

AlfaLibras: inteligência artificial para o ensino do alfabeto de sinais

Eduardo dos Santos Pereira¹, Bianca Goulart dos Santos², Paula Andréa De Oliveira e Silva Rezende³

¹Programa de Pós-Graduação em Computação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Campus do Vale – Porto Alegre – RS – Brazil

²Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Porto Alegre – RS – Brazil

³Instituto Federal de Minas Gerais (IFMT) – Ribeirão das Neves – MG – Brazil

espereira@inf.ufrgs.br, biancags@edu.nh.rs.gov.br,
paula.rezende@ifmg.edu.br

Abstract. *This study presents the development of AlfaLibras, an educational application aimed at teaching the Brazilian Sign Language (Libras) fingerspelling alphabet through Artificial Intelligence, computer vision, and machine learning. The research uses Python, OpenCV, MediaPipe, and PySide6 for real-time gesture recognition. An image database of Libras vowels was created from images recorded by volunteers with informed consent. The results demonstrated satisfactory performance, with an accuracy above 85% in recognizing the vowels. It is concluded that AlfaLibras has potential as an accessible and interactive educational tool.*

Keywords— *Libras; Artificial Intelligence; Computer Vision; Inclusive Education; Machine Learning.*

Resumo. *O presente estudo apresenta o desenvolvimento do AlfaLibras, aplicativo educacional voltado ao ensino do alfabeto datilológico em Libras por meio de Inteligência Artificial, visão computacional e aprendizado de máquina. A pesquisa utiliza Python, OpenCV, MediaPipe e PySide6 para reconhecimento de gestos em tempo real. Foi construído um banco de imagens das vogais em Libras, registradas por voluntários mediante TCLE. Os resultados demonstraram funcionamento satisfatório, com acurácia superior a 85% no reconhecimento das vogais. Conclui-se que o AlfaLibras apresenta potencial como ferramenta educacional acessível e interativa.*

Palavras-chave— *Libras, Inteligência Artificial, Visão Computacional, Educação Inclusiva, Aprendizado de Máquina.*

1. Introdução

A acessibilidade comunicacional constitui um elemento importante para a promoção da inclusão social e educacional de pessoas surdas, no contexto da Língua Brasileira de Sinais (Libras). Nesse cenário, torna-se cada vez mais relevante o desenvolvimento de recursos tecnológicos que contribuam para o ensino e a aprendizagem de Libras de maneira dinâmica. Conforme apontam Bacich e Moran [2018], as tecnologias digitais vêm ampliando as possibilidades de práticas pedagógicas inclusivas e interativas, favorecendo diferentes formas de aprendizagem e participação dos estudantes.

Paralelamente, observa-se o crescimento da utilização da Inteligência Artificial (IA) aplicada à educação e à acessibilidade. De acordo com Luckin [2021], a IA apresenta potencial para personalizar experiências educacionais, oferecer feedback imediato e

promover maior autonomia aos estudantes. No campo da acessibilidade, recursos baseados em visão computacional e reconhecimento de gestos têm se destacado como estratégias promissoras para o ensino de línguas de sinais e para a mediação comunicacional.

O projeto AlfaLibras (Alfabeto + Libras) surge com o propósito de utilizar a Inteligência Artificial como recurso pedagógico para o ensino do alfabeto datilológico, iniciando pelas vogais, estimulando o aprendizado de Libras por meio do reconhecimento de gestos manuais. A proposta busca favorecer a aprendizagem visual dos sinais correspondentes às letras do alfabeto, promovendo maior acessibilidade e interação durante o processo educativo.

A ausência de ferramentas interativas capazes de fornecer feedback em tempo real durante o aprendizado de Libras ainda representa um desafio significativo, dificultando a prática correta dos sinais e a autonomia dos estudantes durante o processo de aprendizagem. Nesse contexto, Sales e Kenski [2021] destacam que as tecnologias podem contribuir para processos de inovação na educação, favorecendo novas possibilidades de interação e aprendizagem. destaca que ambientes digitais interativos podem potencializar a construção do conhecimento ao possibilitar experiências mais ativas e imediatas aos usuários.

Embora existam aplicativos destinados ao ensino de Libras, muitos concentram-se na apresentação de imagens, vídeos ou animações dos sinais, sem oferecer mecanismos automáticos de avaliação da execução realizada pelo usuário. Diferentemente dessas abordagens, o aplicativo proposto integra técnicas de visão computacional e Inteligência Artificial para reconhecer, em tempo real, os sinais executados pelo estudante, fornecendo feedback visual imediato. Essa característica amplia as possibilidades de aprendizagem interativa e favorece o desenvolvimento da autonomia durante o processo de aquisição da Libras.

