

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE INFORMÁTICA

EVERSON DE SOUZA SILVA
NANAU LOPES DA SILVA

**MAR²S: MÃO ROBÓTICA REPRESENTATIVA DE SINAIS PARA
AUXILIAR NO APRENDIZADO DE LIBRAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2022

EVERSON DE SOUZA SILVA
NANAU LOPES DA SILVA

**MAR²S: MÃO ROBÓTICA REPRESENTATIVA DE SINAIS PARA
AUXILIAR NO APRENDIZADO DE LIBRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrônica e ao Departamento Acadêmico de Informática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Orientador: Professor Mestre Juliano Mourão
Vieira

CURITIBA

2022

EVERSON DE SOUZA SILVA
NANAU LOPES DA SILVA

**MAR2S: MÃO ROBÓTICA REPRESENTATIVA DE SINAIS PARA AUXILIAR NO
APRENDIZADO DE LIBRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Computação da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 10 de fevereiro de 2021

JULIANO MOURÃO VIEIRA

Mestrado em Ciências da Computação (USP)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

RITA DE CASSIA MAESTRI

Mestre em Educação pela Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

DANIEL FERNANDO PIGATTO

Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional pelo Instituto de Ciências
Matemáticas e de Computação (USP)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

CURITIBA

2021

Dedicamos o presente trabalho aos nossos familiares e amigos por todo apoio durante este curso de Engenharia de Computação e por nos incentivarem a continuar até o final desta jornada.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao corpo docente e a todos os servidores que nos proporcionaram todo aprendizado e que contribuíram com todo conhecimento adquirido neste de curso de Engenharia de Computação.

À Pró-Reitoria de Relações Empresariais e Comunitárias e à Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela bolsa de apoio à execução de trabalhos de conclusão de curso.

Ao professor mestre Juliano Mourão por todo o apoio e dedicação e por nos orientar ao longo do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso e desta monografia.

E por fim, aos nossos amigos Douglas e Larissa por toda ajuda e companherismo na elaboração deste projeto.

RESUMO

DA SILVA, Nanau Lopes; SILVA, Everson de Souza. MAR²S: MÃO ROBÓTICA REPRESENTATIVA DE SINAIS PARA AUXILIAR NO APRENDIZADO DE LIBRAS. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

A Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) é a segunda língua oficial brasileira e é utilizada na comunicação das pessoas com deficiência auditiva no território brasileiro. No entanto, surdos, assim como outras minorias, são vistos de forma inferiorizante, e, por este motivo, faz-se necessário uma maior difusão de LIBRAS a fim de se obter um maior reconhecimento da comunidade e cultura surda. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma mão robótica capaz de representar as configurações de mão de um sinal em LIBRAS a partir de palavras escritas na Língua Portuguesa. Uma interface gráfica foi adicionada, proporcionando acesso à mão robótica aos usuários da Língua Portuguesa sem conhecimento técnico em programação. A mão robótica foi construída utilizando impressão 3D e seus movimentos são controlados por servomotores ligados a um Raspberry Pi. Observa-se, contudo, que o modelo da mão robótica utilizado apresenta restrições de movimento, o que causa uma limitação de sinais que ela é capaz de reproduzir. Ao final, a mão funcionou como esperado e demonstra-se como uma possibilidade interessante de estímulo ao ensino introdutório de LIBRAS.

Palavras-chave: mão robótica, LIBRAS, sinais, interface gráfica

ABSTRACT

DA SILVA, Nanau Lopes; SILVA, Everson de Souza. MAR²S: SIGN REPRESENTATIVE ROBOTIC HAND TO AID BRAZILIAN SIGN LANGUAGE (LIBRAS) LEARNING. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

The Brazilian Sign Language (LIBRAS) is the second official Brazilian language and it is used in the communication of people with a hearing impairment in the Brazilian territory. However, hearing-impaired people, as other minorities, might be seen as inferiors, which makes a wider diffusion of LIBRAS necessary in order to obtain a bigger recognition of deaf community and culture. This work aims at the development of a robotic hand which is able to represent the handshapes of a sign in LIBRAS from written words in Portuguese Language. A graphical interface was included, providing access to Portuguese Language users without any technical knowledge in coding. The robotic hand was built using 3D printing and its movements are controlled by servomotors connected to a Raspberry Pi. It is noted, however, that the used robotic hand model has restrictions of movement, which causes a limitation on the number of signs that the hand is able to reproduce. Finally, the hand worked as expected and shows itself as an interesting possibility to stimulate the introductory teaching of LIBRAS.

Keywords: robotic hand, LIBRAS, signs, graphical interface

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Alfabeto manual em LIBRAS	18
FIGURA 2	– Configurações de mão	19
FIGURA 3	– Orientações de mão	20
FIGURA 4	– Figura do Raspberry Pi 3 Model B	24
FIGURA 5	– Modelo completo InMoov	25
FIGURA 6	– Diagrama de casos de uso	30
FIGURA 7	– Ciclo de desenvolvimento SCRUM	31
FIGURA 8	– Fotografia das peças 3D impressas	33
FIGURA 9	– Fotografia da mão e do antebraço com servomotores	34
FIGURA 10	– Fotografia dos servomotores no antebraço	35
FIGURA 11	– Servomotor MG995	35
FIGURA 12	– Representação do sinal da letra C em LIBRAS	36
FIGURA 13	– Interface gráfica	40
FIGURA 14	– Mão robótica representando letras em LIBRAS	40
FIGURA 15	– Mão robótica representando números em LIBRAS	41
FIGURA 16	– Mão robótica representando uma palavra e uma expressão em LIBRAS ..	41
FIGURA 17	– Mão robótica aberta	42

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	–	Sinais das letras do alfabeto em LIBRAS	38
QUADRO 2	–	Sinais dos números em LIBRAS	38
QUADRO 3	–	Sinais das palavras em LIBRAS	39
QUADRO 4	–	Sinais das expressões em LIBRAS	39

LISTA DE SIGLAS

LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
LBI	Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência
CM	Configuração de mão
L	Locação ou ponto de articulação
M	Movimento
OR	Orientação da mão
ENM	Expressão não manual
ASL	American Sign Language
RPi	Raspberry Pi
GPIO	General Purpose Input/Output
HTML	Hypertext Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
XML	eXtensible Markup Language
IDE	Integrated Development Environment
PWM	Pulse Width Modulation
ENM	Expressão não manual
MAR ² S	Mão Robótica Representativa de Sinais
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	MOTIVAÇÃO	11
1.2	OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	MOVIMENTO SURDO NO MUNDO	13
2.1.1	Cultura e comunidade surda	13
2.1.2	Acontecimentos históricos	14
2.1.2.1	Congresso de Milão	14
2.1.2.2	Congresso de Vancouver	15
2.2	MOVIMENTO SURDO NO BRASIL	16
2.2.1	Legislação Brasileira	16
2.2.2	LIBRAS	17
2.2.2.1	Parâmetros formativos	18
2.2.3	Educação bilíngue	21
2.3	TRABALHOS CORRELATOS	21
3	TECNOLOGIAS EMPREGADAS	23
3.1	RASPBERRY PI	23
3.2	IMPRESSÃO 3D	24
3.3	PYTHON	25
3.4	FLASK	26
3.5	LINGUAGENS WEB	26
4	PROJETO	28
4.1	REQUISITOS	28
4.2	DIAGRAMA DE CASOS DE USO	29
4.3	MECANISMO DE GESTÃO	30
4.4	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	31
5	DESENVOLVIMENTO	33
5.1	IMPLEMENTAÇÃO	33
5.1.1	Impressão e montagem do modelo 3D da mão	33
5.1.2	Circuito de acionamento dos servomotores	35
5.1.3	Movimento dos sinais em LIBRAS	36
5.1.4	Interface gráfica	37
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.2.1	Mão robótica	37
5.2.2	Interface gráfica	39
5.2.3	Mão robótica finalizada	40
6	CONCLUSÃO	43
6.1	TRABALHOS FUTUROS	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Uma língua comum entre duas pessoas as possibilita a comunicação mútua. Contudo, surdos encontram uma barreira sensorial na aprendizagem de uma língua de modalidade oral-auditiva, tal qual a língua portuguesa. Ouvintes, por outro lado, desde que também videntes, não possuem tal limitação no aprendizado da língua de sinais (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

Morais et al. (2019) afirmam que percebemos a deficiência como um constructo social, na qual a deficiência não está no sujeito, e sim nas barreiras construídas pela sociedade. Assim, a fim de se tornar mais ampla a comunicação entre surdos e ouvintes, o ideal é que estes, os ouvintes, se disponham a aprender a Língua de Sinais (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

No Brasil, em 24 de abril de 2002, foi sancionada a Lei nº 10.436 que dispõe que a língua brasileira de sinais seja reconhecida como meio legal de comunicação e expressão, sendo obrigação do sistema educacional, tanto federal quanto dos estados e municípios, garantir a inclusão do ensino de LIBRAS como parte integrante dos Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN, conforme legislação vigente (BRASIL, 2002).

De acordo com Andreis-Witkoski (2015) deve-se, necessariamente, estabelecer formas de comunicação entre surdos e ouvintes a fim de romper as barreiras que se impõem entre estes dois segmentos. Porém, é observada uma carência do sistema educacional brasileiro em relação ao ensino de LIBRAS. Deste modo, objetiva-se auxiliar e incentivar o aprendizado de LIBRAS a usuários iniciantes da língua através da construção de uma mão robótica, desenvolvida utilizando uma impressora 3D a partir do modelo de código aberto do projeto InMoov (INMOOV, 2020). Em uma interface gráfica, são inseridas letras e palavras da língua portuguesa que serão representadas através da configuração de mão do sinal correspondente em LIBRAS pela mão robótica.

Quanto às restrições referentes ao escopo do presente trabalho observa-se que LIBRAS é composta por cinco parâmetros formativos da língua, sendo eles (ANDREIS-WITKOSKI, 2015):

- Configuração de mão;

- Ponto ou local de articulação;
- Orientação/direcionalidade;
- Movimento; e
- Expressão não manual.

