

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL
CAMPUS RIO GRANDE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE
SISTEMAS

ISRAEL TERRA DUARTE

**Portolibras: uma aplicação para
transformação de textos em português
visando uma melhor tradução para Língua
Brasileira de Sinais**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para a obtenção do grau de Tecnólogo em
Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Profa. Dra. RAQUEL DE MIRANDA BAR-
BOSA
Orientador

Prof. MSc. TIAGO GUIMARÃES MO-
RAES
Co-orientador

Rio Grande, Agosto de 2021

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

TERRA DUARTE, ISRAEL

Portolíbras: uma aplicação para transformação de textos em português visando uma melhor tradução para Língua Brasileira de Sinais / ISRAEL TERRA DUARTE. – Rio Grande: Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, 2021.

73 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Rio Grande, BR-RS, 2021. Orientador: RAQUEL DE MIRANDA BARBOSA; Co-orientador: TIAGO GUIMARÃES MORAES.

1. Língua Brasileira de Sinais - Libras. 2. Interpretação. 3. Tradução Automática. I. DE MIRANDA BARBOSA, RAQUEL. II. GUIMARÃES MORAES, TIAGO. III. Título.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Júlio Xandro Heck

Pró-Reitor de Graduação: Prof. Lucas Coradini

Diretor Geral do Campus Rio Grande: Prof. Alexandre Jesus da Silva Machado

Coordenador do curso: Prof. Márcio Josué Ramos Torres

FOLHA DE APROVAÇÃO

Monografia sob o título "*Portolibras: uma aplicação para transformação de textos em português visando uma melhor tradução para Língua Brasileira de Sinais*", defendida por ISRAEL TERRA DUARTE e aprovada em 13 de Agosto de 2021, em Rio Grande, RS, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Profa. Dra. RAQUEL DE MIRANDA BARBOSA
Orientador

Prof. MSc. TIAGO GUIMARÃES MORAES
Co-orientador

Profa. Dra. CRISTIANE LIMA TERRA FERNANDES
FURG - Universidade Federal do Rio Grande

Prof. MSc. LUCIANO VARGAS GONÇALVES
IFRS - Campus Rio Grande

Prof. Dr. TIAGO LOPES TELECKEN
IFRS - Campus Rio Grande

"Nós somos mais do que as partes que nos formam."
— PATRICK ROTHFUSS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que sempre me incentivaram e me deram forças durante toda essa longa jornada, que foi o processo de graduação. Aos meus orientadores, que me guiaram durante o fim deste caminho. Aos meus professores, que me ensinaram a compreender o caminho e a como trilhá-lo. Aos meus familiares, que me proporcionaram todo o suporte para dar os primeiros passos. E, em especial, à minha esposa, que me sustentou, me apoiou, me encorajou e me alentou nos momentos mais desafiadores.

RESUMO

No Brasil, atualmente, a comunidade surda representa uma parcela significativa da população. De acordo com os últimos dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010 os surdos representavam uma parcela de 5,1% da população brasileira, valor esse correspondente a cerca de 9,5 milhões de pessoas. Todavia, grande parte desses surdos enfrentam inúmeras dificuldades no que tange à comunicação com ouvintes, que são numericamente predominantes. Por outro lado, é notável o surgimento cada vez mais expressivo de novas tecnologias, programas e sistemas associados à tradução e à interpretação para Língua Brasileira de Sinais (Libras). Nesse sentido, dentre as soluções desenvolvidas que utilizam diferentes técnicas de abordagem para o problema exposto, são encontradas algumas limitações, tanto em quesito semântico quanto em quesitos gramaticais ou funcionais. Logo, neste trabalho serão avaliados os aspectos positivos e negativos das soluções existentes e, a partir disso, é mostrado o desenvolvimento da aplicação Portolibras capaz de melhorar a indicação verbal em um texto a ser submetido à tradução para Libras, de modo a ser melhor compreendido pelos surdos. Sendo assim, serão apresentadas neste trabalho as principais tecnologias necessárias para o desenvolvimento do sistema, os testes realizados a fim de validar o funcionamento do sistema e os resultados obtidos.

Palavras-chave: Língua Brasileira de Sinais - Libras. Interpretação. Tradução Automática.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CTS	Centro de Tecnologia de <i>Software</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i> (Protocolo de transferência de hipertexto)
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWSLT	<i>International Workshop of Spoken Language Translation</i> (Workshop Internacional de Tradução de Linguagem Falada)
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
ML	<i>Machine Learning</i> (Aprendizado de Máquina)
MT	<i>Machine Translation</i> (Tradução Automática)
NMT	<i>Neural Machine Translation</i> (Tradução Automática Neural)
OWL	<i>Ontology Web Language</i>
PBMT	<i>Phrase-Based Machine Translation</i> (Tradução Automática Baseada em Frases)
RBMT	<i>Rule-Based Machine Translation</i> (Tradução Automática Baseado em Regras)
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
RDFa	<i>Resource Description Framework Attribute</i>
RDFS	<i>Resource Description Framework Schema</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RNN	<i>Recurrent Neural Network</i> (Rede Neural Bidirecional)
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SMT	<i>Statistical Machine Translation</i> (Tradução Automática Estatística)
SPARQL	<i>Structured Protocol and RDF Query Language</i>
WBMT	<i>Word-Based Machine Translation</i> (Tradução Automática Baseada em Palavras)

LISTA DE FIGURAS

2.1	Exemplo de duplicação do verbo <i>perder</i> com intuito de dar ênfase na Libras. Fonte: (QUADROS; KARNOPP, 2004).	17
2.2	Exemplo de comportamento das orações relativas na Libras. Fonte: (QUADROS; KARNOPP, 2004).	18
2.3	Exemplo de regra utilizada para tradução automática de Marathi para Inglês. Fonte: (GUPTA, 2015).	23
2.4	Exemplo de estatísticas geradas por análise de <i>Parallel Corpora</i> parametrizado por palavras. Fonte: KOEHN (2010).	24
2.5	Exemplo de gráfico de alinhamento entre texto de origem e destino. Fonte: KOEHN (2010).	24
2.6	Representação do gráfico de alinhamento citado na Figura 2.5. Fonte: (KOEHN, 2010)	24
2.7	Esboço de fluxograma de funcionamento de um sistema NMT.	27
2.8	Exemplo de resultado de saída do <i>WebJspell</i> . Fonte: LINGUATECA (2019).	28
3.1	Tela inicial do aplicativo Rybená.	31
3.2	Tela inicial do aplicativo VLibras.	32
3.3	Tela Inicial do aplicativo <i>Hand Talk</i> com o menu auxiliar disponível.	33
3.4	Menu auxiliar lateral disponível junto ao aplicativo <i>Hand Talk</i>	34
4.1	Diagrama Resumido de Funcionamento do Sistema.	35
4.2	Diagrama Resumido de Arquitetura do Sistema.	36
4.3	<i>Swagger</i> da API disponibilizada pelo Portolibras.	37
4.4	Diagrama de Classes.	38
4.5	Fluxograma para regra de tempo verbal.	39
4.6	Exemplo de <i>token</i> da <i>Google Cloud Natural Language API</i>	40
5.1	Gráfico representativo do número de intérpretes.	44
5.2	Gráfico representativo do número de surdos.	45
5.3	Tela inicial do sistema de avaliação.	46
5.4	Tela do sistema de avaliação durante avaliação de frase.	47
6.1	Percentual de intérpretes e surdos que acredita que aplicativos de tradução automática auxiliam na comunicação com surdos.	51
6.2	Percentual que acredita que os aplicativos de tradução automática são utilizados pelos surdos.	52

6.3	Percentual que acredita que os aplicativos de tradução automática são utilizados pelos ouvintes.	52
6.4	Percentual sobre a qualidade da tradução que os aplicativos de tradução automática apresentam.	53
6.5	Problemas de tradução que os intérpretes consideram mais comuns em aplicativos de tradução automática.	53
6.6	Problemas de tradução que os surdos consideram mais comuns em aplicativos de tradução automática.	54
6.7	Percentual sobre a qualidade da tradução do texto gerado pelo Portolibras.	54
A.1	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 1. . . .	62
A.2	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 2. . . .	63
A.3	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 3. . . .	63
A.4	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 4. . . .	64
A.5	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 5. . . .	64
A.6	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 6. . . .	65
A.7	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 7. . . .	65
A.8	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 8. . . .	66
A.9	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 9. . . .	66
A.10	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 10. . . .	67
A.11	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 11. . . .	67
A.12	Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 12. . . .	68
B.1	Parte 1/5 do Formulário de avaliação, criado para a pesquisa de opinião.	69
B.2	Parte 2/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.	70
B.3	Parte 3/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.	71
B.4	Parte 4/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.	72
B.5	Parte 5/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.	73

LISTA DE TABELAS

2.1	Tabela comparativa entre Português e Libras.	19
2.2	Exemplo de <i>Parallel Corpora</i> com textos em português e inglês. . . .	21
2.3	Tabela comparativa entre analisadores morfológicos abordados. . . .	29
4.1	Tabela comparativa entre entrada e saída gerada pelo Portolibras. . .	42
5.1	Frases utilizadas nos testes do Portolibras.	47
6.1	Resultado da classificação individual de cada frase que os usuários que testaram no sistema.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Motivação	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	Objetivos específicos	14
1.3	Organização do Texto	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Língua Brasileira de Sinais (Libras)	16
2.2	<i>Machine Translation</i>	20
2.2.1	<i>Rule-Based Machine Translation</i>	20
2.2.2	<i>Statistical Machine Translation</i>	22
2.2.3	<i>Neural Machine Translation</i>	25
2.3	Analísadores morfológicos	27
2.3.1	WebJspell	27
2.3.2	Apache Jena	28
2.3.3	<i>Google Cloud Natural Language API</i>	29
3	SISTEMAS EXISTENTES	30
3.1	Rybená	30
3.2	VLibras	31
3.3	<i>Hand Talk</i>	32
3.4	Considerações	33
4	PORTOLIBRAS	35
4.1	Metodologia	36
4.2	Arquitetura do sistema	36
4.3	Diagrama de classes	37
4.4	Conjunto de regras aplicadas	38
4.5	Ferramentas utilizadas	42
5	TESTES	44
5.1	Grupo de avaliação	44
5.2	Sistema implementado para a avaliação	45
5.3	Conjunto de frases avaliadas	46
5.4	Formulário de avaliação	46

6	RESULTADOS	49
6.1	Avaliação do Portolibras	49
6.2	Análise do formulário de avaliação	51
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
7.1	Trabalhos Futuros	56
	REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A	RESULTADOS GRÁFICOS DOS TESTES REALIZADOS NO PORTOLIBRAS	62
APÊNDICE B	FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO	69

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será apresentada a motivação com as devidas justificativas que norteiam o desenvolvimento do presente trabalho. Além disso, serão abordados os objetivos concernentes ao tema proposto. Por fim, é definida a organização do texto.