Diante disso, o projeto objetiva desenvolver um aplicativo capaz de auxiliar no ensino de Libras utilizando visão computacional e Inteligência Artificial para reconhecimento de gestos manuais. Para o desenvolvimento da ferramenta, são utilizadas tecnologias como Python, OpenCV, MediaPipe, PySide6 e técnicas de Machine Learning, possibilitando a identificação dos movimentos das mãos e a interação em tempo real com o usuário. Assim, o AlfaLibras busca contribuir para práticas educacionais mais acessíveis, inclusivas e alinhadas às potencialidades das tecnologias digitais.

2. Referencial Teórico

O projeto fundamenta-se nos pressupostos da educação inclusiva e no uso das tecnologias digitais aplicadas à educação, articulando conhecimentos sobre Libras, educação bilíngue, Inteligência Artificial e visão computacional. A proposta compreende a Libras como elemento central da identidade surda e das práticas inclusivas, reconhecendo o alfabeto datilológico como recurso introdutório para a aprendizagem da língua de sinais.

Além disso, fundamenta-se na educação bilíngue de surdos, na qual a Libras constitui a primeira língua e a língua portuguesa escrita configura-se como segunda língua. No campo tecnológico, utiliza recursos de Inteligência Artificial, Aprendizado de Máquina e visão computacional para reconhecimento de gestos em tempo real, possibilitando a identificação dos sinais realizados pelos usuários. Dessa forma, o projeto

busca promover acessibilidade, interação e aprendizagem visual por meio de uma ferramenta educacional interativa voltada ao ensino de Libras.

2.1. Libras

A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é uma língua de modalidade visual-espacial utilizada pela comunidade surda brasileira como principal meio de comunicação, interação social e expressão cultural. Diferentemente da língua portuguesa, cuja organização ocorre predominantemente por meio de sons, a Libras utiliza movimentos das mãos, expressões faciais, orientação corporal e o uso do espaço para a construção de significados. Por possuir estrutura gramatical própria, a Libras é reconhecida como uma língua natural, não sendo considerada uma simples representação gestual da língua portuguesa [Quadros e Karnopp 2004].

O desenvolvimento da Libras está relacionado à trajetória histórica da educação de surdos no Brasil, especialmente a partir da criação do Instituto Imperial de Surdos-Mudos, em 1857, atual Instituto Nacional de Educação de Surdos (INES). Nesse contexto, a influência da língua de sinais francesa e as interações estabelecidas entre pessoas surdas contribuíram para a constituição da Libras como língua da comunidade surda brasileira. Ao longo do tempo, a Libras consolidou-se como elemento fundamental da identidade cultural surda, sendo transmitida e ressignificada por seus usuários em diferentes contextos sociais e educacionais [Quadros e Karnopp 2004].

O reconhecimento legal da Libras ocorreu por meio da Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002, que a definiu como meio legal de comunicação e expressão das comunidades surdas brasileiras. Posteriormente, o Decreto nº 5.626, de 22 de dezembro de 2005, regulamentou essa legislação e estabeleceu diretrizes para sua difusão, ensino e utilização em instituições públicas e privadas, ampliando o acesso à comunicação e à educação para pessoas surdas [BRASIL 2002; BRASIL 2005].

No âmbito educacional, a Libras ocupa papel central nas propostas de educação bilíngue para surdos, constituindo uma língua fundamental para o desenvolvimento linguístico e para a interação social desses estudantes. Nessa perspectiva, o domínio da língua de sinais deve ser favorecido no contexto escolar, possibilitando aos estudantes surdos interagir com seus pares e participar das atividades educacionais por meio de sua língua. O ensino da língua portuguesa escrita, por sua vez, é desenvolvido como segunda língua no contexto da educação bilíngue [Lacerda et al. 2020].

Dessa forma, a Libras constitui não apenas um instrumento de comunicação, mas também um elemento essencial para a garantia dos direitos linguísticos, educacionais e sociais das pessoas surdas, fortalecendo sua participação nos diferentes espaços da sociedade e promovendo a inclusão por meio do reconhecimento da diversidade linguística e cultural.