Sendo o antebraço da mão robótica imóvel, os sinais ficam restritos a apenas um parâmetro formativo, a configuração de mão. Além disso, diferentemente da mão humana, a mão robótica possui certas limitações de movimento, tal qual o entrelaçar dos dedos. Assim, tendo em vista essas restrições, a mão robótica é capaz de gesticular um número limitado de sinais, como uma parte do alfabeto e palavras que podem ser sinalizadas com o parâmetro citado anteriormente.

1.1 MOTIVAÇÃO

A Língua Brasileira de Sinais teve seu status linguístico reconhecido no Brasil pela Lei nº 10.346, de 24 de abril de 2002, que define diretrizes em relação aos direitos das pessoas com deficiência auditiva. Mesmo com isso, estas pessoas ainda sofrem exclusão e preconceito em diversos ambientes.

Devido a esta necessidade de respeito e valorização da LIBRAS e da comunidade surda, foi decidido incentivar o uso de língua de sinais em escolas e universidades através da construção de uma mão robótica, contribuindo assim para a eliminação do estigma social em torno da comunidade.

1.2 OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma mão robótica que representa as configurações de mão de um sinal em LIBRAS.

Os objetivos específicos são:

- Imprimir e montar o projeto mecânico de uma mão em um modelo de impressão 3D.
- Desenvolver um conversor de escrita da Língua Portuguesa para o parâmetro formativo configuração de mão da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS).
- Projetar e construir uma mão robótica controlada por um Raspberry Pi.

- Operacionalizar os movimentos dos dedos da mão utilizando servomotores.
- Desenvolver a interface gráfica para a escrita em Língua Portuguesa.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos. Este capítulo apresenta uma contextualização do trabalho, bem como sua motivação e seus objetivos. O capítulo 2 apresenta os conceitos abordados pela aplicação desenvolvida. O capítulo 3 apresenta as tecnologias utilizadas. O capítulo 4 apresenta os requisitos da aplicação, os diagramas de casos de uso e de classes, uma breve descrição da implementação e dos testes realizados, bem como os resultados obtidos. Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas e os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOVIMENTO SURDO NO MUNDO

2.1.1 CULTURA E COMUNIDADE SURDA

A comunicação entre surdos e ouvintes sempre foi um desafio a ser enfrentado, já que regras, criadas unicamente por ouvintes, eram impostas constantemente aos surdos. Tem-se registro, inclusive, de restrição do uso da língua gestual, na qual a superioridade da língua oral foi sustentada (CRISTIANO, 2017) como visto no Congresso de Milão, que será abordado na seção 2.1.2.1.

O desafio da comunicação entre esses dois grupos se inicia pela diferença na modalidade da língua, uma oral-auditiva e a outra viso-espacial. O processo de aprendizagem de comunicação linguística de uma pessoa surda ou com deficiência auditiva, inserida em um ambiente com pessoas majoritariamente ouvintes, é cansativo, já que o surdo depende da não existência de barreiras sensoriais para compreensão das palavras faladas. Esse processo, para muitos, se dá através de fadigantes sessões de terapia de fala, nas quais são postos a aprender a oralidade, como também a fazer o uso da leitura labial. Para esse uso é necessário um contato visual frontal e que, na maioria das vezes, é falho por depender de uma posição horizontal favorável ao surdo, de uma boa articulação labial e do reconhecimento de fonemas potencialmente nunca antes ouvidos pelos surdos (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

Há uma resistência pela sociedade, devido ao histórico das políticas ouvintistas impostas, em reconhecer a cultura surda. Por esse motivo, se vê a necessidade ainda maior da integração e da troca de experiências entre os indivíduos surdos, para a constituição dessa cultura da "comunidade de experiências" (FERNANDES, 2011).

Essa visão inferiorizante surge não apenas neste contexto, mas também em relação a outros grupos sociais minoritários, e sem:

[...] estabelecer níveis de respeitabilidade e garantia de igualdade de direitos humanos às pessoas com diferentes origens, crenças, etnias, gêneros, uma

convivência pacífica entre os membros pertencentes a grupos minoritários e os grupos minoritários de uma comunidade social, sem qualquer discriminação. [De modo que inexistente] real respeito à diversidade cultural [na medida em que este] implica em não se “folclorizar” grupos sociais minoritários, considerando-os “exóticos” ou “interessantes” (KELMAN, 2012 apud ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

Dito isto, é de grande importância ressaltar que o contato de uma criança surda com seus pares é essencial para que esse indivíduo se entenda dentro da sociedade em que está inserido, provavelmente monolíngue, e que possa atuar como um ator formador da cultura e comunidade surda, nos quais necessitam ser reconhecidas e divulgadas (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

2.1.2 ACONTECIMENTOS HISTÓRICOS

Historicamente, pessoas com deficiência foram consideradas incapazes, isoladas de comunicar-se inclusive com familiares e pessoas com o mesmo problema, estando restritas a alguns sinais e gestos rudimentares, privadas de alfabetização e instrução, e sendo negadas de direitos humanos fundamentais, vivendo sozinhas, muitas vezes à beira da miséria, consideradas pela lei e pela sociedade como pouco mais do que imbecis (SACKS, 1990).

Essa visão, na qual pessoas com deficiência são consideradas incapazes, vem se modificando e, atualmente, é discutida por profissionais de diversas áreas, especialmente da saúde, o que contribui para maior atenção à saúde dessa população (DUARTE et al., 2013).

2.1.2.1 CONGRESSO DE MILÃO

O Congresso de Milão, ocorrido entre os dias 6 e 11 do mês de setembro de 1880, tinha como objetivo debater a educação das pessoas surdas e seus métodos de ensino. Para essa conferência, reuniram-se educadores e especialistas do mundo todo, sendo esses, em sua maioria ouvintes. Foi então reiterada a superioridade da língua falada em relação à gestual, a qual acreditava-se ser um retrocesso na evolução da linguagem (CRISTIANO, 2017).

Ao final de dias de apresentações, debates e votações, foram definidas oito resoluções que impactaram negativamente no desenvolvimento e uso da língua de sinais em todo o mundo. Abaixo estão listadas as resoluções (FRANÇA, 2013):

1. O uso da língua falada, no ensino e educação dos surdos, deve preferir-se

à língua gestual;

2. O uso da língua gestual em simultâneo com a língua oral, no ensino de surdos, afeta a fala, a leitura labial e a clareza dos conceitos, pelo que a língua articulada pura deve ser preferida;
3. Os governos devem tomar medidas para que todos os surdos recebam educação;
4. O método mais apropriado para os surdos se apropriarem da fala é o método intuitivo (primeiro a fala depois a escrita); a gramática deve ser ensinada através de exemplos práticos, com a maior clareza possível; devem ser facultados aos surdos livros com palavras e formas de linguagem conhecidas pelo surdo;
5. Os educadores de surdos, do método oralista, devem aplicar-se na elaboração de obras específicas desta matéria;
6. Os surdos, depois de terminado o seu ensino oralista, não esqueceram o conhecimento adquirido, devendo, por isso, usar a língua oral na conversação com pessoas falantes, já que a fala se desenvolve com a prática;
7. A idade mais favorável para admitir uma criança surda na escola é entre os 8-10 anos, sendo que a criança deve permanecer na escola um mínimo de 7-8 anos; nenhum educador de surdos deve ter mais de 10 alunos em simultâneo;
8. Com o objetivo de se implementar, com urgência, o método oralista, deviam ser reunidas as crianças surdas recém admitidas nas escolas, onde deveriam ser instruídas através da fala; essas mesmas crianças deveriam estar separadas das crianças mais avançadas, que já haviam recebido educação gestual, a fim de que não fossem contaminadas; os alunos antigos também deveriam ser ensinados segundo este novo sistema oral.

2.1.2.2 CONGRESSO DE VANCOUVER

No dia 19 de julho de 2010, 130 anos depois do Congresso de Milão (2.1.2.1), ocorreu o Congresso de Vancouver, que: aboliu todas as oito resoluções retrógradas definidas na conferência de 1880; reconheceu e lamentou todos os efeitos negativos resultantes; e apelou que todas as nações assegurassem os programas educacionais aos surdos, bem como respeitassem todas as formas de comunicação (RODRIGUES; FONSECA, 2010).

O congresso reuniu 20% de delegados surdos (160 do total) de vários países do mundo,

diferentemente do que aconteceu no Congresso de Milão (RODRIGUES; FONSECA, 2010). O evento criou um novo marco para a história da comunidade surda mundial por reanimar o respeito à língua gestual como meio de comunicação, o que não havia ocorrido oficialmente até então.

2.2 MOVIMENTO SURDO NO BRASIL

2.2.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002 reconhece LIBRAS como meio legal de comunicação e expressão e estabelece que o poder público em geral deve garantir formas institucionalizadas de apoio e difusão da língua, além de garantir atendimento e tratamento adequado aos portadores de deficiência auditiva (BRASIL, 2002).

Atráves do Decreto nº 5626, de 22 de dezembro de 2005, que regulamenta a Lei de nº 10.436/2002 e o artigo 18 da Lei nº 10.098/2000, são estabelecidas determinações tais como: inserção de Libras como disciplina curricular obrigatória nos cursos de formação de professores; formação e inserção de instrutores bilíngues no ensino fundamental, médio e superior, para auxiliar na tradução e interpretação de Libras - Língua Portuguesa; e viabilizar a formação e educação bilíngue nos níveis básicos e superiores (BRASIL, 2005).

A Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015 institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), assegurando e promovendo a igualdade, o exercício dos direitos à educação, trabalho, transporte, saúde e cultura. Assegura ainda liberdades fundamentais à pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania (BRASIL, 2015). Esta lei:

- Garante às pessoas direito à adoção de processo de tomada de decisão apoiada, ou seja, o auxílio em tomadas de decisões civis por parte de pessoas de sua confiança;
- Na educação, assegura a oferta do sistema educacional inclusivo em todos os níveis e modalidades de ensino;
- Reassegura o direito universal às pessoas com deficiência ao Sistema Único de Saúde (SUS);
- Assegura o direito ao trabalho em ambiente acessível e inclusivo, em igualdade de oportunidades às demais pessoas;
- Inclui o desrespeito às normas de acessibilidade como causa de improbidade administrativa;

- Estabelece pena de reclusão em casos de discriminação, abandono ou exclusão de pessoa em razão de sua deficiência.

A LBI estabelece ainda, a deficiência como algo intrínseco aos espaços (físicos ou sociais) que apresentam barreiras, obstruindo participação plena e efetiva das pessoas com deficiência na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas (BRASIL, 2015).

2.2.2 LIBRAS

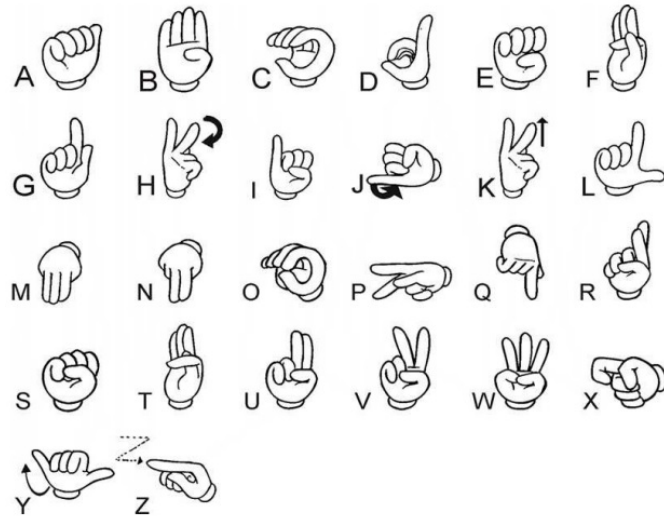
Língua natural pode ser definida como um conjunto de sentenças, construídas por um conjunto de elementos, como definido por Chomsky (apud QUADROS; KARNOPP, 2003). Posto isso, a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) é considerada uma língua natural da modalidade visual-espacial, tendo como elemento o sinal, diferentemente da Língua Portuguesa da modalidade oral-auditiva, que tem como elemento a palavra falada (QUADROS; KARNOPP, 2003).

A formação e construção de LIBRAS é dada por processos comuns a outras línguas de sinais e orais, como o empréstimo linguístico, derivação, nominalização, composição, entre outros (ANDREIS-WITKOSKI, 2015). Apesar das semelhanças citadas, as línguas de sinais não são universais e tampouco são subordinadas das línguas faladas dos países onde estão sendo produzidas. Dentro do mesmo país existem diferenças regionais que influenciam na criação e adaptação dos sinais, dando origem a um dialeto (QUADROS; KARNOPP, 2003).

No Brasil, o reconhecimento de LIBRAS como língua oficial se deu por meio da Lei nº 10.436/2002, após reivindicações de sujeitos surdos que se mobilizaram e lutaram pela causa surda. A partir deste marco histórico, LIBRAS passou a ser regulamentada pelo estatuto linguístico da legislação brasileira, o mesmo que regulamenta a Língua Portuguesa no país (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

O alfabeto em LIBRAS é composto por 26 sinais, cada um correspondente a uma letra no alfabeto romano. Além destes sinais fundamentais, outros sinais também podem representar palavras, tais como 'oi', 'tchau', etc. A figura 1 apresenta os sinais correspondentes às letras do alfabeto romano.

Figura 1: Alfabeto manual em LIBRAS



Fonte: (SILVA et al., 2008)

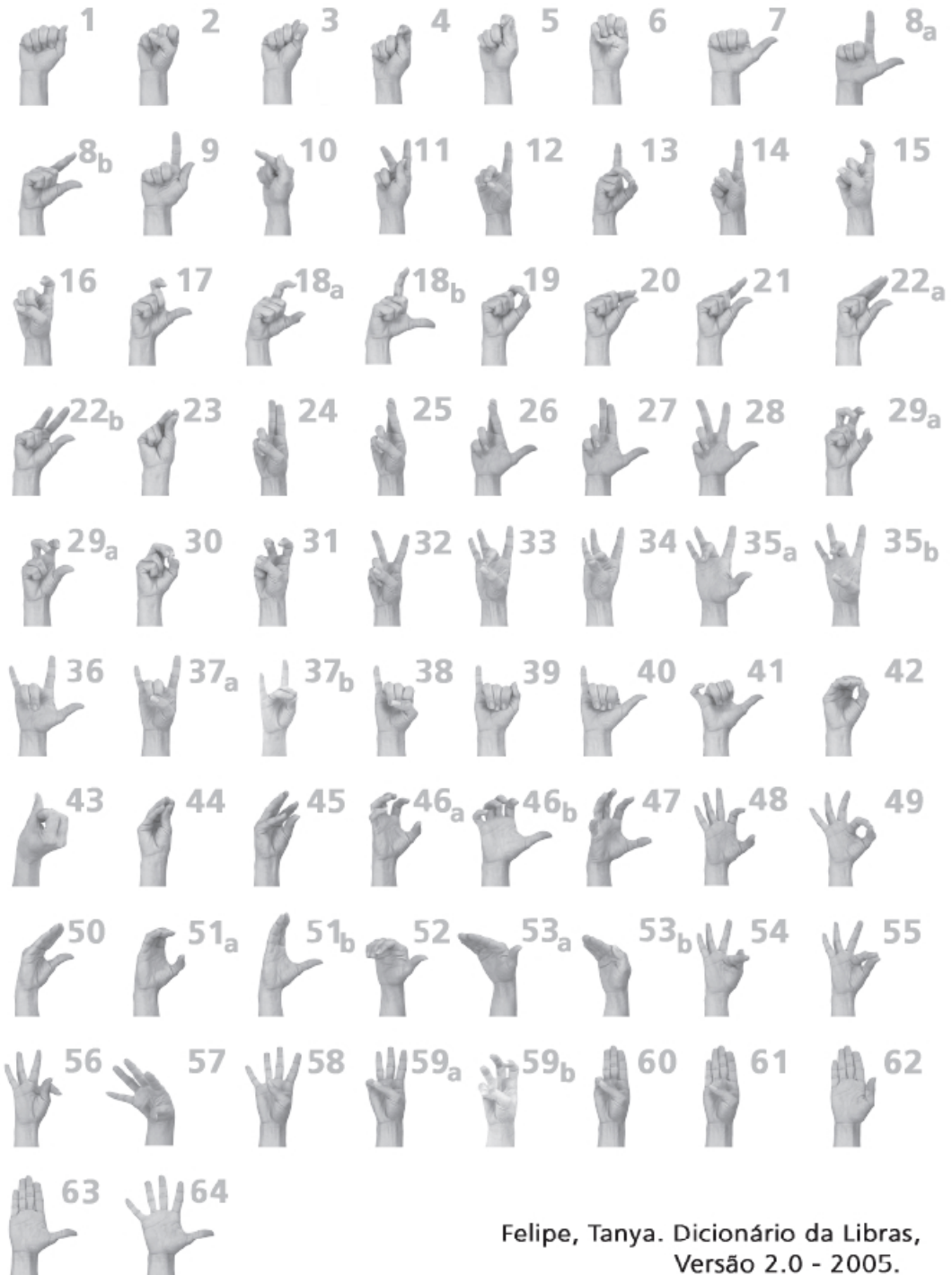
2.2.2.1 PARÂMETROS FORMATIVOS

No Brasil, a língua de sinais possui cinco parâmetros formativos ou fonológicos¹ como explica Andreis-Witkoski (2015). Através de diversos estudos e pesquisas sobre a LIBRAS, foram desenvolvidos e definidos esses cinco parâmetros abaixo, como já citado no capítulo 1:

- **Configuração de mão (CM):** é a forma como a mão pode se apresentar ao representar um sinal na língua de sinais. De acordo com Felipe e Monteiro (2007), existem setenta e quatro configurações de mão possíveis em LIBRAS, ilustradas e listadas na figura 2. Cada configuração de mão pode estar presente em vários sinais, a depender dos outros quatro parâmetros formativos da língua para representar todo o sinal.

¹Aspectos formativos ou fonológicos são o que define como uma língua é estruturada e composta.

Figura 2: Configurações de mão



Felipe, Tanya. Dicionário da Libras,
Versão 2.0 - 2005.

Fonte: (FELIPE; MONTEIRO, 2007)

- **Locação ou ponto de articulação (L):** é o local onde o sinal será articulado, tendo quatro regiões para representá-lo: cabeça, mão, tronco ou espaço neutro (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).
- **Movimento (M):** expõe as características do movimento na representação do sinal,

formado pelo tipo, direcionalidade, maneira e frequência (QUADROS; KARNOPP, 2003).

- **Orientação (OR):** refere-se à direção para qual a palma da mão aponta ao realizar um sinal (QUADROS; KARNOPP, 2003). De acordo com Silva (2014), existem seis tipos de orientação de mão em LIBRAS: para cima, para baixo, para fora, para dentro e para os lados (contralateral² e ipsilateral³). A figura 3 ilustra as orientações de mão para os lados.



Fonte: (QUADROS; KARNOPP, 2003)

- **Expressões não manuais ou expressões faciais e/ou corporais (ENM):** têm dois papéis: marcação de construções sintáticas e diferenciação de item lexicais (QUADROS; KARNOPP, 2003). Elas são necessárias para expressar grau de adjetivos ou interrogação de uma sentença (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

Um sinal deve ser composto por no mínimo três desses parâmetros citados: configuração de mão (CM), locação ou ponto de articulação (L) e movimento (M) (ANDREIS-WITKOSKI, 2015). Esses parâmetros foram definidos por um pesquisador americano, dado que um sinal exige a existência deles em sua formação e ainda:

[...] observa-se que estes três aspectos isoladamente não carregam significado, sendo unidades mínimas (fonemas) que constituem morfemas nas Línguas de Sinais, tal qual, analogicamente, os fonemas constituem os morfemas nas línguas orais (ANDREIS-WITKOSKI, 2015).