1.1 Motivação

Atualmente no Brasil, os surdos representam uma parcela significativa da população. De acordo com os últimos dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relacionados ao censo demográfico, em 2010 os surdos representavam uma parcela de 5,1% da população brasileira, valor esse correspondente a cerca de 9,5 milhões de pessoas (FEDERAL, 2017).

Nesse contexto, de maneira geral, grande parte dos surdos enfrentam inúmeras dificuldades no que tange à comunicação com ouvintes, que são numericamente predominantes. Por outro lado, é notável o surgimento cada vez mais expressivo de novas tecnologias, programas e sistemas associados à tradução e à interpretação da Língua Brasileira de Sinais (Libras) (KRIEGER; PALOMO, 2016).

Logo, tais aplicações são capazes e, por vezes, possuem até mesmo a finalidade específica de oferecer maior acessibilidade àqueles que utilizam uma língua visual para comunicação. Sendo assim, surgem aplicativos que propõem soluções de traduções automáticas como, por exemplo, o VLibras e o *Hand Talk*. Além disso, há também o Rybená, que além de realizar traduções automáticas, traz consigo tecnologias para reprodução de textos por voz (VLIBRAS, 2019; TALK, 2019; RYBENA, 2019).

Entretanto, foram identificadas limitações entre os aplicativos apresentados como soluções para o problema exposto. Muitas vezes, os aplicativos apresentam erros, sejam estes semânticos, erros de tradução, erros de ordenação, erros de temporização verbal, dentre outros.

Serão apresentados dois casos que indicam incongruências com o esperado, em dois aplicativos de tradução automática, chamados *Hand Talk* e VLibras.

Um erro de tradução pode ser reproduzido no aplicativo *Hand Talk* utilizando-se a frase "eu viajarei para Pelotas", que é interpretada pelo avatar com os sinais "eu viajar Pelotas" enquanto a frase "eu viajei para Pelotas" também é interpretada com os sinais "eu viajar Pelotas". No caso destacado, não foram utilizados sinais indicadores de tempo sob o verbo em questão para as interpretações. Assim sendo, uma tradução mais apropriada dar-se-ia pela frase "futuro (indicador de tempo) Pelotas eu viajar".

Erros semânticos são mais frequentes e podem ser facilmente reproduzidos. Utilizando-se, no aplicativo VLibras, a frase "na hora do assalto, eu estava presente na padaria", a mesma é traduzida com os sinais "hora assalto eu presente (objeto) padaria". Ou então,

pode ser identificado com a frase "eu estou na sede da empresa", que é traduzida pelos sinais "sede (beber) empresa".

Nesse contexto, são apresentados os aspectos positivos e negativos das soluções existentes e propõe-se o desenvolvimento de uma aplicação capaz de receber um texto em português e inserir, remover ou alterar tal texto a fim de obter uma versão que aprimore a interpretação das frases sinalizadas, com foco no tempo verbal, buscando alcançar melhores resultados junto aos aplicativos de tradução.

1.2 Objetivos

A partir da problemática levantada, foi definido o seguinte objetivo geral:

- Desenvolver um sistema de software capaz de melhorar a indicação verbal em um texto a ser submetido à tradução para Libras, de modo a ser melhor compreendido pelos surdos.

1.2.1 Objetivos específicos

Com o intuito de atender aos objetivos gerais propostos, definem-se como objetivos específicos:

- Estudar estrutura da Libras;
- Estudar e revisar conceitos importantes para o desenvolvimento de sistemas;
- Estudar os sistemas de *Machine Translation*;
- Estudar técnicas de tradução de textos;
- Analisar e estudar de sistemas de tradução automática existentes;
- Comparar os aplicativos e tecnologias existentes;
- Definir a arquitetura que será adotada para o desenvolvimento do sistema;
- Criar interface para validação do sistema;
- Realizar testes de funcionamento do *software* desenvolvido e de qualidade dos resultados apresentados;
- Realizar avaliação sobre a usabilidade dos sistemas e melhorias com a utilização no sistema desenvolvido.

1.3 Organização do Texto

Este trabalho foi estruturado em sete capítulos de forma a facilitar a compreensão do leitor a respeito da temática proposta. Sendo assim, o atual capítulo apresentou questões importantes relativas à importância da tradução e interpretação de Libras para comunicação entre ouvintes e surdos. Além disso, foram expostos a motivação e os principais objetivos a serem atingidos por este projeto.

No Capítulo 2, são abordados alguns conceitos importantes no que diz respeito a conteúdos necessários para o desenvolvimento que sistema, sendo eles Libras, *Machine*

Translation e importantes elementos para a aplicação da tecnologia. Na sequência, o Capítulo 3 aborda alguns dos sistemas existentes mais populares que trabalham com parte da temática abordada, por exemplo, solucionam a questão da tradução da língua de origem para a língua de sinais.

No Capítulo 4 é apresentado o Portolibras - nome adotado para o sistema de melhoria de tradução de textos desenvolvido -, a arquitetura utilizada e alguns diagramas que indicam o funcionamento do sistema.

O Capítulo 5, por sua vez, apresenta detalhes importantes sobre os critérios utilizados para a realização das avaliações, desde o grupo de avaliadores até o conteúdo utilizado para tal, além de trazer informações sobre como eles foram aplicados.

No Capítulo 6 são abordados os resultados obtidos a partir da utilização do sistema Portolibras e também sobre a pesquisa de opinião realizada com o grupo que realizou testes na aplicação. Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as considerações finais deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Algumas definições fundamentais devem ser entendidas para que o projeto como um todo possa ser melhor compreendido. Logo, visando determinar importantes conceitos no que tange ao desenvolvimento deste trabalho, este capítulo tem por objetivo definir e explicar as principais tecnologias que envolvem o tema em estudo.

Dessa forma, neste capítulo, é inicialmente realizada uma apresentação sobre a Libras, sua estrutura e diferenças com a Língua Portuguesa. Além disso, são abordadas as características e funcionamentos de alguns importantes sistemas de *Machine Translation* e analisadores morfológicos da Língua Portuguesa.

2.1 Língua Brasileira de Sinais (Libras)

Para QUADROS; KARNOPP (2004), as línguas de sinais são consideradas "línguas naturais e compartilham características específicas que as distinguem dos demais sistemas de comunicação". É importante destacar que um conhecimento errôneo bastante difundido na sociedade é de que a língua de sinais baseia-se em gestos ou mímicas. Na verdade, trata-se de uma língua desenvolvida que possui léxico e gramática próprios.

Portanto, a Língua Brasileira de Sinais (Libras) é, conforme estabelecido na Lei nº 10.436/2002, a língua de sinais oficial das pessoas surdas no Brasil.

"Entende-se como Língua Brasileira de Sinais - Libras a forma de comunicação e expressão, em que o sistema linguístico de natureza visual motora, com estrutura gramatical própria, constituem um sistema linguístico de transmissão de ideias e fatos, oriundos de comunidades de pessoas surdas do Brasil (BRASIL, 2002)."

Conforme dito anteriormente, a Língua de Sinais possui gramática específica, muito diferente do que estamos acostumados na Língua Portuguesa. QUADROS; KARNOPP (2004) apresentam uma comparação importante dentre as duas línguas. Enquanto a Língua Portuguesa utiliza a estrutura sujeito + verbo + objeto (SVO) na formação das frases, a Libras utiliza além dessa, as sequências objeto + sujeito + verbo (OSV) e sujeito + objeto + verbo (SOV).

Assim sendo, QUADROS; KARNOPP (2004) constata que a ordem básica das frases sinalizadas em Libras é SVO e as sinalizações feitas com base em OSV e SOB são derivadas de SVO. As autoras observam, também, que as combinações VSO, VOS e OVS são ordens não aceitáveis nas sentenças em Libras e, portanto, são agramaticais.

Como é possível perceber, existem importantes diferenças entre as línguas destacadas. Assim sendo, serão apresentados alguns exemplos de diferenças entre a Libras e o

Português.

Outro fator a ser considerado são as construções que apresentam elementos duplicados na expectativa de dar ênfase ao que está sendo comunicado. Por vezes, os elementos são associados com movimentos de afirmação, negação ou interrogação, como mostra a Figura 2.1.



Figura 2.1: Exemplo de duplicação do verbo *perder* com intuito de dar ênfase na Libras. Fonte: (QUADROS; KARNOPP, 2004).

Ainda, em relação à estrutura das frases em Libras, serão destacadas as orações relativas. De acordo com QUADROS; KARNOPP (2004), as orações relativas "são as orações encaixadas dentro de uma outra oração e apresentam uma marca não-manual associada com a sentença". Na Figura 2.2, é possível observar tal comportamento.