2.2. Educação Bilíngue

A educação bilíngue de surdos foi instituída no ordenamento jurídico brasileiro a partir da Lei nº 14.191/2021, que alterou a Lei nº 9.394/1996, reconhecendo essa modalidade como distinta da educação especial [BRASIL 2021]. De acordo com essa legislação, a educação bilíngue de surdos é compreendida como a modalidade de educação escolar na qual a Língua Brasileira de Sinais (Libras) constitui a primeira língua (L1) e a língua portuguesa, na modalidade escrita, configura-se como segunda língua (L2). Essa oferta pode ocorrer em escolas bilíngues de surdos, classes bilíngues, escolas comuns ou polos

específicos, atendendo estudantes surdos, surdocegos, com deficiência auditiva sinalizantes, bem como aqueles com altas habilidades/superdotação ou outras deficiências associadas, desde que optantes por essa modalidade [BRASIL 2021].

A legislação também assegura que a adoção da educação bilíngue não implica a restrição de matrícula em classes comuns do ensino regular, cabendo ao estudante ou a seus responsáveis a decisão quanto ao percurso educacional, em consonância com as diretrizes da educação nacional [BRASIL 1996]. Ademais, mantêm-se as garantias previstas na Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, incluindo o acesso a recursos de acessibilidade, tecnologias assistivas e demais apoios necessários à participação e aprendizagem dos estudantes, especialmente daqueles que utilizam diferentes formas de comunicação [BRASIL 2015].

O reconhecimento da educação bilíngue de surdos representa um importante avanço para a consolidação dos direitos linguísticos da comunidade surda, uma vez que reafirma a Libras como língua de instrução, comunicação e produção de conhecimento nos espaços educacionais. Essa perspectiva contribui para o fortalecimento da identidade surda e para a valorização da diversidade linguística e cultural presente na sociedade brasileira, promovendo condições mais equitativas de acesso à educação.

Além disso, a ampliação do ensino e da difusão da Libras não beneficia apenas estudantes surdos, mas também favorece a construção de ambientes educacionais mais inclusivos para toda a comunidade escolar. O contato de estudantes ouvintes com a Libras possibilita o desenvolvimento de competências comunicativas relacionadas à convivência com a diversidade, à empatia e ao respeito às diferenças, contribuindo para a redução de barreiras comunicacionais e para o fortalecimento das interações sociais entre surdos e ouvintes.

A partir desse contexto legal e educacional fundamenta-se o desenvolvimento do AlfaLibras, uma vez que a inserção da Libras no ambiente escolar, inclusive para estudantes ouvintes, configura-se como uma estratégia pedagógica alinhada aos princípios da educação inclusiva e da educação bilíngue. Nesse sentido, o uso de tecnologias digitais voltadas ao ensino da Libras pode ampliar as oportunidades de aprendizagem, favorecer o acesso a conteúdos linguísticos de forma interativa e contribuir para a construção de práticas pedagógicas inovadoras e acessíveis.

Portanto, iniciativas que promovam o ensino da Libras por meio de recursos tecnológicos apresentam potencial para ampliar as possibilidades comunicativas, fortalecer o reconhecimento da diversidade linguística e cultural e promover interações mais equitativas entre estudantes surdos e não surdos, contribuindo para uma educação mais inclusiva, participativa e socialmente comprometida.

2.3. Inteligência Artificial (IA)

A Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como uma das principais áreas de desenvolvimento tecnológico atuais, ampliando suas aplicações em diferentes situações, incluindo a educação e a acessibilidade. Conforme afirmam Russell e Norvig [2020], a IA corresponde ao estudo de sistemas capazes de perceber informações do ambiente e executar ações de maneira inteligente. Nesse sentido, tecnologias baseadas em inteligência artificial vêm sendo utilizadas para reconhecimento de padrões, interpretação de imagens e interação em tempo real, possibilitando novas estratégias educacionais

mediadas por recursos digitais.

No contexto da acessibilidade, a IA apresenta potencial para o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no processo de ensino e aprendizagem da Libras. Recursos fundamentados em visão computacional e reconhecimento de gestos podem favorecer práticas mais interativas, proporcionando feedback imediato aos estudantes e ampliando as possibilidades de aprendizagem visual.

Associado à Inteligência Artificial, o Aprendizado de Máquina (Machine Learning) constitui uma das principais abordagens utilizadas para reconhecimento automatizado de padrões. De acordo com Géron [2020], o aprendizado de máquina permite que computadores aprendam a partir de dados, identificando padrões e aperfeiçoando respostas sem depender exclusivamente de regras previamente programadas. Dessa forma, os sistemas tornam-se capazes de interpretar informações complexas e realizar classificações com maior precisão.