²Contralateral se refere ao que está orientado para o lado oposto da palma da mão.

³Ipsilateral se refere ao que está orientado para o mesmo lado da palma da mão.

2.2.3 EDUCAÇÃO BILÍNGUE

Dentro deste contexto, escolas de educação bilíngue de LIBRAS são “[...] aquelas nas quais LIBRAS (L1⁴) seja a língua de instrução em todo o processo educativo e a Língua Portuguesa (L2⁵) seja ensinada na modalidade escrita” (ANDREIS-WITKOSKI, 2015). Atualmente, em escolas de ensinos regulares isso não ocorre, uma vez que as aulas são ministradas em Língua Portuguesa oral, ficando LIBRAS em segundo plano por meio do trabalho de um intérprete.

Há uma resistência da comunidade e do governo na implementação das escolas bilíngues; contudo, a comunidade surda luta por este ensino mais adequado, pela qualificação de profissionais surdos e promoção do uso de LIBRAS como L1 (MORAIS et al., 2019). Ainda de acordo com Andreis-Witkoski (2015) e Morais et al. (2019), um sujeito surdo só terá possibilidade de ser usuário de LIBRAS como primeira língua e de ter uma construção da identidade surda em um ambiente bilíngue, pois será nele que existirá uma possível desconstrução do preconceito pela comunidade surda, já que haverá: uma troca de vivências entre surdos e ouvintes; o contato e a identificação com pares surdos; e uma maior contemplação e conhecimento da cultura surda.

Além da exclusão de um aluno surdo pelos colegas ouvintes - que, na maioria dos casos, são filhos de pais ouvintes, que não puderam lhes ensinar LIBRAS (MORAIS et al., 2019) -, podem ocorrer problemas de comunicação entre o aluno e o intérprete, ou mesmo entre o intérprete e o professor, uma vez que esses possuem diferentes áreas de formação, como diz Andreis-Witkoski (2015).

Em síntese, o objetivo principal almejado pela comunidade surda é uma verdadeira educação bilíngue, sendo LIBRAS usada como primeira língua, o que contrapõe o que foi estabelecido pelo Decreto nº 5626/2005, que não garante uma inclusão digna dos surdos no sistema de ensino brasileiro.

2.3 TRABALHOS CORRELATOS

Inicialmente, buscava-se encontrar formas de incentivar e promover o uso de LIBRAS, disseminando a língua e a cultura surda nos mais diversos ambientes sociais. Foram então encontrados trabalhos que possuem o mesmo intuito, sendo eles: o aplicativo de tradução digital de LIBRAS, HandTalk; a luva alfabetizadora de LIBRAS do Trabalho de Conclusão de Curso

⁴Primeira língua, que se dá por contato espontâneo, sem ensino sistematizado.

⁵Segunda língua.

da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Curitiba, Alaluva; e a mão mecânica que gesticula sinais em LIBRAS do Trabalho de Conclusão de Curso da Pontifícia Universidade Católica (PUC) – Minas.

O aplicativo HandTalk é um tradutor para língua de sinais, no qual é possível traduzir textos de inglês para ASL - Língua de Sinais Americana ou de português para LIBRAS. É possível ainda, incorporar a solução do HandTalk a um site, por exemplo, tornando-o mais acessível uma vez proporcionada a tradução de textos e imagens do site para a língua de sinais (HANDTALK, 2013).

A Alaluva, ou luva alfabetizadora de LIBRAS, consiste em um dispositivo cujos gestos são captados por uma gama de sensores conectados a um microcontrolador, proporcionando a identificação das letras do alfabeto e de dez palavras básicas em LIBRAS feitas pelo usuário. A Alaluva captura os dados dos sensores e os interpreta, classificando-os através de um algoritmo de decisão⁶ de reconhecimento de padrões (OGUIDO; SOUZA, 2018).

A mão tradutora do Trabalho de Conclusão de Curso da Pontifícia Universidade Católica (PUC) – Minas foi construída com o intuito de facilitar o aprendizado para os surdos. A mão foi construída utilizando materiais como madeira e nylon e está conectada a um microcontrolador Arduino, que a partir de um teclado comum de computador recebe as letras e palavras digitadas e as converte em comandos que geram os movimentos correspondentes em LIBRAS (PUCMINAS, 2016).

Ao fazer uma análise dos três trabalhos correlatos citados e da reportagem de Loureiro (2017), pôde-se notar uma semelhança com o projeto da mão robótica tradutora da PUCMINAS (2016), devido à existência do artefato utilizado para reproduzir os sinais em LIBRAS. O presente trabalho, no entanto, apresenta diferenças significativas, tais como: uma interface gráfica para a escrita em Língua Portuguesa; uma maior quantidade de configurações de mão de sinais em LIBRAS, incluindo letras, números, palavras e expressões; e a utilização de um modelo de impressão 3D de código aberto, tornando o projeto mais acessível e facilitando sua reprodução.

⁶Abordagem da análise preditiva, que a partir da avaliação estatística de dados do passado auxilia na tomada de decisões.

3 TECNOLOGIAS EMPREGADAS

Este capítulo apresenta as tecnologias escolhidas para o desenvolvimento do projeto, dentre elas as linguagens de programação, o ambiente de desenvolvimento, a placa microcontrolada e o servomotores.

3.1 RASPBERRY PI

Raspberry Pi, também conhecido como RPi, é um pequeno computador de placa única¹, desenvolvido pela Fundação Raspberry Pi no Reino Unido em fevereiro de 2012 (SHAH, 2015). Ele foi criado com a intenção de promover o aprendizado de computação básica e habilidades de criação digital e assim possibilitar a inserção de estudantes interessados em computação neste estudo (RASPBERRYPI, 2020).

Atualmente, Raspberry Pi é utilizado em diversas áreas de computação e eletrônica por oferecer baixo custo, alto desempenho entre computadores de placa única e uso de software livre², além de suportar uma variedade de sistemas operacionais. Tendo em vista os benefícios citados, eles podem possibilitar tanto o avanço de estudos na computação quanto um maior acesso de pessoas na área (RASPBERRYPI, 2020).

Neste trabalho foi escolhido o Raspberry Pi 3 Model B, que pode ser visto na figura 4, pelo seu baixo custo e alta compatibilidade com as diversas linguagens de programação disponíveis. Ele também possui pinos de entrada e saída de dados de uso geral que promovem uma fácil interface com periféricos, neste caso utilizados para se conectar com os servomotores.

¹Computador que possui todos os componentes eletrônicos necessários em uma única placa de circuito impresso.

²Software que concede ao usuário a liberdade de executar, copiar, distribuir, estudar, mudar e melhorar o software.

Figura 4: Figura do Raspberry Pi 3 Model B



Fonte: (FOUNDATION, 2014)

3.2 IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D foi inventada em 1984 por Chuck Hull nos Estados Unidos com objetivo inicial de criar lâmpadas de solidificação de resinas e acelerar a fabricação das peças plásticas (3DSYSTEMS, 2020; 3DLAB, 2020). Hull foi cofundador da 3D Systems, companhia focada em fornecer soluções 3D para o mercado global e otimizar produtos e processos das áreas de design e engenharia (3DSYSTEMS, 2020).

Há algumas características que fomentam o uso da impressão 3D em projetos atuais da chamada indústria 4.0, como vistos nas áreas de robótica e mecatrônica (RAZGRIZ, 2019). Dentre as diversas vantagens estão: prototipagem com alto nível de detalhamento; redução de tempo, custos e materiais; variedade de materiais (filamentos de resina, de polímeros plásticos, de polímeros sintéticos, entre outros); e peças personalizadas (LWT, 2016).

Neste trabalho, a impressão 3D foi utilizada para a fabricação do protótipo da mão robótica, utilizando o modelo 3D da mão e do antebraço do site francês InMoov. O site foi criado pelo francês Gaël Langevin que desenvolve, modela e disponibiliza modelos 3D *open source* do corpo humano há mais de 25 anos, dando abertura a projetos em diversas áreas, como a de biônica (INMOOV, 2020).

A figura 5 apresenta o modelo completo do robô humanoide da InMoov.

Figura 5: Modelo completo InMoov



Fonte: (HOUSTON, 2017)

3.3 PYTHON

Python foi concebido por volta de 1989 como projeto pessoal de Guido Van Rossum (BANIN, 2018), tendo publicado a primeira versão (versão 0.9.0) do código Python em alt.sources³ em fevereiro de 1991, já contendo tratamento de exceções, funções e os principais tipos de dados (COURSE, 2011).

De acordo com Banin (2018), Python é uma linguagem de código aberto e conta com a colaboração de diversos desenvolvedores ao redor do mundo, apresentando características relevantes, como portabilidade, simplicidade com robustez e grande aplicabilidade, além de ser considerada uma linguagem introdutória, como mostrado por Guo (2014).

³Grupo Usenet para código-fonte aberto.

No contexto deste trabalho, optou-se por utilizar Python, pois além das características apresentadas por Banin (2018), Python apresenta compatibilidade com a Raspberry Pi, possuindo inclusive, uma biblioteca de controle do GPIO (*General Purpose Input/Output* ou Entrada/Saída de Uso Geral), que facilita o mapeamento de entradas e saídas do Raspberry Pi.

3.4 FLASK

Flask é um *microframework* web desenvolvido em Python, projetado para tornar o desenvolvimento web rápido e escalável, visando manter o núcleo simples, mas extensível. Assim, por padrão, o Flask não inclui uma camada de abstração de banco de dados ou mesmo validação de formulário; em vez disso, o Flask oferece suporte a extensões para adicionar tais funcionalidades à aplicação. Existem muitas extensões fornecidas pela própria comunidade que facilitam a adição de novas funcionalidades (PALLETTS, 2010).