Por fim, exemplificadas algumas situações da Libras, na Tabela 2.1 são apresentadas as diferenças gramaticais entre a Língua Portuguesa e tal Língua de Sinais. As informações dizem respeito à analogia realizada entre as duas gramáticas, construída pelas autoras QUADROS; KARNOPP (2004).



MULHER <BICICLETA CAIR>r ESTAR HOSPITAL
A mulher que caiu da bicicleta está no hospital

Figura 2.2: Exemplo de comportamento das orações relativas na Libras. Fonte: (QUADROS; KARNOPP, 2004).

Tabela 2.1: Tabela comparativa entre Português e Libras.

	Língua Portuguesa	Libras
Língua predominante	Oral-auditiva (entonação e intensidade).	Visuoespacial (expressão facial e corporal).
Fonema	Unidade Mínima sem significado de uma língua e a sua organização interna.	Léxico reproduzido por meio de sinais, baseada nas interações sociais do indivíduo.
Alfabeto	Combinações de letra-som (oralizado), possibilitando o entendimento de qualquer léxico.	Realizado de forma icônica (dactilologizado); Auxilia no processo de transcrição da língua de sinais para Língua Portuguesa.
Sintaxe	Preocupa-se com a linearidade do texto.	Envolve todos os aspectos espaciais, incluindo os classificadores, ou seja, é um tipo de morfema gramatical que é afixado a um morfema lexical ou sinal para mencionar a classe que pertence o referente desse sinal.
Construção de um texto	Limita-se na transcrição de acordo com as regras.	Utiliza a estrutura tópico-comentário, realizado através de repetições sistemáticas; Utiliza referências anafóricas, através de pontos estabelecidos no espaço.
Artigo	Apoia-se em fazer marcação do gênero. Ex.: o, a, os, as – um, uma, uns, umas.	Só aparece para sinais de seres humanos e animais. Define o item lexical classificador. Ex.: homem, mulher.
Estruturas de Sentenças	Convencionada pela estruturação de Sujeito Verbo Objeto - SVO.	Essa estruturação sofre alteração Objeto Sujeito Verbo – OSV ou SOV (o sujeito pode ser marcado por um sinal acompanhado da datilologia).
Pronomes	Pessoal: Eu, tu, ele(a), nós, vos, eles(as). Flexão de número através dos acréscimos de "s" nos substantivos, artigos pronome, verbo.	Eu, você (precisa olhar para pessoa), ele(a), nós, nós 2, nós 3, nós 4.
Plural		Identificado pela repetição de itens lexicais.

2.2 *Machine Translation*

O *Machine Translation* (MT) teve seu surgimento quase de forma simultânea ao dos próprios computadores. Um dos primeiros e mais famosos registros ocorreu em meados da Segunda Guerra Mundial, por meio de uma carta escrita por Warren Weaver, renomado cientista e matemático americano e um dos grandes pioneiros, idealizadores e mentes por trás de todo o desenvolvimento de *Machine Translation*. Na carta em questão, questionava-se sobre a utilização de computadores para a decodificação de palavras entre diferentes idiomas.

"Suponha que adotemos um vocabulário de 2.000 palavras e admitamos, de maneira adequada, todas as combinações de duas palavras como se fossem palavras únicas. O vocabulário ainda é de apenas quatro milhões: e esse número não é tão formidável para um computador moderno, não é?"

Assim, é possível perceber que há décadas é considerada a utilização do poder computacional e capacidade de processamento dos computadores para solução de problemas de decodificações de linguagens e tradução automática de textos.

Portanto, *Machine Translation* é a utilização de poder e capacidades computacionais para a tradução de palavras ou grupos de palavras. DORR; JORDAN; BENOIT (1999) explicitam o conceito de utilizar-se de sistemas computacionais para a tradução de uma linguagem natural para outra.

Conforme o avanço da tecnologia, de acordo com OCH (2002), existem diversos critérios de classificação de sistemas de MT. A definição destes critérios está alinhada à principal tecnologia que será utilizada pelos sistemas em questão. Dessa forma, serão abordados e apresentados os principais paradigmas referentes às técnicas de MT mais adotadas atualmente.

Um importante conceito a ser destacado sobre MT é o *Parallel Corpora*. De acordo com KOEHN (2010) e CASELI (2017), *Parallel Corpora* é uma coleção de pares de textos escritos em duas línguas diferentes, sendo um par a tradução equivalente do outro. Assim, a coleção deve ser composta por textos de assuntos ou tópicos diferentes, desde fontes de discursos de parlamentares até relatórios de notícias. Preparar um *Parallel Corpora* para um sistema *Statistical Machine Translation* (SMT), por exemplo, pode exigir certo esforço, conforme apresenta a Tabela 2.2.

É possível observar, por exemplo, que no Texto-Origem em português o trecho "*Ele tem a habilidade para interagir*" é substituído no Texto-Destino em Inglês para a expressão "*The Watson platform is able to interact*", ou seja, não há uma tradução direta entre os termos da língua portuguesa para o inglês, uma vez que a organização e estrutura das duas línguas em questão são distintas.

2.2.1 *Rule-Based Machine Translation*

Conforme abordado por MACHADO (2012), a arquitetura mais comumente adotada nos dias atuais em que as inovações tecnológicas e o pensamento computacional vem sendo discutidos e implementados é aquela que envolve regras de produção, baseadas em condições no estilo *if...else*. Associadas a essas condições, outro fator importante nesse contexto, é a possibilidade de incluir conectivos lógicos de modo a relacionar "os atributos no escopo do conhecimento e o uso de probabilidades".

Aplicações de relevância prática em sistemas inteligentes como, por exemplo, a In-

Tabela 2.2: Exemplo de *Parallel Corpora* com textos em português e inglês.

Texto-Origem em português	Texto-Destino em Inglês
<p>Watson aprende português Aprender espanhol, português e japonês é a nova etapa da plataforma Watson, o sistema de computação cognitiva que a IBM lançou em 2011. Ele tem habilidade para interagir na linguagem do usuário, com voz, processar grandes quantidades de dados, aprender e adquirir conhecimento conforme é usado. “Para isso, é preciso uma adaptação a uma língua com vocabulários e regras semânticas”, diz Fábio Gandour, cientista-chefe do Laboratório de Pesquisas da IBM Brasil. O Watson vai ser alimentado com mais de 300 mil palavras, além de ser dotado de um processamento que inclui o significado de cada palavra. “O sistema não é um produto pronto que a pessoa compra e instala no computador ou servidor, ele precisa ser alimentado com informações para que possa dar respostas adequadas a cada usuário.</p>	<p><i>Watson learns portuguese Learning Spanish, Portuguese, and Japanese is the latest stage in the development of Watson, the cognitive computing system launched by IBM in 2011. The Watson platform is able to interact vocally with users in their own language, process large amounts of data, and acquire new knowledge on the fly. “This requires adaptation to the language, including vocabulary and semantic rules,” says Fábio Gandour, chief scientist at the Brazil Research Lab at IBM Brazil. Watson will be “fed” over 300,000 words, as well as being given a processing feature that includes the meaning of each word. “The system is not a finished product that a person can buy and install on a computer or server, it needs to be fed information so that it can produce appropriate responses for each user.</i></p>

teligência Artificial (IA) estão baseados na concepção de modelos computacionais que agregam conhecimento humano especializado na resolução de problemas em que há interesse na busca de soluções inteligentes (SU, 2000).

No mesmo contexto, MENDES (1997) afirma que um sistema baseado em regras trabalha com o intuito de buscar uma representação para o modo de raciocínio e o conhecimento aplicado por especialistas na resolução de problemas no âmbito de algum contexto.

Em SU (2000), por exemplo, a utilização de sistemas com regras do estilo *se...então* é utilizado para reconhecimento espaço-temporal de gestos com as mãos. A tecnologia baseada em regras difusas (*fuzzy*) verifica se um determinado gesto é conhecido e, em caso negativo, o mesmo é sujeito a um conjunto de regras para, então, ser classificado.

De acordo com CHAROENPORNSAWAT; SORNLERLTLAMVANICH; CHAROENPORN (2003), o *Rule-Based Machine Translation* (RBMT) foi a primeira abordagem definida como alvo de pesquisa no campo de MT. Ainda em 2001, segundo SHIRAI; TAKAHASHI (2001), o RBMT era o sistema mais utilizado no mercado para traduções automáticas.

A ideia por trás do RBMT dá-se pela existência de inúmeras regras que regem a tradução dos dados. Sempre que o sistema encontra uma das regras, tanto a nível sintático quanto semântico, ela é aplicada de forma direta.

Conforme TRIPATHI; SARKHEL (2011), sistemas que utilizam RBMT podem ser classificados, de forma generalizada, de três formas: método direto, método por transferência e interlíngua.

É chamado de método direto, quando as regras atingem apenas o nível léxico, sendo utilizada apenas a substituição simples de palavras. Quando são utilizadas tanto regras morfológicas e sintáticas, o sistema é classificado como método de transferência. E, por fim, há ainda a possibilidade de utilização de um elemento conhecido como interlíngua, que será apresentado na sequência.

Conforme citado por HOVY; NIRENBURG (1992), de forma resumida, interlíngua é um texto que corresponde à representação do significado de um texto em uma linguagem de origem. Este elemento é produzido por análise computacional e utilizado como entrada para um módulo de geração, que percebe o significado em um idioma alvo.

Os sistemas baseados em regras trabalham baseados em especificações para morfologia, sintaxe, seleção léxica e transferência e geração (NAIR, 2017). Dessa forma, de acordo com OKPOR (2014), os sistemas dessa natureza "vinculam a estrutura da sentença de entrada com a estrutura de sentença de saída exigida, preservando necessariamente seu significado único".

Logo, primeiramente cada palavra da sentença é dividida e classificada em, por exemplo, artigos definidos e indefinidos, verbos e substantivos. Em seguida, são extraídas as informações do verbo correspondente, isto é, tempo, voz do discurso e forma verbais. Por fim, as sentenças de origem são analisadas e traduzidas e ocorre a geração da sentença de saída de acordo com idioma (OKPOR, 2014).