No projeto AlfaLibras, o modelo de aprendizado de máquina é utilizado para reconhecer os sinais do alfabeto datilológico em Libras a partir dos landmarks das mãos capturados por bibliotecas de visão computacional. Esses pontos de referência possibilitam identificar posições e movimentos das mãos em tempo real, permitindo que o sistema interprete os gestos realizados pelos usuários. Assim, a utilização de Inteligência Artificial e Machine Learning contribui para o desenvolvimento de uma ferramenta educacional acessível, interativa e alinhada às demandas de inclusão e tecnologia.

2.4. Visão Computacional

A utilização da visão computacional no contexto educacional tem ampliado as possibilidades de interação entre usuários e sistemas digitais, especialmente em propostas voltadas à acessibilidade e ao reconhecimento automatizado de ações humanas. Essa tecnologia permite que computadores interpretem imagens e movimentos por meio da identificação de padrões visuais, tornando possível o reconhecimento de gestos, objetos, expressões e diferentes elementos presentes em imagens e vídeos. Conforme destacam Silva et al. [2024], a visão computacional consiste em um sistema capaz de captar e analisar imagens do mundo real a partir do reconhecimento artificial de padrões visuais.

O avanço dos recursos computacionais e das técnicas de processamento de imagens têm contribuído para a expansão das aplicações da visão computacional em diferentes áreas do conhecimento. Atualmente, essa tecnologia é empregada em sistemas de monitoramento, reconhecimento facial, veículos autônomos, análise de imagens médicas e interfaces interativas baseadas em movimentos corporais. Sua capacidade de interpretar informações visuais em tempo real permite que sistemas computacionais respondam a estímulos do ambiente de forma automatizada, aproximando a interação entre seres humanos e máquinas.

No contexto do reconhecimento de gestos, a visão computacional possibilita a identificação de movimentos e posições corporais por meio da extração de características presentes nas imagens capturadas. A partir dessas informações, os sistemas podem representar numericamente diferentes configurações corporais, permitindo sua posterior análise por algoritmos computacionais. Em aplicações que envolvem movimentos das mãos, essa abordagem tem sido amplamente utilizada para rastreamento, detecção e classificação de gestos, favorecendo o desenvolvimento de interfaces mais naturais e intuitivas.

No projeto AlfaLibras, a visão computacional é empregada como recurso central para identificar os movimentos das mãos realizados pelos usuários durante a execução do alfabeto datilológico em Libras. Por meio da captura dos landmarks das mãos, o sistema consegue mapear pontos de referência relacionados à posição e à configuração dos dedos, transformando essas informações em dados que podem ser processados computacionalmente. Esses dados servem como base para a identificação dos sinais executados e sua associação às letras correspondentes do alfabeto.

A integração da visão computacional com técnicas de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina amplia a capacidade de processamento e interpretação dos dados visuais capturados pelo sistema. Dessa forma, torna-se possível reconhecer padrões presentes nos movimentos das mãos e realizar a classificação automatizada dos sinais, constituindo a base tecnológica necessária para o funcionamento da aplicação proposta neste trabalho.

3. Procedimentos Metodológicos

O desenvolvimento do aplicativo AlfaLibras foi realizado utilizando a linguagem Python, devido à ampla disponibilidade de bibliotecas voltadas à Inteligência Artificial, visão computacional e construção de interfaces gráficas. A arquitetura do sistema foi organizada em módulos responsáveis pela captura de vídeo, detecção das mãos, classificação dos sinais e interação com o usuário.

Inicialmente, foi construído um banco de imagens contendo os sinais do alfabeto datilológico em Libras, associados às letras da Língua Portuguesa. Os registros fotográficos foram realizados por voluntários que autorizaram sua participação mediante preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), disponibilizado por formulário on-line. Neste primeiro momento, o sistema contempla apenas o reconhecimento das vogais, permitindo que o usuário visualize, identifique e reproduza os sinais correspondentes ilustrados na figura 1.



Figura 1. Alfabeto datilológico (vogais) reproduzido pelos voluntários.

A captura das imagens foi realizada por meio da webcam, utilizando a biblioteca

OpenCV. Os *frames* capturados são processados continuamente em tempo real para posterior análise pelo sistema de visão computacional. Esse processamento permite identificar os movimentos realizados pelo usuário durante a execução dos sinais em Libras.

