinks in eye openness signals. **Behavior Research Methods**, Springer, p. 1–20, 2024.

OLIVEIRA, L. P. de. Linguística de corpus: teoria, interfaces e aplicações. **Matraga-Revista do Programa de Pós-Graduação em Letras da UERJ**, v. 16, n. 24, 2009.

PATTERSON, J. R.; GRABOIS, M. Locked-in syndrome: a review of 139 cases. **Stroke**, Am Heart Assoc, v. 17, n. 4, p. 758–764, 1986.

PLANALTO. **LEI Nº 13.146, DE 6 DE JULHO DE 2015**. 2023. Acesso em: 20 de novembro de 2023. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>.

RAHMAN, A.; SIRSHAR, M.; KHAN, A. Real time drowsiness detection using eye blink monitoring. In: IEEE. **2015 National software engineering conference (NSEC)**. [S.l.], 2015. p. 1–7.

RODRIGUES, P. R.; ALVES, L. R. G. Tecnologia assistiva-uma revisão do tema. 2013.

SILVA, L. M. G. d. et al. Comunicação não-verbal: reflexões acerca da linguagem corporal. **Revista latino-americana de enfermagem**, SciELO Brasil, v. 8, p. 52–58, 2000.

SILVA, R. A. d. et al. Desenvolvimento de um teclado virtual para comunicação por meio de gestos visuais. Universidade Federal de Uberlândia, 2021.

SMITH, E.; DELARGY, M. Locked-in syndrome. **Bmj**, British Medical Journal Publishing Group, v. 330, n. 7488, p. 406–409, 2005.

SOMMERVILLE, I. **engenharia de software**. 9ª edição. ed. [S.l.]: Pearson, 2011. ISBN 978-85-7936-108-1.

SOUKUPOVA, T. Eye-blink detection using facial landmarks. p. 15–19, 2016.

TAKAHAGI, R. U. et al. Ritmo de piscar em portadores de pterígio antes e após a exérese. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, SciELO Brasil, v. 71, p. 381–384, 2008.

TÉCNICAS, C. de A. Tecnologia assistiva. **Brasília: Corde**, 2009.

VOITY, K. et al. Update on how to approach a patient with locked-in syndrome and their communication ability. **Brain Sciences**, MDPI, v. 14, n. 1, p. 92, 2024.