De acordo com LANGUAGE (2019), sistemas que utilizam RBMT possuem diversas vantagens. Dentre elas, a qualidade em traduções fora de domínio, quando lida-se com palavras específicas com baixa ambiguidade e, ainda, a baixa necessidade de massas de dados, tendo em vista o alto uso de conhecimento linguístico.

Para CHAROENPORN SAWAT; SORNLER TLAMVANICH; CHAROENPORN (2003), a grande força do sistema se dá pelo fato de que o mesmo pode ser analisado tanto em nível sintático, quanto em nível semântico.

Conforme afirma CHAROENPORN SAWAT; SORNLER TLAMVANICH; CHAROENPORN (2003), duas das principais fraquezas de sistemas que utilizam RBMT são a necessidade de alto conhecimento linguístico tanto para o processo de análise e classificação dos elementos das sentenças quanto para a definição das regras a serem utilizadas. Soma-se a isso, a impossibilidade de que sejam escritas regras que cubram todas as possíveis combinações.

Na Figura 2.3, é mostrado um exemplo de regra utilizada para tratamento de um verbo conjugado no passado durante a tradução de uma frase no idioma *Marathi* para o idioma Inglês (GUPTA, 2015). Nota-se que as regras precisam ser específicas e cobrirem diversas situações, o que torna o processo de desenvolvimento de regras altamente custoso requerendo, assim, grande conhecimento linguístico.

LANGUAGE (2019) cita algumas outras dificuldades, como o baixo nível de fluência do resultado gerado, tendo alto custo para desenvolvimento e personalização de regras.

2.2.2 *Statistical Machine Translation*

Segundo KOEHN (2010), *Statistical Machine Translation* (SMT) utiliza modelos estatísticos gerados a partir da análise de um *Parallel Corpora* que, baseado em pesos estatísticos, transformam o texto de uma linguagem para outra. Esses modelos indicam as traduções mais comumente usadas e prováveis para os termos em questão, sendo este o princípio básico da SMT. Entretanto, como o procedimento pode ser utilizado sob elementos diferentes, serão abordadas as técnicas principais derivadas da SMT, sendo elas: *Word-Based Machine Translation* (WBMT) e *Phrase-Based Machine Translation* (PBMT).

```

if (LCAT[i].equals("v") && (
    | attributes[i].SUFFIX.equals("ल") ||
    | attributes[i].SUFFIX.equals("ली") ||
    | attributes[i].SUFFIX.equals("लो"))
) {
    | if (transwords[i].equals("reach"))
    | | transwords[i] = "reached";
    | if (transwords[i].equals("go"))
    | | transwords[i] = "went";
    | if (transwords[i].equals("meet"))
    | | transwords[i] = "met";
    | if (transwords[i].equals("win"))
    | | transwords[i] = "won";
}

```

Figura 2.3: Exemplo de regra utilizada para tradução automática de Marathi para Inglês. Fonte: (GUPTA, 2015).

Conforme citado por HUTCHINS (2005) e BROWN et al. (2002), no início dos anos 90, o projeto CANDIDE, oriundo do Centro de Pesquisa Thomas J. Watson, foi o primeiro projeto puramente baseado em SMT a ser apresentado e ter seus resultados publicados. WHITE (2003) afirma que ele fora implementado para tradução de Francês para Inglês, utilizando pares em francês e inglês obtidos por meio da análise de um *Parallel Corpora*.

Atualmente, de acordo com ARCAN et al. (2014), existem *toolkits* que realizam os procedimentos estatísticos probabilísticos sustentados pelos dados provenientes de análise de um *Parallel Corpora*. Embora não seja objeto de análise e discussão neste trabalho, é válido citar um dos mais famosos e populares *toolkits*, o Moses - um sistema SMT, descrito com a colaboração do próprio Koehn (CASELI, 2017).

2.2.2.1 Word-Based Machine Translation

Assim como afirmado por KOEHN (2010), Word-Based Machine Translation (WBMT) utiliza, fundamentalmente, transformação léxica focando em palavras de forma individual para a construção de uma tradução conforme os termos do método em questão. Entretanto, para o funcionamento ideal, é necessário realizar o mapeamento de cada palavra separadamente de um idioma para o outro em formato de dicionário.

O procedimento realizado pelo WBMT foi estabelecido em seu surgimento junto à IBM, conforme citado anteriormente. Essa primeira configuração de funcionamento foi denominada IBM Model 1. Entretanto, a mesma apresentava diversas limitações e problemas que foram sanados nas versões mais recentes desenvolvidas pela IBM, sendo a última *release* chamada de IBM Model 6.

Dentre os problemas apresentados e resolvidos estão: Ordenação - quando a gramática em um diferente idioma é referenciada com outra ordenação em relação ao idioma de entrada; Fertilidade - quando uma palavra precisa de mais de um elemento para ser devidamente utilizada no idioma alvo; Alinhamento Relativo - quando palavras são, então, associadas às palavras anteriores, e analisados os casos em que palavras costumam trocar de lugar em determinadas situações; e, por fim, Deficiências - quando o resultado indicado é impossível de ser alcançado, uma vez que mais de uma palavra deve ocupar a mesma posição.

Assim, o procedimento de funcionamento ocorre a partir da coleta de estatísticas provenientes da análise prévia do *Parallel Corpora*. Essa análise deve ser realizada sob parâmetro de palavras em formato individual, dado o método que está sendo utilizado.

A Figura 2.4 mostra um exemplo de registro de estatísticas obtidas pós análise, onde a palavra em alemão "*Haus*" possui diversos equivalentes em inglês, conforme aponta o número de ocorrências na coluna à direita.

Translation of <i>Haus</i>	Count
<i>house</i>	8000
<i>building</i>	1600
<i>home</i>	200
<i>household</i>	150
<i>shell</i>	50

Figura 2.4: Exemplo de estatísticas geradas por análise de *Parallel Corpora* parametrizado por palavras. Fonte: KOEHN (2010).

Dadas as proporcionalidades de ocorrências de cada uma das palavras derivadas da palavra indicada, são geradas estatísticas probabilísticas para cada um dos significados. Assim, obtém-se uma tabela com o intuito de realizar a tomada de decisão referente ao resultado oficial para a tradução da palavra correspondente.

Então, o procedimento é realizado de forma atômica para cada uma das palavras do texto de origem até que todas as palavras sejam finalizadas. Na sequência, é obtido, de forma simples, um alinhamento entre as palavras do texto de origem e as palavras referentes ao texto destino. A Figura 2.5 apresenta graficamente o alinhamento citado.

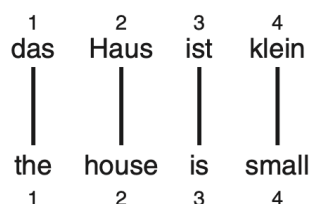


Figura 2.5: Exemplo de gráfico de alinhamento entre texto de origem e destino. Fonte: KOEHN (2010).

Na Figura 2.6, é mostrada a representação de um exemplo de alinhamento simples ordenado naturalmente. Caso a ordenação entre os textos de entrada e saída fosse diferente, seriam obtidos gráficos com indicadores diferentes, possivelmente com cruzamentos. Contudo, o procedimento de obtenção de resultado até o presente momento se manteria o mesmo.

$$a : \{1 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 3, 4 \rightarrow 4\}$$

Figura 2.6: Representação do gráfico de alinhamento citado na Figura 2.5. Fonte: (KOEHN, 2010)

2.2.2.2 *Phrase-Based Machine Translation*

Para o *Phrase-Based Machine Translation* (PBMT), o procedimento é, de certa forma, parecido com o procedimento adotado para o WBMT. Alguns elementos se repetem e possuem importância equivalente, como é o exemplo do *Parallel Corpora*.

A análise do *Parallel Corpora* gera, por sua vez, uma tabela com estatísticas relativas não apenas a palavras de forma individual, mas também a palavras em conjunto, chamadas, conforme apontado por CASELI (2017), de *tokens*, que podem ser agrupados em diversos níveis.

KOEHN; OCH; MARCU (2003) avaliam resultados de análise de qualidade de traduções geradas por diversos tipos de sistemas. Eles indicam que aumentar o tamanho do agrupamento de palavras pode não aumentar a qualidade da tradução. Quando é utilizado agrupamento de três elementos, os resultados costumam ser altamente satisfatórios. À medida que são aumentados esses agrupamentos, a qualidade da tradução pode tanto aumentar quanto diminuir.

Conforme apresentado por ZENS; OCH; NEY (2002), marcas de pontuação como vírgulas, pontos e ponto e vírgulas também são considerados elementos a serem agrupados e contados para o nível de agrupamento.

De acordo com CASELI (2017), o resultado do processamento do *Parallel Corpora* é um modelo de língua. Esse modelo é nada mais do que "um conjunto de n-gramas na língua alvo acompanhados de suas probabilidades de ocorrência de acordo com o corpus de treinamento". Esse modelo é utilizado a fim de realizar a ordenação das sentenças geradas utilizando como parâmetro as probabilidades de serem sentenças alvo válidas.

Após isso, é realizado um processo chamado decodificação. E, assim como TU et al. (2016), em PBMT, o decodificador mantém um vetor que indica se uma palavra é traduzida ou não. Esse procedimento é de grande importância para garantir que todas as palavras sejam traduzidas. À medida que todas o são, o processo é então encerrado.