Para a construção da base de dados, participaram cinco voluntários, que autorizaram a utilização das imagens por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Foram capturadas aproximadamente 50 imagens para cada uma das cinco vogais da Libras (A, E, I, O e U) por participante, totalizando cerca de 1.250 imagens. Cada imagem foi processada pelo MediaPipe Hands, responsável pela extração dos pontos de referência utilizados no treinamento do modelo.

A detecção e o rastreamento das mãos foram realizados utilizando o MediaPipe, *framework* desenvolvido pela Google para aplicações de visão computacional em tempo real. O MediaPipe Hands identifica 21 pontos de referência (*landmarks*) nas mãos do usuário, gerando coordenadas espaciais nos eixos x, y e z. Essas coordenadas são utilizadas pelo sistema para representar numericamente os movimentos e as posições das mãos. O uso combinado de OpenCV e MediaPipe tem sido explorado em aplicações de reconhecimento de gestos, apresentando resultados eficientes em sistemas interativos e educacionais [Bradski, 2000; Lugaresi et al., 2019].

As coordenadas geradas pelo MediaPipe são utilizadas como entrada para um modelo de aprendizado de máquina, responsável pela classificação do gesto correspondente ao sinal em Libras a partir dos padrões identificados nos *landmarks* das mãos.

O módulo de reconhecimento foi desenvolvido utilizando um modelo de aprendizado de máquina supervisionado baseado no algoritmo Random Forest, implementado por meio da biblioteca Scikit-learn [Pedregosa et al., 2011]. As características de entrada do modelo correspondem às coordenadas tridimensionais (x, y e z) dos 21 *landmarks* da mão extraídos pelo MediaPipe Hands [Lugaresi et al., 2019], totalizando 63 atributos por amostra. O conjunto de dados foi dividido em 80% para treinamento e 20% para teste. Após o treinamento, o modelo foi serializado utilizando a biblioteca Joblib e integrado ao aplicativo para realizar o reconhecimento dos sinais em tempo real.

O modelo Random Forest foi treinado utilizando 100 árvores de decisão ($n_estimators = 100$), empregando o critério de divisão Gini e os demais parâmetros definidos conforme a configuração padrão da biblioteca Scikit-learn. O treinamento foi realizado utilizando os dados obtidos durante a captura dos movimentos das mãos. Após o treinamento, o modelo foi armazenado utilizando a biblioteca Joblib e posteriormente carregado pelo sistema para realizar previsões em tempo real durante a utilização do aplicativo.

A interface gráfica do sistema foi desenvolvida utilizando PySide6 e Qt, permitindo a criação de telas interativas e responsivas para o usuário. A primeira tela apresenta o reconhecimento dos sinais realizados pelo usuário, exibindo feedback visual sobre a execução correta do gesto. A segunda tela possui caráter educativo, disponibilizando imagens e vídeos demonstrativos dos sinais em Libras para auxiliar no processo de aprendizagem.

Além disso, foram adotadas combinações de cores com alto contraste, como texto escuro sobre fundo claro, visando garantir legibilidade e facilitar a percepção visual dos

sinais. Essa escolha baseia-se nas diretrizes de acessibilidade propostas pelo World Wide Web Consortium [W3C, 2018], bem como nos estudos de Ware [2013], que destacam a importância do contraste visual para o reconhecimento de informações. Considerando que a Libras é uma língua de modalidade visual-espacial, buscou-se assegurar clareza na visualização das configurações de mão, conforme discutido por Quadros e Karnopp [2004].