3.5 LINGUAGENS WEB

HTML (*Hypertext Markup Language* ou Linguagem de Marcação de Hipertexto) e CSS (*Cascading Style Sheets* ou Folha de Estilo em Cascatas) são duas das principais tecnologias para a construção de páginas web. HTML fornece a estrutura da página, CSS a estilização (W3C, 2011). Junto com JavaScript, responsável por especificar o comportamento das páginas da web, HTML e CSS compõem a tríade de tecnologias base de construção de páginas web.

O HTML define como o conteúdo é estruturado na web e ainda a ligação entre as páginas relacionadas (MAKZAN, 2015). O HTML é uma linguagem de marcação: seus elementos, as *tags* HTML, rotulam partes do conteúdo, como “parágrafo”, “lista”, “tabela” e assim por diante, apresentando as informações da página HTML (TABLELESS, 2011).

Já o CSS é utilizado para descrever a apresentação (ou estilização) de páginas da web, incluindo cores, leiaute e fontes, permitindo adaptar os estilos a diferentes dispositivos e tamanhos de tela (W3C, 2011).

O CSS é independente do HTML e pode ser usado com qualquer linguagem de marcação baseada em XML (eXtensible Markup Language). A separação de HTML de CSS torna mais fácil manter *sites*, compartilhar folhas de estilo entre páginas e personalizar páginas para diferentes ambientes (W3C, 2011).

JavaScript é a linguagem de programação web mais utilizada atualmente. A linguagem

especifica o comportamento das páginas web, permitindo trabalhar com texto, matrizes, datas e expressões regulares; entretanto, nenhuma funcionalidade de entrada ou saída é incluída. A entrada e a saída (bem como os recursos mais sofisticados, como rede, armazenamento e gráficos) são de responsabilidade do “ambiente de *host*”, tal qual navegadores web, no qual o JavaScript está incorporado (FLANAGAN, 2011).

4 PROJETO

Este capítulo apresenta os requisitos levantados para o desenvolvimento da mão robótica, bem como o mecanismo de gestão do projeto e as etapas de seu desenvolvimento.

4.1 REQUISITOS

Os requisitos funcionais da aplicação estão listados a seguir.

- RF01: A mão robótica deverá ser capaz de reproduzir as configurações de mão de sinais em LIBRAS.
- RF02: A aplicação deverá permitir ao usuário inserir e alterar palavras em português para serem representadas através das configurações de mão de sinais em LIBRAS pela mão robótica.
- RF03: A aplicação deverá permitir ao usuário inserir e alterar palavras que serão representadas letra por letra em LIBRAS pela mão robótica.
- RF04: A aplicação deverá exibir uma mensagem de erro ao usuário caso alguma das letras e/ou palavras inseridas não puderem ser representadas em LIBRAS devido às limitações da mão robótica.
- RF05: A aplicação deverá exibir uma mensagem de sucesso ao usuário caso todas as letras e palavras inseridas puderem ser representadas pela mão robótica.
- RF06: A aplicação deverá permitir que o usuário consulte o dicionário que relaciona palavras em português e configurações de mão de sinais em LIBRAS, que a mão é capaz de reproduzir.
- RF07: A interface deverá dispor informações de utilização da plataforma.
- RF08: A aplicação deverá adaptar-se ao tamanho da tela na qual está sendo exibida.

- RF09: A aplicação deverá estar acessível a partir de qualquer dispositivo conectado a rede e que possua um navegador web instalado.

Os requisitos de projeto são:

- RP01: A aplicação será desenvolvida utilizando a linguagem Python e as linguagens web (JavaScript, HTML e CSS), podendo ser utilizados *frameworks*.
- RP02: A aplicação deverá utilizar a placa microcontrolada Raspberry Pi para controle dos motores e hospedagem do servidor web.
- RP03: A IDE¹ (*Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) para desenvolvimento será o Visual Studio Code versão 1.52.
- RP04: O controle de versionamento da aplicação se dará utilizando o GitHub.
- RP05: O mecanismo de gestão de projeto será o Scrum.

4.2 DIAGRAMA DE CASOS DE USO

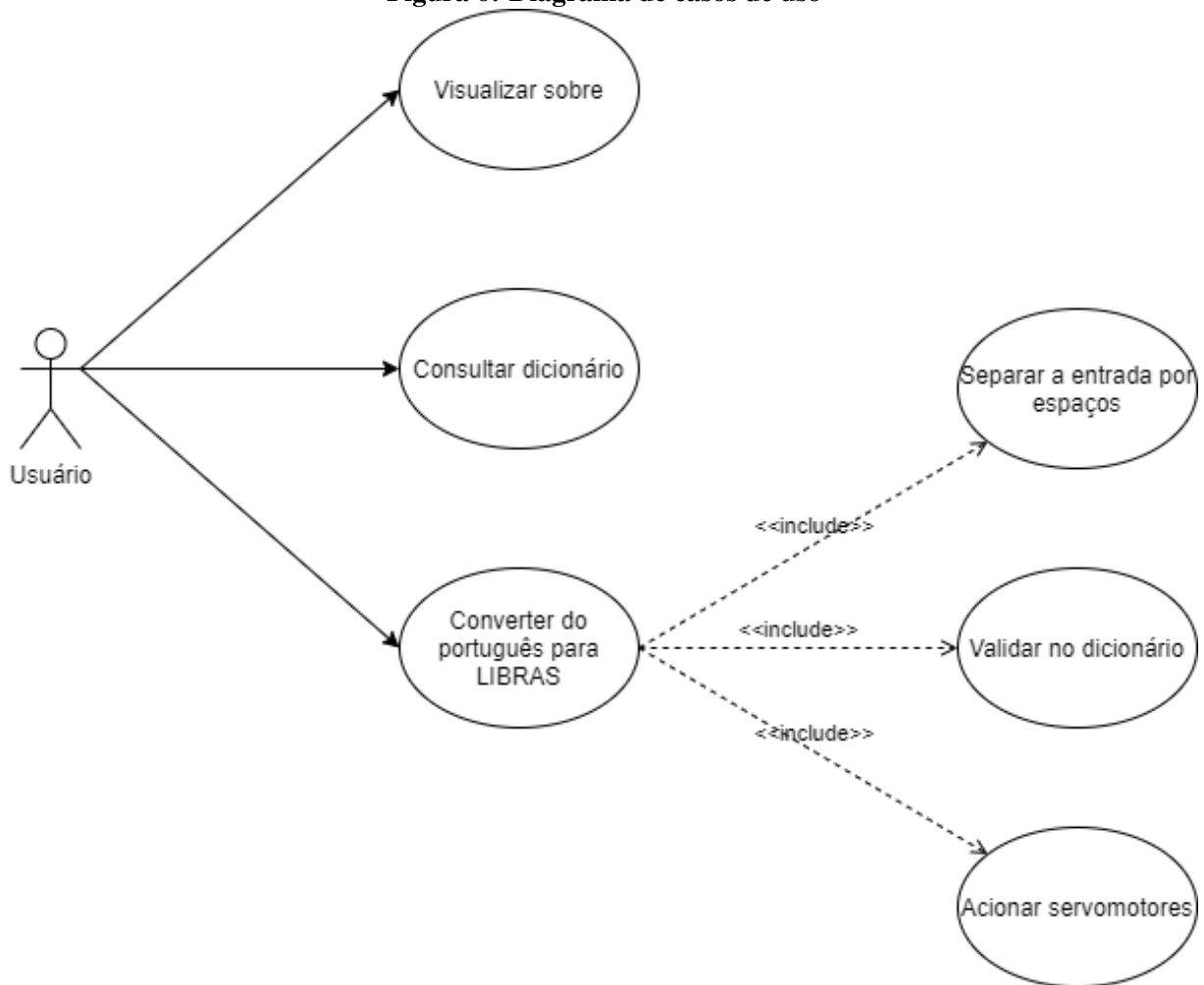
Uma vez levantados os requisitos, foi possível descrever os casos de uso da aplicação, sendo possível realizar três ações principais: a) Consulta ao dicionário; b) Visualização de informações relevantes ao uso da aplicação; e c) A conversão do que foi escrito para ser reproduzido pela mão robótica.

Para que a conversão seja realizada, a aplicação primeiramente separa a entrada em letras, números, palavras ou expressões através de espaços em branco, em seguida realiza a validação no dicionário, na qual é verificado se o que foi escrito pode ser representado pela mão robótica, e por fim, aciona os servomotores, reproduzindo as configurações de mão dos sinais em LIBRAS.

A Figura 6 apresenta o diagrama de casos de uso contendo todas as ações mencionadas anteriormente.

¹Programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software.

Figura 6: Diagrama de casos de uso



Fonte: Autoria própria

4.3 MECANISMO DE GESTÃO

Scrum é uma ferramenta de gestão e planejamento de projetos e é composto por três artefatos: o *Product backlog*, *Sprint² backlog* e o Incremento (AGIL, 2013).

O *product backlog* atua como a entrada para o *sprint backlog* e é uma lista dinâmica de recursos, requisitos, aprimoramentos e correções que devem ser executadas ao longo de todo o projeto, tal como uma “lista de afazeres” da equipe (ATLASSIAN, 2021).