PBMT apresenta diversas vantagens em relação ao WBMT. Segundo CASELI (2017), suas vantagens são: simplicidade no processamento, para tradução de novas sentenças; maior independência dos códigos em relação à língua; aplicabilidade a quaisquer par de línguas e tipos de *Parallel Corpora*; alta disponibilidade de *toolkits* gratuitos; baixo custo de geração e treinamento do sistema;

Em contramão, suas maiores dificuldades pairam sobre a dificuldade de interpretar os conhecimentos contidos nos modelos estatísticos; alta dependência em relação ao resultado dos modelos provenientes das análises do *Parallel Corpora*; e por fim, a incapacidade de reaproveitamento e modelagem de aspectos estruturais e sintáticos da língua.

2.2.3 *Neural Machine Translation*

Um sistema *Neural Machine Translation* (NMT) pode utilizar diversas técnicas de Machine Learning (ML) junto ao seu funcionamento. De acordo com WOIK; MARASEK (2015) e ALPAYDIN (2009), ML é a programação de computadores para a otimização de performance utilizando exemplos ou experiências anteriores como fonte de dados. KUBAT (2017) define ML como sendo o processo de fazer que computadores sejam capazes de aprender por meio de experiências e converter exemplos em conhecimento.

Baseado no tipo de entrada de dados que são disponibilizados durante a etapa de treinamento ou na saída desejada, os algoritmos de ML podem ser classificados em categorias como: aprendizado por reforço, aprendizado supervisionado, aprendizado por desenvolvimento, por inferência, dentre outros. Ainda, dentro destas mesmas categorias podem surgir classificações mais específicas. É válido destacar que tais categorias e classificações não serão abordadas neste trabalho.

Segundo BENTIVOGLI et al. (2016), com o desenvolvimento dos sistemas computacionais existentes e mediante ao uso e ao crescente surgimento de novas tecnologias, os sistemas de NMT começaram a tomar espaço e a tornarem-se competitivos em relação

aos outros sistemas disponíveis.

Em 2015, na última edição do *International Workshop of Spoken Language Translation (IWSLT)*, pela primeira vez um sistema NMT, descrito por Minh-Thang Luong, Hieu Pham e Christopher D. Manning, superou o PBMT no quesito de qualidade de tradução entre sentenças nos idiomas Inglês e Alemão.

A avaliação da tradução deu-se por meio do Bilingual Evaluation Understudy (BLEU) que, segundo PAPINENI et al. (2002), é um algoritmo composto por diversas métricas que são utilizadas para avaliar a qualidade de um texto traduzido por sistemas de *Machine Translation* de uma língua para outra. Assim, os sistemas geram pontuações utilizadas como parâmetro de comparação, indicando os índices de qualidade das traduções.

2.2.3.1 Redes Neurais

Conforme abordado por WOŁK; MARASEK (2015), Redes Neurais (RN) são um subconjunto dos algoritmos de ML. Seu funcionamento é baseado nos aspectos funcionais e estruturais do próprio cérebro humano.

Com a utilização de técnicas de ML como, por exemplo, aprendizado por reforço ou supervisionado, associadas à utilização de RNs, é possível executar inúmeras tarefas como classificação, clusterização e predição.

De acordo com LUONG; PHAM; MANNING (2015), NMT é um sistema em que uma rede neural realiza a modelagem condicional probabilística correspondente à tradução de uma sentença em uma língua de origem para uma sentença em uma língua de destino. O procedimento geral de uma NMT consiste no uso de dois diferentes componentes, um para cada idioma: um *encoder* e um *decoder*.

Outra definição pode ser obtida por WOŁK; MARASEK (2015):

Neural Machine Translation é uma nova abordagem para *Machine Translation* na qual uma grande rede neural é treinada para maximizar a performance de traduções. Isto é, sem dúvida, um desvio radical das existentes abordagens de tradução estatística baseada em frases, na qual um sistema de tradução consiste em subcomponentes que são otimizados separadamente. Uma rede neural bidirecional (RNN), conhecida como *encoder*, é usada pela rede neural para codificar uma sentença de origem para uma segunda rede neural, conhecida como *decoder*, que é usada para prever palavras no idioma destino.

Conforme afirmado por BAHDANAU; CHO; BENGIO (2014), o sistema que utiliza *encoder* e *decoder* é utilizado e treinado de forma conjunta a fim de maximizar as probabilidades de obtenção de uma tradução correlata, dada uma sentença de origem.

De acordo com CHO et al. (2014) e SENNRICH; HADDOW; BIRCH (2016), o *encoder* é uma RNN com unidades recorrentes que é capaz de ler uma determinada entrada e realizar cálculos de uma sequência direta de estados ocultos e uma sequência inversa. Logo, com base nestes cálculos, é possível gerar um vetor de saída de tamanho fixo.

Já o *decoder* é uma rede neural recorrente que prediz uma sentença alvo. Cada palavra é predita com base em uma série de fatores como: o estado recorrente oculto, uma palavra predita anteriormente e um vetor de contexto, que é computado como a soma de pesos de anotações do vetor de saída do *encoder*. O peso de cada anotação é calculado pelo modelo de alinhamento de probabilidades de acordo com a sentença de entrada em questão. O modelo de alinhamento é uma rede neural de camada única de alimentação direta que é aprendida juntamente com o resto da rede por meio de retro propagação (*backpropaga-*

tion). Assim, o *decoder* é responsável pela geração de cada uma das palavras da sentença traduzida, uma por vez.

Na Figura 2.7 é mostrado o fluxograma geral que apresenta o funcionamento de um sistema NMT que utiliza *encoder* e *decoder*, conforme explicitado anteriormente.

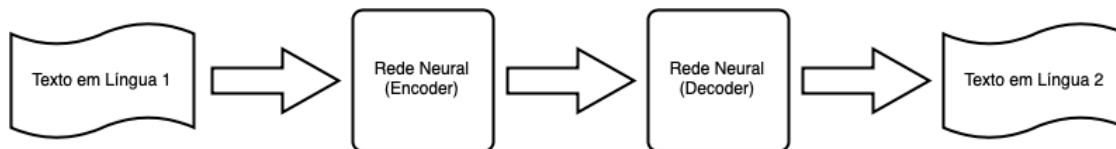


Figura 2.7: Esboço de fluxograma de funcionamento de um sistema NMT.

CHO et al. (2014) e TU et al. (2016) destacam diversos pontos positivos referentes à NMT. Assim, o principal fator é que as NMTs utilizam apenas uma pequena parcela da memória necessária para a execução de métodos estatísticos. Os modelos treinados pelos autores destacados utilizam cerca de *500MB* de memória, valor que contrasta fortemente com a extensa quantidade de *gigabytes* de memória utilizados por sistemas estatísticos.

Soma-se a isso o fato de que todo o processo de tradução é realizado de forma simplificada. Isto é, todo o procedimento é centralizado pelo uso da rede neural que o modela, fator que, indiretamente, pode acarretar em outras vantagens, como: maior capacidade de ordenação de sentenças mesmo que por longas distâncias e possibilidade de aprender representações durante o treinamento da rede neural.

De acordo com TU et al. (2016), as NMTs possuem dificuldades consideravelmente sérias devido à falta de cobertura das requisições. Em outras palavras, na NMT o mecanismo que indica se a sentença foi completamente traduzida é o ponto final, enquanto em outros métodos, como por exemplo o PBMT, são utilizados mecanismos de vetores que garantem o fim do procedimento. Tal dificuldade pode ocasionar situações em que algumas palavras recebam múltiplas traduções em uma mesma sentença e também situações em que algumas palavras sejam traduzidas incorretamente.

Em 2014, CHO et al. (2014) apontaram que a performance de NMT e de seus modelos diminui rapidamente a medida que o tamanho das sentenças aumenta e que o tamanho do vocabulário utilizado tem grande impacto nas traduções.

2.3 Analisadores morfológicos

Os analisadores morfológicos são serviços disponibilizados capazes de classificar morfológica e semanticamente palavras e idiomas fornecidos (VILELA, 2007). Dessa forma, nesta seção serão apresentados os principais serviços disponíveis para utilização neste trabalho, sendo eles: *WebJspell*, *Apache Jena* e *Cloud Natural Language API*.

2.3.1 WebJspell

De acordo com LINGUATECA (2019) o *WebJspell* é um serviço que tem por objetivo tornar o analisador morfológico e o corretor ortográfico *Jspell* mais acessível para a comunidade de usuários. Sendo assim, o serviço é disponibilizado de forma *online*, podendo ser acessado sem necessidade da realização de *download*.

O serviço em questão realiza a separação das palavras dada uma frase de entrada e as caracteriza separadamente. Nessa caracterização é apresentada a categoria, número,

tempo verbal, transitividade, definição, entre outros, de acordo com a palavra analisada (VILELA, 2007). Uma ilustração do uso da aplicação é mostrada na Figura 2.8.

Texto: Ele abrirá a porta					
					Formulário Nova análise
Ele	Apontar erro	Flexionar	Exemplos de frases	Ocorrências	
<ul style="list-style-type: none"> • Pessoa: terceira • Número: singular • Caso latino: nominativo • Gênero: masculino • Categoria: pronome pessoal • Lema: ele <ul style="list-style-type: none"> • Formas flexionadas do lema • Exemplos de frases de formas flexionadas do lema • Exemplos de frases com o lema e palavra corrente 					
abrirá	Apontar erro	Flexionar	Exemplos de frases	Ocorrências	
<ul style="list-style-type: none"> • Transitividade: transitivo • Número: singular • Pessoa: terceira • Lema: abrir • Tempo: futuro • Categoria: verbo <ol style="list-style-type: none"> 1. Sinónimos: abduzir ; afastar ; desviar ; distrair 2. Sinónimos: furar ; penetrar ; perfurar ; terebrar ; transfixar <ol style="list-style-type: none"> 1. Definição: v. t. Desunir, descerrar: <i>abrir a janela</i>. Romper, cortar: <i>abrir as veias</i>. Desimpedir, desobstruir: <i>abrir caminho</i>. Começar. Devassar. Escavar: <i>abrir um poço</i>. Gravar: <i>abrir letras</i>. <i>Abrir o sinal</i>, registrar o nome nos livros dos notários. <i>Abrir mão de</i>, largar, pôr de lado. <i>Abrir crédito a alguém</i>, autorizá-lo a dispor de certa quantia. * V. i. Descerrar as pétalas: <i>a flor abriu</i>. Romper, começar: <i>abriu o dia</i>. <i>Abrir o tempo</i>, aliviar-se o tempo. <i>Abriu a porta a alguém</i>: «<i>vindo de noite, sua esposa não lhe quis abrir</i>». <i>Luz e Calor</i>, 296. * V. p. Têr expansões, sêr franco: <i>abriu-se comigo</i>. (Do lat. <i>aperire</i>) <ul style="list-style-type: none"> • Tabela de conjugação verbal • Formas flexionadas do lema • Exemplos de frases de formas flexionadas do lema • Exemplos de frases com o lema e palavra corrente 					

Figura 2.8: Exemplo de resultado de saída do *WebJspell*. Fonte: LINGUATECA (2019).