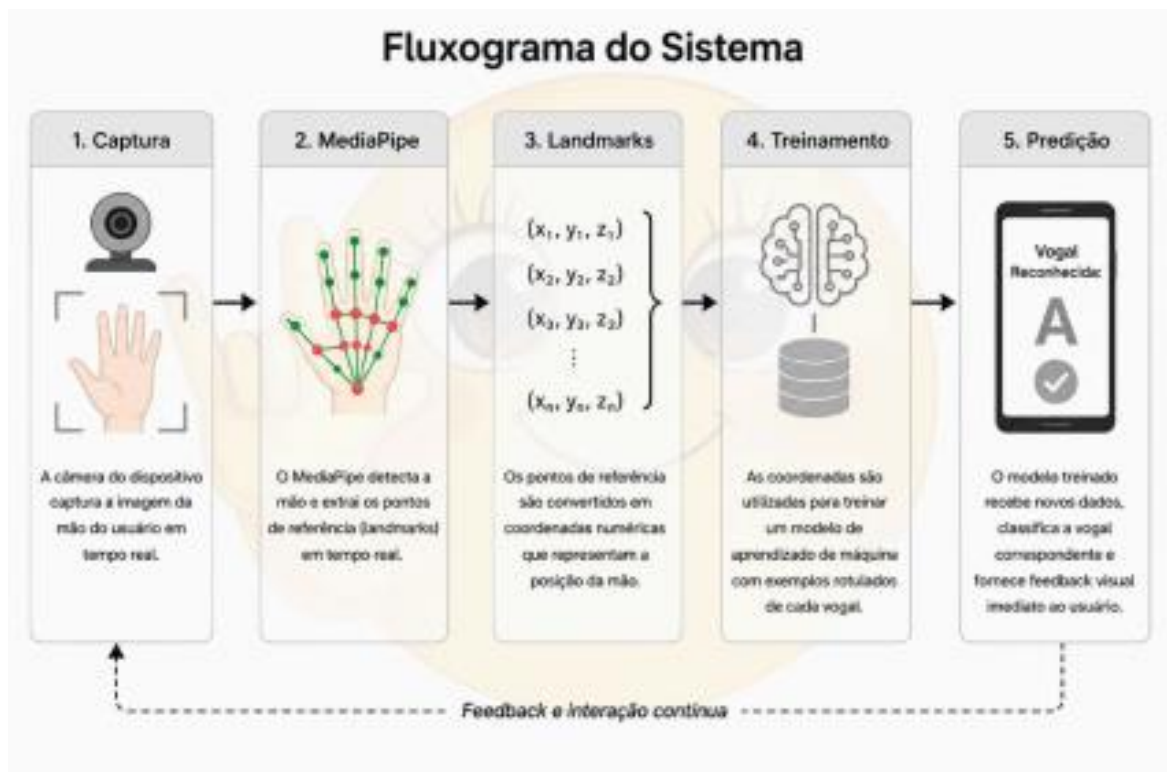


Figura 2. Fluxograma Metodológico

Os procedimentos metodológicos adotados permitiram integrar recursos de visão computacional, aprendizado de máquina e desenvolvimento de interfaces gráficas em uma única aplicação. A arquitetura implementada possibilita o reconhecimento em tempo real dos sinais do alfabeto datilológico, oferecendo feedback visual ao usuário e estabelecendo uma base tecnológica para futuras ampliações do sistema.

4. Resultados

A primeira tela do aplicativo possui caráter educativo e introdutório, apresentando os sinais em Libras por meio de imagens que representam a configuração correta da mão humana, associadas ao avatar do participante que autorizou o uso de sua imagem mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Essa proposta busca auxiliar o aprendiz na compreensão dos aspectos relacionados à posição e à orientação das mãos, bem como ao espaço de sinalização, elementos fundamentais da Libras enquanto língua de modalidade visual-espacial, conforme discutem Quadros e Karnopp [2004]. Nesse sentido, o uso de recursos visuais interativos favorece a aprendizagem inicial do alfabeto datilológico e aproxima o usuário das práticas comunicacionais em Libras.



Figura 3. Tela de aprendizagem do sinal da letra A.

O sistema desenvolvido apresentou funcionamento adequado durante os testes realizados, possibilitando o reconhecimento dos sinais em tempo real por meio da webcam do dispositivo. A captura contínua das imagens permitiu a detecção das mãos utilizando o MediaPipe, enquanto o modelo de aprendizado de máquina realizou a identificação dos sinais executados pelo usuário. Conforme apontam Russell e Norvig [2020], sistemas de Inteligência Artificial são capazes de perceber informações do ambiente e executar ações inteligentes, aspecto evidenciado no AlfaLibras por meio da interpretação automática dos gestos realizados pelos usuários.

O aplicativo foi capaz de capturar imagens da webcam em tempo real, detectar as mãos utilizando o MediaPipe, identificar os sinais por meio de aprendizado de máquina e exibir feedback visual imediato ao usuário. Essas funcionalidades demonstram o potencial da integração entre visão computacional e Inteligência Artificial em contextos educacionais acessíveis, favorecendo práticas interativas de aprendizagem. De acordo com Silva et al. [2024], a visão computacional possibilita que sistemas computacionais interpretem imagens e movimentos humanos por meio do reconhecimento de padrões visuais, permitindo aplicações voltadas ao reconhecimento automatizado de gestos.