O *sprint backlog* é a lista de itens e correções de bugs a serem implementados no ciclo atual de *sprint*. Assim, no início de cada *sprint*, é realizada uma reunião de planejamento na qual são priorizados os itens do *product backlog* e são selecionadas as atividades que a equipe implementará durante a *sprint* que se inicia. As tarefas alocadas em uma *sprint* são transferidas do *product backlog* para o *sprint backlog*. O Scrum prevê ainda, o *Daily Scrum*,

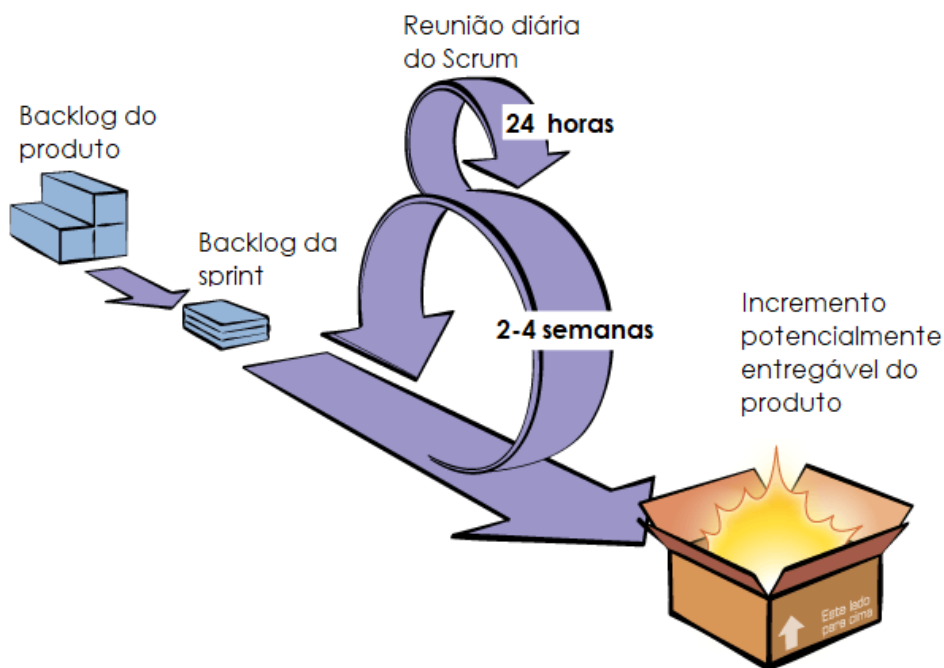
²Período curto e fixo em que uma equipe Scrum trabalha para concluir uma quantidade definida de trabalho.

uma breve reunião diária cujo objetivo é compartilhar informações sobre o que foi feito no dia anterior, identificar impedimentos e priorizar o trabalho do dia que se inicia. Ao final de cada *sprint* é realizada a *Sprint Review Meeting*, na qual a equipe apresenta as funcionalidades implementadas naquele ciclo (ATLASSIAN, 2021).

Por fim, o incremento é o produto final utilizável proveniente de uma *sprint*, considerado entregável ou “concluído” (ATLASSIAN, 2021).

A figura 7 apresenta o ciclo de desenvolvimento Scrum.

Figura 7: Ciclo de desenvolvimento SCRUM



Fonte: Adaptado de (AGIL, 2013)

O Scrum foi o mecanismo de gestão escolhido por melhor se adequar às preferências e ao modo de desenvolvimento da equipe do presente trabalho. Para gestão do projeto, criação de atividades do *product backlog* e *sprint backlog*, bem como organização e divisão das atividades entre os membros da equipe, foi utilizado o Notion, uma ferramenta que permite a criação e organização de tarefas, projetos, notas e documentos.

4.4 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da mão robótica iniciou-se através de reuniões com a equipe para verificar a viabilidade de representação de sinais através do modelo 3D da mão robótica do site InMoov. Uma vez verificada a viabilidade, foram levantados os requisitos funcionais e de

projeto bem como as tecnologias necessárias para implementar a mão robótica, sendo elas a placa microcontrolada e linguagem de programação responsável pelos movimentos da mão, os motores e as tecnologias web para implementação da interface gráfica. Uma vez realizados estes levantamentos, foi criado o *Product backlog* contendo todas as atividades a serem desenvolvidas para o desenvolvimento do projeto. Cada atividade pertencia a um grupo específico, sendo eles: a) Impressão das peças 3D, b) Montagem da mão, c) Implementação dos motores, d) Criação do dicionário relacionando palavras em português e configurações de mão de sinais em LIBRAS que a mão é capaz de reproduzir, e) Implementação da interface gráfica e f) Ajustes. Tendo isto em mente, organizou-se as *sprints* de acordo com as prioridades e dependências entre as etapas. A cada *sprint*, foram selecionadas as atividades a serem desenvolvidas durante o ciclo, na qual a equipe implementou as atividades presentes no *sprint backlog* corrente, além de realizar as reuniões diárias para acompanhamento do projeto. E ao fim de cada *sprint* foram realizadas as *Sprint Review Meetings* para que cada integrante da equipe apresentasse o resultado do desenvolvimento daquela etapa.

5 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta a implementação da mão robótica, bem como os resultados obtidos.

5.1 IMPLEMENTAÇÃO

5.1.1 IMPRESSÃO E MONTAGEM DO MODELO 3D DA MÃO

Inicialmente verificou-se a viabilidade de se utilizar o modelo 3D do site InMoov, e também a limitação de movimentos da mão, sendo verificado que a mão robótica é capaz de gesticular um número limitado de sinais em LIBRAS. Uma vez optado pela utilização deste modelo, foi realizada a impressão das peças 3D da mão e do antebraço direito do modelo da InMoov, tendo sido escolhido um filamento PLA¹ de cor neutra. Em seguida, foi realizada a montagem da mão, a qual se deu através da separação das partes: antebraço, mão e dedos, e do encaixe das peças. A figura 8 mostra as peças 3D dispostas sobre a mesa.

Figura 8: Fotografia das peças 3D impressas



Fonte: Autoria própria

¹Polímero termoplástico biodegradável feito com ácido láctico.

Para os dedos, foi necessário ainda utilizar arame galvanizado na fixação das articulações entre os metacarpos² e falanges³ e entre falanges e falanges, homólogos a uma mão humana. Além disso, foram utilizadas cordas barbante que funcionaram como tendões, que ao serem tensionadas e distensionadas pelo motor, realizam a cinesiologia⁴ de abrir ou fechar dos dedos. A figura 9 mostra a utilização dos barbantes para o movimento dos dedos.

Figura 9: Fotografia da mão e do antebraço com servomotores



Fonte: Autoria própria

²Metacarpos são os ossos situados entre o punho e os dedos da mão.

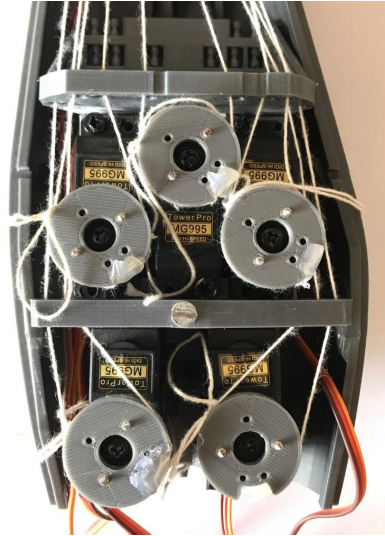
³Falanges são os ossos situados nos dedos da mão.

⁴Cinesiologia é a ciência do movimento humano.

5.1.2 CIRCUITO DE ACIONAMENTO DOS SERVOMOTORES

O modelo 3D da mão e do antebraço do site InMoov (INMOOV, 2014) foi criado e modelado para utilizar servomotores⁵ compatíveis com microcontroladores comuns do mercado, como Arduino, ESP32, Raspberry Pi, entre outros. Os servomotores estão localizados no antebraço, local projetado para ser feito o encaixe deles, como pode ser visto na figura 10.

Figura 10: Fotografia dos servomotores no antebraço



Fonte: Autoria própria

Os servomotores possuem roldanas fixas que estão ligadas com os barbantes dos dedos e cada servomotor controla um dedo através do sistema mecânico de roldanas e barbantes. Para um dedo realizar seu movimento de abrir, ou fechar, é preciso tensionar um barbante desse dedo e distensionar o outro e esse movimento é realizado ao girar a roldana que está fixada no eixo de saída do servomotor, ilustrado na figura 11.

Figura 11: Servomotor MG995



Fonte: Adaptado de ArduShop (2020)

⁵Servomotor é um motor elétrico com alta precisão de posicionamento.

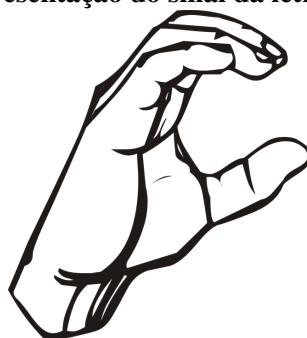
O eixo de saída gira para ambos os sentidos e isso é controlado pelo sinal enviado pela entrada PWM (*Pulse Width Modulation* ou Modulação por Largura de Pulso)⁶ do servomotor. Se o eixo girar em um sentido, ele conseqüentemente girará a roldana, o que irá tensionar um barbante e distensionar outro e fazer que o dedo se abra ou feche, a depender do sentido em que o eixo foi girado.

5.1.3 MOVIMENTO DOS SINAIS EM LIBRAS

A MAR²S representa as configurações de mão dos sinais em LIBRAS de acordo com o que foi escrito na entrada de texto da interface gráfica, que será tratada na seção 5.1.4. Como os servomotores têm uma alta precisão de posicionamento de seu eixo de saída, as roldanas podem ser colocadas em um ângulo desejado para controlar a tensão dos barbantes e esses movimentarem o dedo pretendido em uma certa posição.

Há limitações no posicionamento dos dedos da mão robótica se comparados com os de uma mão humana. Isso pode ser notado quando tenta-se curvar os dedos da MAR²S, exceto o dedo polegar, da maneira que é feito no sinal da letra C em LIBRAS e ilustrado na figura 12. Eles ficam estendidos até o momento em que ainda há tensão no barbante que faz a abertura deles e quando esse barbante se distensiona, os dedos se fecham, já que está havendo uma tensão no outro sentido para fazer o movimento de fechamento dele. Em outros termos, esses dedos permanecem eretos da posição vertical até uma horizontal e só se curvam e/ou se fecham depois desse momento.