2.3.2 Apache Jena

O Apache Jena é uma estrutura *Java* para a construção de aplicações *web* que envolvem semântica. O recurso oferece bibliotecas que auxiliam os desenvolvedores *Java* no desenvolvimento de códigos que lidam com: RDF (*Resource Description Framework*), linguagem para definir significado semântico de palavras-chave; RDFS (*Resource Description Framework Schema*), linguagem para descrever propriedades e classes para os recursos RDF; RDFa (*Resource Description Framework Attribute*), linguagem que utiliza atributos para marcação semântica sem a necessidade de utilização de novos elementos de marcação; OWL (*Ontology Web Language*), linguagem para instanciar ontologias na *web*; e SPARQL (*Structured Protocol and RDF Query Language*), linguagem de consulta e um protocolo para acesso a RDF. Ainda, o Apache Jena possui mecanismos de inferência baseados em regras que executam raciocínios para ontologias (JENA, 2019).

Nesse contexto, de acordo com CORDEIRO (2013), o serviço foi concebido de forma que os motores de inferência possam ser integrados facilmente em modelos já existentes e processá-los. Além disso, o Apache Jena possui pacotes com classes relacionadas, o que facilita, assim, sua utilização para análise morfológica de sentenças.

2.3.3 Google Cloud Natural Language API

A *Google Cloud Natural Language API* é uma plataforma do *Google* que oferece tecnologias para facilitar a compreensão da linguagem natural por desenvolvedores. Desde análise de sentimento e análise de entidade até classificação de conteúdo e análise sintática, o serviço de *Natural Language* utiliza-se de *Machine Learning* (MT) para revelar a estrutura e significado do texto (CLOUD, 2019).

A *API* abordada conta com métodos em que a própria estrutura do idioma é inspecionada. Dessa forma, a análise sintática "divide o texto fornecido em uma série de *tokens* (geralmente, palavras) e fornece informações linguísticas sobre esses *tokens*".

Alguns dos métodos disponibilizados pela *API* são:

- *analyseSyntax*: analisa a sintaxe do texto apresentado e fornece limites de sentenças, etiquetamento de palavras, árvores de dependências e outras propriedades;
- *analyzeSentiment*: analisa o sentimento do texto apresentado;
- *analyzeEntities*: encontra nomes das entidades (atualmente apenas nomes e substantivos comuns) no texto juntamente com tipos de entidades, menções de cada entidade e outras propriedades.

De modo a comparar os analisadores morfológicos destacados, foi elaborada a Tabela 2.3, que apresenta algumas características importantes para adoção neste trabalho como, por exemplo, disponibilidade de integração com outros serviços e análise sintática e semântica do texto de entrada. Ademais, é avaliado se os analisadores realizam análise de sentimento, se são integráveis com outras aplicações, se utilizam ML em sua tecnologia e, ainda, se possuem utilização livre e ilimitada (*open source*).

Tabela 2.3: Tabela comparativa entre analisadores morfológicos abordados.

Característica	WebJspell	Apache Jena	Natural Language API
Necessário <i>download</i>	Não	Sim	Sim
Análise sintática	Sim	Sim	Sim
Análise semântica	Não	Sim	Sim
Análise de sentimento	Não	Não	Sim
Integrabilidade	Não	Sim	Sim
<i>Machine learning</i>	Não	Não	Sim
<i>Open Source</i>	Sim	Sim	Não

Após a apresentação de importantes fundamentos referentes à temática deste trabalho, faz-se necessário avaliar os sistemas de tradução do português para a Libras existentes no cenário brasileiro. Desta forma, o capítulo a seguir se destina a elucidar tais sistemas.

3 SISTEMAS EXISTENTES

Este capítulo tem por objetivo abordar os sistemas de tradução do português para Libras, isto é, aplicações que possuem avatares que realizam os sinais correspondentes ao texto desejado. Sendo assim, serão destacadas as principais características e funcionalidades, vantagens e desvantagens dos aplicativos mais utilizados para tradução no cenário brasileiro.

3.1 Rybená

Segundo RYBENA (2019), o Rybená é uma solução que visa oferecer melhor entendimento e comunicação para surdos, deficientes, analfabetos funcionais, idosos, pessoas com deficiências intelectuais e outras pessoas portadores de dificuldades de leitura. O sistema utiliza tecnologia assistiva para traduzir textos digitados em português para Libras e voz. Conforme descrito por SOUSA (2015), trata-se de uma solução totalmente nacional.

O surgimento do Rybená ocorreu no ano de 2003 a partir da colaboração entre o Grupo de Usuários de Java do Distrito Federal (DFJUG) e o Centro de Tecnologia de *Software* (CTS) com o objetivo de prover assistência no processo de comunicação. Com o passar dos anos, a solução planejada sofreu mudanças tanto em questões relativas à aparência e ao *design* quanto às tecnologias aplicadas.

Ao carregar a tela inicial, como mostra a Figura 3.1, o aplicativo mostra um avatar que realiza a tradução da entrada de dados em português para Libras. Logo abaixo do avatar, são disponibilizadas algumas funcionalidades e ferramentas que serão discutidas em breve. De forma geral, é permitido ao usuário inserir um texto em português ao selecionar o ícone representado por um lápis na interface. Após o texto ser inserido e confirmado, o avatar realiza os sinais correspondentes ao ser selecionado o ícone de *play* do aplicativo. Ainda, é possível selecionar o último ícone dentre as opções apresentadas de modo que a reproduzir o áudio referente ao texto inserido.

O aplicativo Rybená possui baixo número de ferramentas, se comparado aos demais aplicativos com a mesma função. Algumas de suas funcionalidades são: a opção de pausar ou parar a reprodução dos sinais e a opção de aumentar ou diminuir a velocidade com que o avatar realiza os sinais para completar a tradução.

É válido destacar que o Rybená possui dois módulos: o Rybená WEB e o Rybená Voz. Ambos podem ser aplicados em sites da *web* de forma a disponibilizar a tradução de todo o site em português para Libras e também para permitir que os textos sejam reproduzidos com voz humana sintetizada. Por fim, conforme RYBENA (2019), o Rybená possui algumas ferramentas extras que podem ser usufruídas mediante pagamento de pacotes de serviços.

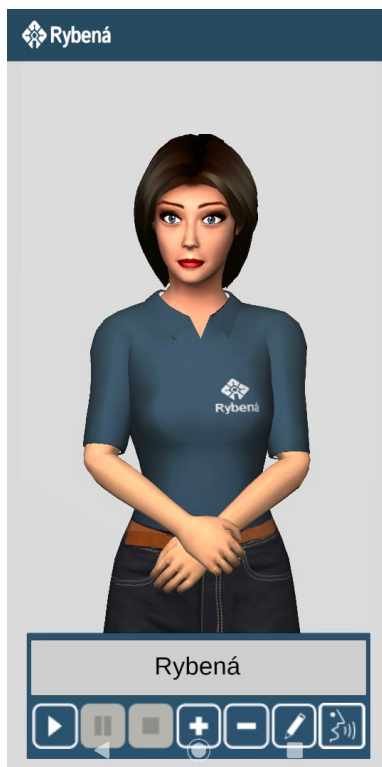


Figura 3.1: Tela inicial do aplicativo Rybená.

3.2 VLibras

De acordo com VLIBRAS (2019), o VLibras é um conjunto de ferramentas computacionais que possui capacidade de traduzir diversos tipos de conteúdos digitais como texto, áudio ou vídeo, para Libras, trazendo, assim, maior acessibilidade e proporcionando melhor comunicação entre surdos e ouvintes.

Conforme afirmado por ACESSIBILIDADE (2019), o VLibras possui versões disponibilizadas para computadores com sistema operacional *Windows* ou *Linux*, *smartphones* com sistema *Android* e *IOS*, *tablets*, e ainda como extensão para navegadores como *Google Chrome*, *Mozilla Firefox* e *Safari*.

Conforme DEPUTADOS (2019), o VLibras surgiu a partir de parceria entre o Departamento de Governo Eletrônico do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, por meio da Secretaria de Tecnologia da Informação, em conjunto com a Universidade Federal da Paraíba.

Diferente dos demais sistemas abordados neste capítulo, o VLibras é uma iniciativa sem fins lucrativos disponibilizada para que possa ser amplamente utilizada em *sites* em prol de atender às demandas da comunidade surda.

Portanto, ao carregar a tela inicial do aplicativo é exibido o avatar que é o intérprete do sistema. Logo abaixo na tela, são dispostos quatro ícones com as respectivas funcionalidades: entrada de texto, gravação de áudio, escolha de palavras no dicionário e legenda dos sinais. Ademais, o VLibras disponibiliza a troca de avatar entre homem e mulher, conforme ícone situado no canto superior direito da tela (Figura 3.2).