O desempenho do modelo foi avaliado utilizando uma divisão estratificada da base de dados em 80% para treinamento e 20% para teste. A acurácia foi calculada por meio da métrica *Accuracy*, disponibilizada pela biblioteca Scikit-learn, correspondendo ao percentual de classificações corretas obtidas sobre o conjunto de testes.

Os testes demonstraram que o sistema conseguiu reconhecer corretamente os sinais correspondentes às vogais em Libras, apresentando respostas rápidas durante a interação. Nessa avaliação, o modelo apresentou acurácia superior a 85%, demonstrando desempenho satisfatório para aplicações educacionais voltadas ao reconhecimento inicial do alfabeto datilológico em Libras.

O feedback visual imediato apresentado na interface permite que o estudante identifique e corrija instantaneamente a configuração da mão durante a execução dos sinais, favorecendo a aprendizagem por tentativa e erro e contribuindo para o

desenvolvimento da autonomia durante o processo de aprendizagem. O desempenho mostrou-se satisfatório para aplicações educacionais voltadas ao processo inicial de aprendizagem dos sinais, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4. Teste de detecção do sinal da letra A.

Além disso, observou-se que o reconhecimento ocorreu de maneira mais eficiente em ambientes com iluminação adequada e com o posicionamento correto das mãos diante da câmera. Esse aspecto evidencia a importância das condições visuais para o funcionamento dos sistemas de visão computacional e reforça a necessidade de organização adequada do ambiente para favorecer o desempenho da ferramenta.

Os resultados indicam que a integração entre visão computacional, Inteligência Artificial e aprendizado de máquina mostrou-se eficaz para o reconhecimento de sinais em Libras em tempo real. O sistema apresentou desempenho satisfatório na detecção das mãos e na classificação dos gestos realizados pelos usuários, contribuindo para uma experiência interativa e acessível. Conforme destaca Géron [2022], o aprendizado de máquina possibilita que sistemas computacionais identifiquem padrões a partir dos dados recebidos, característica observada no reconhecimento dos sinais pelo AlfaLibras.

A utilização do MediaPipe permitiu a identificação dos *landmarks* das mãos, enquanto o modelo treinado possibilitou o reconhecimento dos padrões correspondentes aos sinais trabalhados. O feedback imediato apresentado ao usuário favoreceu a interação com o aplicativo e potencializou o processo de aprendizagem visual, alinhando-se aos pressupostos da educação bilíngue e inclusiva apresentados por Brasil [2021], ao ampliar as possibilidades de acesso à Libras por meio de recursos tecnológicos acessíveis e interativos.

Diferentemente de aplicativos que apresentam apenas imagens ou vídeos demonstrativos dos sinais em Libras, a ferramenta desenvolvida incorpora o reconhecimento automático dos gestos em tempo real, utilizando técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina. Essa integração permite fornecer feedback imediato ao usuário, tornando o processo de aprendizagem mais interativo e ampliando o

potencial de utilização do AlfaLibras em contextos educacionais inclusivos.

5. Considerações Finais

O desenvolvimento do AlfaLibras evidencia o potencial das tecnologias digitais, da visão computacional e da Inteligência Artificial como recursos voltados à acessibilidade e ao ensino de Libras. A proposta do aplicativo buscou integrar reconhecimento de gestos em tempo real, aprendizagem visual e interatividade, favorecendo experiências educacionais mais acessíveis, dinâmicas e alinhadas aos pressupostos da educação inclusiva e bilíngue.

Os resultados obtidos demonstraram que o sistema foi capaz de reconhecer os sinais correspondentes às vogais do alfabeto datilológico em Libras com acurácia superior a 85%, utilizando técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina. A integração entre os recursos tecnológicos utilizados possibilitou a identificação dos movimentos das mãos em tempo real, contribuindo para uma experiência interativa e acessível aos usuários.

Além disso, a utilização de feedback visual imediato tornou a interação mais intuitiva e favoreceu o processo de aprendizagem dos sinais. Espera-se que o AlfaLibras contribua para o reconhecimento visual dos sinais, para a aprendizagem inicial do alfabeto datilológico e para o incentivo ao uso autônomo da Libras, ampliando as possibilidades de interação entre estudantes surdos e ouvintes no contexto escolar.