Figura 12: Representação do sinal da letra C em LIBRAS



Fonte: (PIXABAY, 2020)

⁶PWM é a modulação por largura de pulso de um sinal elétrico, ou seja, pulsar um sinal em uma certa fração de tempo.

Outra restrição para a representação dos sinais está no dedo polegar, já que esse só se move em um único eixo, ou seja, ele não consegue descer e subir como um dedo humano e sim apenas abrir e fechar no eixo que foi fixado na modelagem da mão. Restrição parecida ocorre nos outros dedos, já que esses não conseguem se entrelaçar ou mover de um lado para o outro, por exemplo. O dedo robótico não possui todas as articulações que o dedo humano possui, como a articulação biaxial do primeiro dedo, que permite a movimentação do dedo humano em dois eixos (MD, 2020).

Postas estas limitações da MAR²S, foram feitos estudos e testes para avaliar os sinais que são possíveis de serem representados. Após essa avaliação, foram registrados no dicionário os sinais com suas respectivas configurações de mão.

5.1.4 INTERFACE GRÁFICA

A interface gráfica foi implementada utilizando as linguagens de programação web (HTML, CSS e JavaScript), tendo sido utilizado ainda, o Bootstrap, um *framework* web de código aberto de forma a facilitar e agilizar o desenvolvimento da interface. A interface consiste em uma única página web, contendo todo o código - HTML, CSS e JavaScript - necessário, bem como a importação de estilos e componentes do Bootstrap. A integração com a aplicação é realizada através do Flask, que além de possibilitar a hospedagem da página web, permite a comunicação entre a interface e a mão robótica. Foram realizados testes de usabilidade com usuários, nos quais foram observados ajustes necessários para melhor utilização da aplicação.

5.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta subseção apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento deste projeto, já o código fonte produzido durante a etapa de implementação, encontra-se disponível de forma pública em: <https://github.com/everson-souza/MARS/>.

5.2.1 MÃO ROBÓTICA

Para representar as configurações de mão de sinais em LIBRAS, foi obtido o ângulo no qual cada servomotor deve estar posicionado de forma a compor a configuração de mão do sinal, fazendo assim, com que cada dedo esteja na posição correta ao final do movimento. Além disso, o primeiro dedo (ou dedo polegar) e o segundo dedo (ou dedo indicador) podem apresentar um atraso (em segundos), no qual o servomotor aguarda até que possa iniciar o seu movimento, visto que, dependendo do sinal a ser representado, a ordem na qual os dedos são

posicionados faz diferença, tal como nas configurações de mão nº 54 e nº 56 da figura 2. Desta forma, foi possível compor diferentes configurações de mão e obter um dicionário de letras, palavras e expressões as quais a mão robótica é capaz de reproduzir.

Devido às restrições, já citadas, da mão robótica, se obteve um número limitado de configurações de mão de sinais em LIBRAS, os quais estão listados e descritos com seus parâmetros formativos necessários nos quadros 1, 2, 3 e 4. No quadro 1 estão os sinais das letras possíveis de serem representadas, as quais necessitam dos três parâmetros formativos mínimos de LIBRAS: configuração de mão (CM), locação (L) e movimento (M).

Quadro 1: Sinais das letras do alfabeto em LIBRAS

Letra	CM	L	M
A	1	Espaço neutro	-
B	61	Espaço neutro	-
D	12	Espaço neutro	-
F	54	Espaço neutro	-
I	38	Espaço neutro	-
L	8a	Espaço neutro	-
O	42	Espaço neutro	-
S	6	Espaço neutro	-
T	56	Espaço neutro	-
U	24	Espaço neutro	-
V	32	Espaço neutro	-
W	59a	Espaço neutro	Para cima
Y	40	Espaço neutro	Para cima

Fonte: Autoria própria

No quadro 2 estão os sinais dos números nos quais a MAR²S pode representar a configuração de mão, estes sinais necessitam dos três parâmetros formativos mínimos: configuração de mão (CM), locação (L) e movimento (M).

Quadro 2: Sinais dos números em LIBRAS

Número	CM	L	M
Um	14	Espaço neutro	-
Dois	32	Espaço neutro	-
Três	59a	Espaço neutro	-
Quatro	58	Espaço neutro	-
Oito	2	Espaço neutro	Rotacionar

Fonte: Autoria própria

No quadro 3 estão os sinais das palavras nas quais a MAR²S pode representar as configurações de mão. Estes sinais são compostos por quatro parâmetros formativos: configuração de mão (CM), orientação (OR), movimento (M) e locação (L).

Quadro 3: Sinais das palavras em LIBRAS

Palavra	CM	L	M	OR
Bom / Boa	44 → 47	Queixo	Abrir do queixo para frente	Para dentro
Não	14	-	Inclinar de um lado para o outro	Para fora
Oi	38	-	Circular	Para fora
Ouvinte	1 ↔ 52	Orelha	Abrir e fechar	Para fora
Ou	42 → 24	-	Girar	Para fora
Sim	2	-	Inclinar para frente e para trás	Para fora

Fonte: Autoria própria

No quadro 4 estão os sinais das expressões que a mão robótica é capaz de representar e essas precisam de cinco parâmetros formativos: configuração de mão (CM), orientação da mão (OR), movimento (M) e expressão não manual (ENM). Essas expressões foram escolhidas por estarem comumente presentes no cotidiano dos usuários de LIBRAS.

Quadro 4: Sinais das expressões em LIBRAS

Expressão	Sequência	CM	L	M	OR	ENM
Bom dia	1	44 → 47	Queixo	Abrir do queixo para frente	Para dentro	-
	2	12	Cabeça	Da cabeça para fora	Para o lado (contralateral)	-
Não sei	1	35a	Cabeça	De trás para frente	Para o lado (contralateral)	Expressão facial de dúvida
Tudo bem	1	44 → 47	Queixo	Abrir do queixo para frente	Para dentro	-
	2	7	-	-	Para dentro	Expressão facial de interrogação

Fonte: Autoria própria

5.2.2 INTERFACE GRÁFICA

A interface gráfica desenvolvida é composta por um fundo branco, tendo o logo MAR²S no topo, seguido por um campo de entrada de texto logo abaixo. Em seguida, tem-se dois botões: o botão Dicionário, para consulta de letras e palavras dos quais a mão é capaz de reproduzir os respectivos sinais em LIBRAS, e o botão de Ajuda contendo informações relevantes à utilização da mão robótica. No rodapé da página, encontra-se ainda a logo da UTFPR.

A interface pode ser vista na figura 13.

Figura 13: Interface gráfica



Fonte: Autoria própria

Uma vez inseridas letras e palavras, é realizada uma consulta ao dicionário. Caso alguma letra/palavra inserida no campo de pesquisa não conste no dicionário, é apresentada ao usuário uma mensagem de erro, apresentando quais letras e/ou palavras não puderam ser representadas. Por outro lado, caso o que foi inserido possa ser representado, uma mensagem de sucesso é apresentada e a mão robótica reproduz um a um os sinais correspondentes.

5.2.3 MÃO ROBÓTICA FINALIZADA

As figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam alguns sinais que a mão robótica é capaz de reproduzir.

Figura 14: Mão robótica representando letras em LIBRAS



(a) Letra B



(b) Letra L



(c) Letra Y

Fonte: Autoria própria

Figura 15: Mão robótica representando números em LIBRAS



(a) Número 1



(b) Número 8

Fonte: Autoria própria

Figura 16: Mão robótica representando uma palavra e uma expressão em LIBRAS



(a) Palavra Dia



(b) Expressão Não Sei

Fonte: Autoria própria

Figura 17: Mão robótica aberta



(a) Mão vista de frente



(b) Mão vista de trás

Fonte: Autoria própria

6 CONCLUSÃO

No presente trabalho desenvolveu-se uma mão robótica capaz de reproduzir as configurações de mão de sinais em LIBRAS a partir de letras e palavras da Língua Portuguesa inseridas pelo usuário através de uma interface gráfica. Diferentemente de outros trabalhos correlatos, o projeto MAR²S tem como intuito auxiliar no aprendizado de LIBRAS, de forma a integrar ambas comunidades surda e ouvinte, diminuindo barreiras, e objetivando uma educação bilíngue no contexto escolar.

Em suma, o projeto alcançou resultados satisfatórios, tendo sido observado, no entanto, que a mão robótica desenvolvida é capaz de reproduzir um número limitado de sinais, uma vez que a mesma possui restrições de movimento e posicionamento, tal como o entrelaçar dos dedos.

Quanto aos objetivos específicos deste trabalho, os autores os consideram cumpridos, tendo como resultado a mão robótica do modelo da InMoov impressa e montada, com seus movimentos controlados por uma placa microcontrolada Raspberry Pi, o qual hospeda ainda uma interface gráfica para entrada de letras e palavras escritas em português. Essas são validadas no dicionário desenvolvido e por fim, convertidas em configurações de mão de sinais em LIBRAS, as quais são representadas pela mão robótica.

Dentre as dificuldades encontradas, destacam-se principalmente: a composição dos sinais em LIBRAS, visto que os mesmos dependem de uma grande quantidade de tentativas para serem concluídos com uma posição mais correta de cada dedo, se comparado com um sinal feito por uma mão humana; e a queima do servomotor responsável pelo movimento do punho da mão robótica, o que se deu pelo mau encaixe das engrenagens da região, fazendo com que o servomotor exercesse uma força maior para realização do movimento, resultando na sua queima. Pelo movimento do punho não acrescentar um número expressivo de sinais a serem realizados pela mão robótica, optou-se pela não utilização do mesmo.