Assim, para obter a tradução do português para Libras, o usuário deve selecionar um dos três botões, entrar com o respectivo tipo de dado (texto, áudio ou dicionário) e aguardar até que o avatar inicie a sinalização correspondente aos dados carregados. A

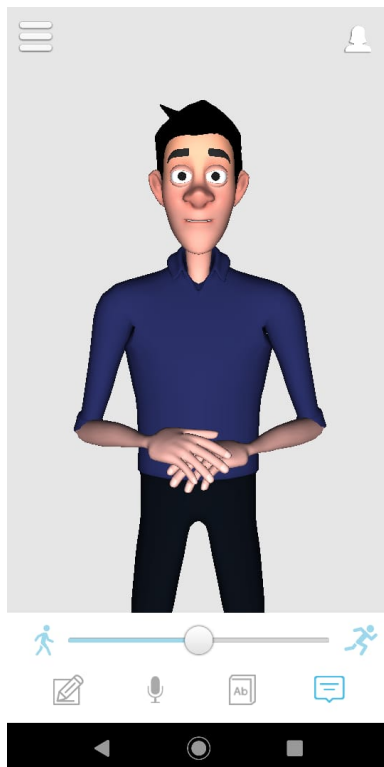


Figura 3.2: Tela inicial do aplicativo VLibras.

velocidade de reprodução dos sinais pode ser alterada a partir da barra de controle de velocidade localizada abaixo do avatar.

Por fim, há ainda a opção, através do botão superior esquerdo, de trocar o regionalismo, definindo os sinais mais comuns que são utilizados por cada região.

3.3 *Hand Talk*

O *Hand Talk* surge como uma plataforma para tradução simultânea de conteúdos na língua portuguesa para a língua brasileira de sinais (Libras). O aplicativo é disponibilizado para celulares do tipo *smartphone* e *tablets* e conta com o Hugo, um intérprete visual que converte as informações digitadas ou faladas para os respectivos sinais em Libras (ROCHA, 2014).

Recentemente, a empresa desenvolvedora agregou às suas tecnologias, a solução Tradutor de Sites. Nesta, o administrador do *website* é capaz de configurar sua página na internet de modo que o usuário tenha acesso ao conteúdo em Libras de forma automática (TALK, 2019).

Embora as tecnologias adotadas na criação do aplicativo em destaque não tenham sido publicamente disponibilizadas, de acordo com BEGGIORA (2019), o "projeto de acessibilidade ganhou o prêmio no Desafio *Google* de Impacto em IA, durante o *Google I/O 2019*", o que sugere que este faça o uso de IA em seu código fonte.

Conforme BERNARDO (2014), o projeto iniciou em 2007, em Alagoas, Maceió. Oriundo de um projeto universitário, a ideia tomou grandes proporções até que tornou-se um negócio de sucesso.

O funcionamento do *Hand Talk* se dá de forma simples, prática e intuitiva. Primeiramente é possível realizar *login*, entrar no sistema, utilizando diretamente a conta do

Google (Figura 3.3). Logo após, a medida que a aplicação é iniciada, é disponibilizada uma barra de textos onde é possível entrar com os dados que vão ser sinalizados pelo avatar. Há também a possibilidade de utilizar a fala para a entrada de dados, por meio de um botão logo ao lado direito do espaço para a entrada de texto. Uma vez que os dados sejam enviados, o sistema realiza a tradução dos sinais e então o Hugo realiza a interpretação do texto de entrada.



Figura 3.3: Tela Inicial do aplicativo *Hand Talk* com o menu auxiliar disponível.

O *Hand Talk* também sugere alguns comandos especiais em um menu localizado logo no início da barra de entrada de texto (Figura 3.4). Esses comandos são escolhidos por meio de ícones. A primeira opção gera um vídeo do texto de entrada para ser compartilhado em diversos canais de comunicação. A segunda opção, que possui um ícone de estrela, disponibiliza ao usuário avaliar a interpretação do texto que foi gerada, podendo escolher entre uma nota de 1 a 5. O terceiro ícone controla a velocidade com que o avatar realizará as interpretações, podendo selecionar até 2 velocidades acima do normal. E, por fim, a opção de solicitar que seja realizada novamente uma demonstração do resultado de saída do aplicativo, a interpretação dos sinais correspondentes.

Ele também possui um menu lateral com dicionários separados por categorias de palavras, como animais, cores, geografia e história, além do Histórico de Pesquisa, opção de Remover Propagandas mediante pagamento de uma taxa de adesão, a #HugoEnsina, que encaminha o usuário direto para vídeo aulas, opção de sugestões para o aplicativo, solicitação de ajuda, mais informações sobre o produto e opção de sair do aplicativo.

3.4 Considerações

Dentre os três aplicativos de tradução automática do português para Libras, *Hand Talk* é o que apresenta um dicionário de sinais mais amplo, onde palavras não costumam ser

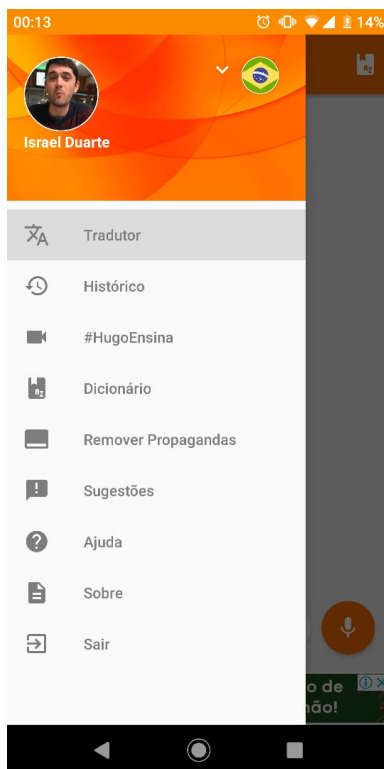


Figura 3.4: Menu auxiliar lateral disponível junto ao aplicativo *Hand Talk*.

representadas por datilologia, ou seja, de forma soletrada. Entretanto, o *Hand Talk* não possui código aberto, disponibilizado para público ou para ser integrado a outros serviços, possuindo apenas um *plugin*, uma extensão para navegadores, que pode ser adicionado ao navegador e utilizado de forma manual pelo usuário.

Embora o VLibras não possua uma gama tão grande de sinais, o mesmo apresenta um nível semântico apurado, em muitos casos superando o *Hand Talk*. O VLibras possui, também, o forte diferencial positivo de ser de um *software* que pode ser integrado a outros serviços, podendo ser encontrado em um repositório, um espaço para alocação de dados na internet, e utilizado pelo público.

O Rybená não possui desempenho suficiente para rivalizar com os demais aplicativos estudados, porém possui função leitura de texto, funcionalidade não apresentada pelos outros *softwares* e que pode oferecer acessibilidade a outros nichos de usuários.

Dessa forma, uma vez apresentadas a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento deste trabalho e as principais tecnologias de tradução do português para Libras, no capítulo a seguir será exposta a metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema que constitui este trabalho.

4 PORTOLIBRAS

O sistema Portolibras (Português *TO* Libras) é um *software* destinado a melhorar um texto em português que resulte em uma melhor interpretação junto aos aplicativos de tradução automática para Libras como, por exemplo, o VLibras. Em outras palavras, ele é responsável por receber um texto em língua portuguesa, processar um conjunto de regras a serem aplicadas no texto e realizar modificações nesse texto, a fim de obter uma tradução mais apropriada no que tange ao entendimento da comunidade de surdos.

Após a análise de algumas tecnologias como, por exemplo, os sistemas de *Machine Translation* mais utilizados e as vantagens inerentes a cada um deles, foi definida a utilização da tecnologia de *Rule-Based Machine Translation* de forma adaptada neste trabalho.

Em outras palavras, são realizadas as etapas de análise sintática, morfológica e de preparação de dados estabelecidas em RBMT, porém não foi realizada a conversão das palavras ou sentenças para outro idioma.

No que tange aos sistemas de tradução existentes, foi adotada a aplicação VLibras, pois esta disponibiliza integração a qualquer página HTML, estando hospedada ou não em um servidor. Dessa forma, é possível inserir um elemento posicionado à direita da página, podendo ser acessado por meio de um evento *click*. Assim, obtém-se um interpretador para as frases selecionadas pelo usuário.

De forma resumida, um texto em português é submetido ao Portolibras, que consulta ferramentas de serviços externos a fim de processar o texto. Caso seja necessário realizar alterações, o Portolibras aplica as regras desenvolvidas, gerando alterações no texto. A saída do sistema pode ser então utilizada por aplicativos de tradução automática, como o VLibras. Na Figura 4.1, é apresentado o processo, conforme descrito.

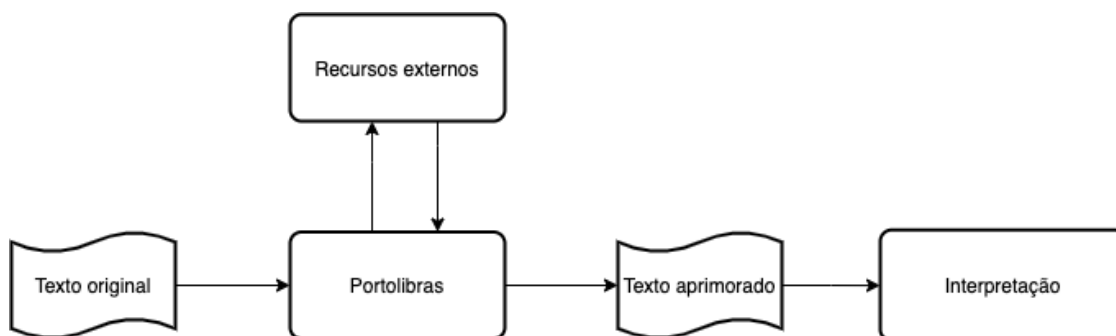


Figura 4.1: Diagrama Resumido de Funcionamento do Sistema.