Como limitações deste estudo, destaca-se que o sistema contempla apenas o reconhecimento das vogais do alfabeto datilológico em Libras. Além disso, nesta etapa do desenvolvimento ainda não foram realizadas avaliações pedagógicas da ferramenta nem validações com usuários finais, como estudantes, professores ou pessoas surdas, o que representa uma oportunidade para investigações futuras.

Como perspectivas futuras, pretende-se ampliar o sistema para contemplar todas as letras do alfabeto datilológico, palavras e sinais mais complexos da Libras, além de realizar validações pedagógicas com professores, estudantes e pessoas surdas, bem como estudos de usabilidade e desempenho em diferentes contextos educacionais. Essas ações poderão contribuir para o aperfeiçoamento da ferramenta e ampliar seu potencial de utilização no ensino e na aprendizagem da Libras.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos voluntários Aline Russo da Silva, Eduarda Goulart dos Santos, Micheli Virgínia Goulart e Horrana Naichele Costa de Oliveira Morschheiser, que autorizaram a utilização de suas imagens e contribuíram para a construção da base de dados utilizada neste estudo.

Referências

- Bacich, L. and Moran, J. (orgs.) (2018) *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*, Penso, Porto Alegre.
- Bradski, G. (2000) “The OpenCV Library”, *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, Vol. 25, No. 11, p. 120–125. Disponível em: <https://www.drdobbs.com/open-source/the-opencv-library/184404319>.

- Brasil (1996) “Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996: estabelece as diretrizes e bases da educação nacional”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 dez. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm.
- Brasil (2002) “Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002: dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais – Libras e dá outras providências”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 25 abr. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110436.htm.
- Brasil (2005) “Decreto nº 5.626, de 22 de dezembro de 2005: regulamenta a Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002, que dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais – Libras, e o art. 18 da Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 dez. 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5626.htm.
- Brasil (2015) “Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015: institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 7 jul. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm.
- Brasil (2021) “Lei nº 14.191, de 3 de agosto de 2021: altera a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996 (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional), para dispor sobre a modalidade de educação bilíngue de surdos”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 4 ago. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114191.htm.
- Géron, A. (2022) *Mãos à obra: aprendizado de máquina com Scikit-Learn, Keras e TensorFlow*, 3. ed., Alta Books, Rio de Janeiro.
- Kenski, V. M. (2021) *Tecnologias e ensino presencial e a distância*, 10. ed., Papirus, Campinas.
- Lacerda, C. B. F., Grácia, M. and Jarque, M. J. (2020) “Línguas de Sinais como Línguas de Interlocução: o Lugar das Atividades Comunicativas no Contexto Escolar”, *Revista Brasileira de Educação Especial*, Vol. 26, No. 2, p. 299–312. DOI: 10.1590/1980-54702020v26e0162.
- Luckin, R. (2021) *AI for School Teachers*, CRC Press, Boca Raton.
- Lugaresi, C. et al. (2019) “MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines”, *arXiv preprint*, arXiv:1906.08172. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1906.08172>.
- OpenCV (2024) *Open Source Computer Vision Library*, OpenCV Team, Palo Alto. Disponível em: <https://opencv.org/>.
- Pedregosa, F. et al. (2011) “Scikit-learn: Machine Learning in Python”, *Journal of Machine Learning Research*, Vol. 12, p. 2825–2830. Disponível em: <https://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>.
- PySide Team (2024) *PySide6 Documentation*, Qt for Python Project. Disponível em: <https://doc.qt.io/qtforpython-6/>.
- Quadros, R. M. de and Karnopp, L. B. (2004) *Língua de sinais brasileira: estudos linguísticos*, Artmed, Porto Alegre.
- Russell, S. and Norvig, P. (2020) *Inteligência artificial: uma abordagem moderna*, 4. ed., Elsevier, Rio de Janeiro.

- Sales, M. V. S. and Kenski, V. M. (2021) “Sentidos da inovação em suas relações com a Educação e as tecnologias”, *Revista da FAEEBA - Educação e Contemporaneidade*, Vol. 30, No. 64, p. 19–35. DOI: 10.21879/faceba2358-0194.2021.v30.n64.p19-35.
- Silva (2024) *Visão computacional e reconhecimento de padrões visuais aplicados à interação humano-computador*.
- Ware, C. (2012) *Information Visualization: Perception for Design*, 3rd ed., Morgan Kaufmann, Burlington. DOI: 10.1016/B978-0-12-381464-7.00018-1.
- World Wide Web Consortium (W3C) (2018) *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*, W3C Recommendation. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>.