Além disso, pretendia-se realizar uma validação do projeto em escolas, porém, devido a pandemia de COVID-19 causada pelo novo coronavírus, denominado SARS-CoV-2, e as medidas de restrição adotadas para diminuir a taxa de contaminação, optou-se por realizar esta

validação com um grupo reduzido de pessoas, na qual foram apontadas melhorias de usabilidade na interface.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, seria interessante mapear um maior número de palavras em Língua Portuguesa que podem ser representadas pela mão robótica em LIBRAS, além de incluir os outros quatro parâmetros formativos da língua para representação dos sinais. Todavia, nem todos os sinais em LIBRAS poderão ser reproduzidos utilizando somente o antebraço e mão, tal como neste projeto. Para que o maior número de sinais seja reproduzido, faz-se necessário adicionar outras partes do corpo, tais como cabeça, braços e tronco do modelo 3D disponibilizado pela InMoov. Pode-se ainda pesquisar outros modelos de forma a encontrar o que permita o maior número de movimentos, uma vez que o modelo da InMoov, mesmo completo, não permite movimentos como o entrelaçar dos dedos, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- AGIL, D. **SCRUM**. Desenvolvimento Agil, 2013. Disponível em: <<https://www.desenvolvimentoagil.com.br/scrum/>>. Acesso em: 04 de jan. de 2021.
- ANDREIS-WITKOSKI, S. **Introdução à LIBRAS: língua, história e cultura**. Av. Sete de Setembro, 3165 Rebouças, Curitiba – PR, 80230-901: Editora da UTFPR, 2015. ISBN 978-85-7014-143-9.
- ARDUSHOP. **MG995 Servomotor**. 2020. Disponível em: <<https://ardushop.ro/en/home/94-mg995-servomotor.html>>. Acesso em: 02 de jan. de 2021.
- ATLASSIAN. **Scrum: Saiba como usar o Scrum da melhor forma**. 2021. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/br/agile/scrum>>. Acesso em: 04 de jan. de 2021.
- BANIN, S. L. **Python 3 : conceitos e aplicações : uma abordagem didática**. São Paulo: Érica, 2018. (1 ed). ISBN 978-85-365-3025-3.
- BRASIL. **Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras e dá outras providências**. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110436.htm>. Acesso em: 09 de set. de 2020.
- BRASIL. **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**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5626.htm>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.
- BRASIL. **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)**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.
- CHOMSKY, N. **Syntactic Structures**. [S.l.]: Mouton & Co., 1957.
- COURSE, P. **History of Python**. 2011. Disponível em: <https://www.python-course.eu/python3_history_and_philosophy.php>. Acesso em: 07 de out. de 2020.
- CRISTIANO, A. **O Congresso de Milão**. libras.com.br, 2017. Disponível em: <<https://www.libras.com.br/congresso-de-milao>>. Acesso em: 2 de out. de 2020.
- DUARTE, S. B. R.; CHAVEIRO, N.; FREITAS, A. R. de; BARBOSA, M. A.; PORTO, C. C.; FLECK, M. P. de A. **Aspectos históricos e socioculturais da população surda**. Rio de Janeiro: Hist. cienc. saude-Manguinhos, 2013. 1713-1734 p. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-597020130005000015>>. Acesso em: 29 de nov. de 2020.
- FELIPE, T. A.; MONTEIRO, M. S. **Libras em contexto: Curso básico - Livro do professor**. Brasília: Federação Nacional de Educação e Integração dos Surdos - FENEIS, 2007. (6ª ed.).

FERNANDES, S. **Educação de surdos**. Rua Tobias de Macedo Júnior, 319 - Santo Inacio, Curitiba - PR, 82010-340: IBPEX, 2011. 50 p. (2 ed).

FLANAGAN, D. **JavaScript: The Definitive Guide**. Estados Unidos da América: O'Reilly Media, Inc., 2011. (6 ed). ISBN 978-0-596-80552-4.

FOUNDATION, T. R. P. **Raspberry Pi 3 Model B+**. 2014. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>>. Acesso em: 20 de dez. de 2020.

FRANÇA, A. C. **Congresso de Milão**. Ana Dias - LGP, 2013. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/anzec12/historia-da-comunidade-surda/breve-introducao-personalidades-tempo-espaco/congresso-de-paris/congresso-de-milao>>. Acesso em: 2 de out. de 2020.

GUO, P. **Python Is Now the Most Popular Introductory Teaching Language at Top U.S. Universities**. 2014. Disponível em: <<https://cacm.acm.org/blogs/blog-cacm/176450-python-is-now-the-most-popular-introductory-teaching-language-at-top-u-s-universities/fulltext>>. Acesso em: 07 de out. de 2020.

HANDTALK. **Oferecemos a tradução digital para acessibilidade em Libras, a Língua Brasileira de Sinais**. 2013. Disponível em: <<https://www.handtalk.me>>. Acesso em: 02 de jul. de 2019.

HOUSTON, B. **Full body**. 2017. Disponível em: <<http://inmoov.fr/members/ibrobots/>>. Acesso em: 08 de jan. de 2021.

INMOOV. **Hand and Forarm**. 2014. Disponível em: <<http://inmoov.fr/hand-and-forarm/>>. Acesso em: 25 de set. de 2019.

INMOOV. **Gaël LANGEVIN – French InMoov designer**. 2020. Disponível em: <<https://inmoov.fr/>>. Acesso em: 09 de dez. de 2020.

KELMAN, C. A. Multiculturalismo e surdez: respeito às culturas minoritárias. In: **Um olhar sobre nós surdos: Leituras contemporâneas**. Curitiba: CRV, 2012. p. 45–71.

LOUREIRO, J. **Tecnologia - Mão tradutora**. Jornal Minas, 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dCaAPFpqvGo>>. Acesso em: 24 de jan. de 2021.

LWT. **As 5 grandes vantagens da impressão 3D para revolucionar a indústria**. LWT Sistemas, 2016. Disponível em: <<https://www.lwtsistemas.com.br/2016/10/02/vantagens-da-impressao-3d-revolucionar/>>. Acesso em: 09 de dez. de 2020.

MAKZAN. **HTML5 Game Development by Example: Beginner's Guide - Second Edition**. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2015. ISBN 9781785287770.

MD, R. L. **Tipos de articulações - artrologia**. 2020. Disponível em: <<https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/tipos-de-articulacoes-artrologia>>. Acesso em: 03 de jan. de 2021.

MORAIS, C. E. L. de; PLINSKI, R. R. K.; MARTINS, G. P. T. C.; SZULCZEWSKI, D. M. **Libras**. Porto Alegre: Grupo A, 2019. ISBN 978-85-9502-730-5.

OGUIDO, K.; SOUZA, R. I. **Alfaluva: Luva alfabetizadora de LIBRAS**. Monografia (Graduação), Curitiba, 2018.

PALLETS. **Flask**. 2010. Disponível em: <<https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>>. Acesso em: 09 de dez. de 2020.

PIXABAY. **Sinal da letra C em LIBRAS**. 2020. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/vectors/língua-mão-inscreva-se-gesto-fala-40437>>. Acesso em: 03 de jan. de 2021.

PUCMINAS. **Mão tradutora**. 2016. Disponível em: <<http://www.revista.pucminas.br/materia/mao-tradutora/>>. Acesso em: 23 de abr. de 2019.

QUADROS, R. M. de; KARNOPP, L. B. **Línguas de Sinais Brasileiras: Estudos Linguísticos**. Porto Alegre: ARTMED, 2003. ISBN 9788536311746.

RASPBERRYPI. **About us**. 2020. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/about/>>. Acesso em: 09 de dez. de 2020.

RAZGRIZ, G. **O XYZ da Impressão 3D: Tudo o que você gostaria de saber sobre Impressão 3D e não tinha a quem perguntar**. São Paulo: Instituto NCB, 2019. (1ª ed.).

RODRIGUES, A.; FONSECA, D. **Adeus Milão 1880! Olá Vancouver 2010! Viva a nova era!** Federação Portuguesa das Associações de Surdos, 2010. 9 p. Disponível em: <<http://www.fpasurdos.pt/wp-content/uploads/2013/02/bisn4.pdf>>. Acesso em: 2 de out. de 2020.

SACKS, O. **Vendo vozes: Uma viagem ao mundo dos surdos**. Porto Alegre: Editora Schwarcz Ltda., 1990. ISBN 978-85-8086-686-5.

SHAH, S. **Learning Raspberry Pi: Unlock your creative programming potencial by creating web technologies, image processing, electronics- and robotics-based projects using the Raspberry Pi**. Birmingham, Reino Unido: Packt Publishing, 2015. 1 p. ISBN 978-1-78398-282-0.

SILVA, F. I. da; REIS, F.; GAUTO, P. R.; SILVA, S. G. de Lima da; PATERNO, U. **Aprendendo LIBRAS como segunda língua: Nível Básico**. Palhoça: Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Palhoça Bilíngue, 2008. Disponível em: <http://palhoca.ifsc.edu.br/materiais/apostila-libras-basico/Apostila_Libras_Basico_IFSC-Palhoca-Bilingue.pdf>. Acesso em: 04 de jan. de 2021.

SILVA, G. M. da. **Parâmetros da LIBRAS**. UFMG, 2014. Disponível em: <http://www.letras.ufmg.br/padrao_cms/documentos/eventos/dialogosdeinclusao/Parametros_da_Libras.pdf>. Acesso em: 23 de jan. de 2021.

TABLELESS. **O básico: O que é HTML?** 2011. Disponível em: <<https://tableless.com.br/o-que-html-basico/>>. Acesso em: 08 de dez. de 2020.

W3C. **HTML CSS**. 2011. Disponível em: <<https://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss.html>>. Acesso em: 08 de dez. de 2020.

3DLAB. **O que é impressão 3D? Conheça a tecnologia de impressoras 3D!** 3DLAB, 2020. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/impressao-3d-o-que-e/>>. Acesso em: 09 de dez. de 2020.

3DSYSTEMS. **Our story.** 3DLAB, 2020. Disponível em: <<https://www.3dsystems.com/our-story>>. Acesso em: 09 de dez. de 2020.