4.1 Metodologia

O presente trabalho foi realizado em quatro etapas. Inicialmente, foram realizados estudos sobre Libras (sua estrutura gramatical, organização sintática, comparação com a Língua Portuguesa, etc), aplicativos de tradução atuais e os métodos de tradução automática existentes.

A partir dos levantamentos realizados, foi investigado, junto a especialistas e participantes da comunidade surda de Rio Grande, os principais problemas apresentados pelos aplicativos atuais em relação à tradução de frases. Nesta etapa, ainda, foram identificadas algumas frases que apresentam problemas para servir como base para o trabalho proposto.

A seguir deu-se início à implementação de uma ferramenta Portolibras que aborda os problemas apresentados de forma a melhorar o processo de tradução, investigando-se as ferramentas existentes e estendendo as funcionalidades necessárias para o problema proposto.

Por fim, como forma de validar o Portolibras, foi implementado um sistema de avaliação que pudesse ser acessado por intérpretes e surdos e receber avaliações individuais sobre o resultado do sistema. Para tal, foi realizado junto à intérprete especialista um novo levantamento de frases a serem avaliadas pelo sistema. Por fim, foi elaborado um formulário com diversas questões a serem respondidas pelos avaliadores, com o objetivo de entender melhor seus perfis, o uso e desempenho dos aplicativos de tradução automática atuais e também sugestões e opiniões sobre o Portolibras.

4.2 Arquitetura do sistema

Conforme pode ser observado na Figura 4.2, a arquitetura de funcionamento do sistema dá-se pela comunicação entre o Portolibras com os recursos que são consumidos para a possível alteração do texto: o *Google Cloud Natural Language API* e o *Conjugador*, cujo funcionamento será detalhado na continuidade deste texto.

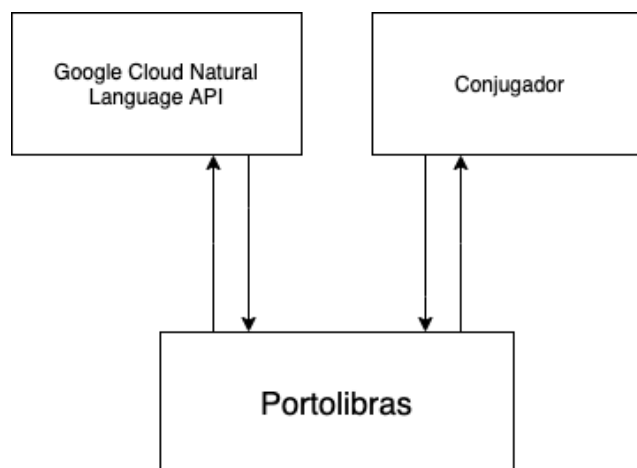


Figura 4.2: Diagrama Resumido de Arquitetura do Sistema.

A arquitetura do sistema foi desenvolvida de forma a facilitar a inserção de novos conjuntos de regras, sendo necessário apenas inserir uma nova classe, que implemente a interface padrão para regras, dentro do módulo *rules* e realizar a chamada do método *apply()* dentro do serviço de regras *RuleService*. Os demais serviços que compõem a aplicação utilizada foram construídos de forma desacoplada, possibilitando também a in-

serção de novos serviços e funcionalidades sem impactar em mudanças em outros pontos do sistema.

O sistema foi desenvolvido como um microsserviço expondo uma *API REST* que, conforme NEWMAN (2021), fornece um serviço em formato segmentado e autônomo, com responsabilidades específicas. Portanto, basta ser realizada uma requisição HTTP, do tipo POST, para o *endpoint* exposto com um parâmetro *text* contendo o conteúdo do texto a ser aprimorado, que é obtido o texto aprimorado após a aplicação do conjunto de regras.

Na Figura 4.3, observa-se o *Swagger* da aplicação. Com ele, é possível consultar os *endpoints* do sistema que foram expostos e que podem ser consumidos. Além disso, também mostra como devem ser realizadas as requisições à *API*, os parâmetros que devem ser enviados, as respostas obtidas e a obrigatoriedade dos mesmos (SURWASE, 2016).

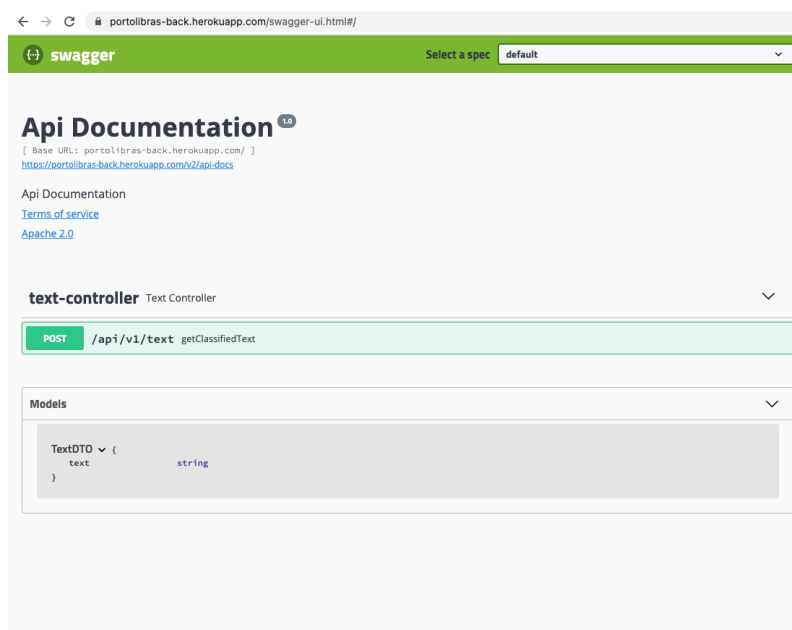


Figura 4.3: *Swagger* da *API* disponibilizada pelo Portolibras.

4.3 Diagrama de classes

Nesta seção, serão apresentadas as classes que foram utilizadas para o desenvolvimento da aplicação, incluindo classes do sistema, classes de regras e interfaces de serviço, conforme Figura 4.4.

- ***PortolibrasApplication***: Classe principal da aplicação, que carrega configurações básicas do *Spring Boot* para publicação da *API*;
- ***TextController***: Classe que realiza o mapeamento dos *endpoints* disponíveis na aplicação, neste caso, o método *getClassifiedText()*, que realiza a para a classe *RuleService*;
- ***RuleService***: Interface responsável por definir a assinatura das classes da serviço para aplicação de conjuntos de regras;

- **RuleServiceImpl**: Classe que implementa o comportamento dos métodos definidos na interface *RuleService*. É a classe responsável pela solicitação de aplicação das regras;
- **Rule**: Interface responsável por definir a assinatura das classes de conjuntos de regras a serem aplicados no sistema;
- **VerbalRule**: Classe que implementa o comportamento dos métodos definidos na interface *Rule* e que aplica o conjunto de regras em si.

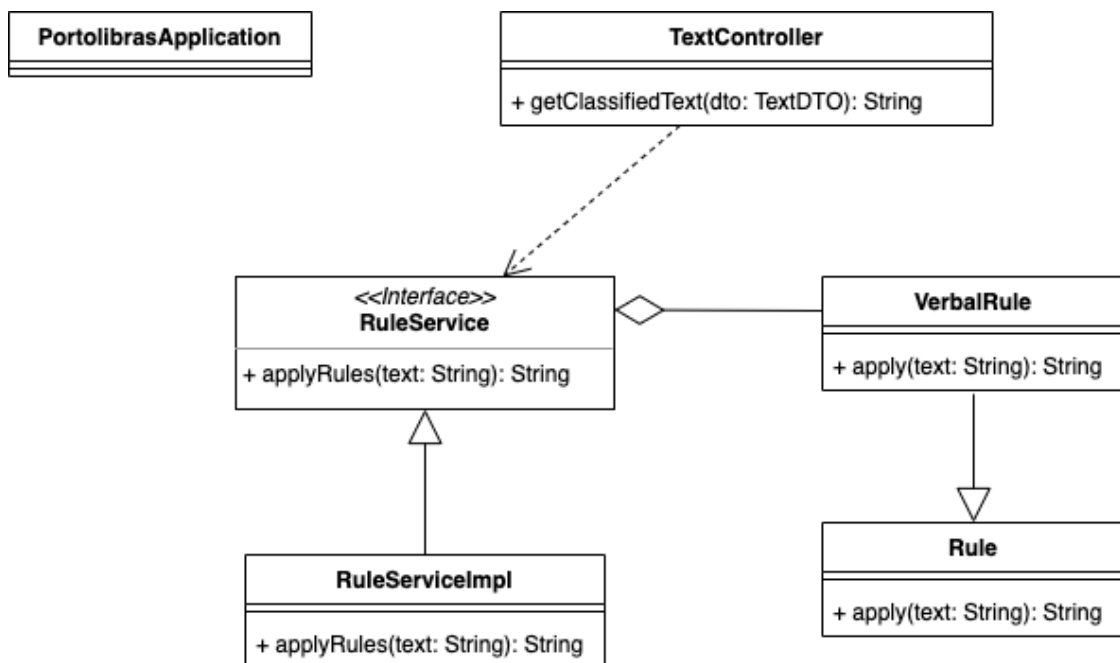


Figura 4.4: Diagrama de Classes.

4.4 Conjunto de regras aplicadas

A fim de atingir os objetivos definidos na proposta deste projeto, foi realizada a aplicação de um conjunto de regras em um texto em português com foco principal na correção do tempo verbal do texto de origem apresentado. Na Figura 4.5, observa-se um resumo das regras aplicadas que compõem o sistema que será apresentado a seguir.

O fluxo de aplicação do conjunto de regras inicia à medida que um texto em português é enviado como parâmetro para o método `apply()` da classe *VerbalRule*. Este funcionamento ocorre através da chamada do método `getModifiedText()`, conforme explicado anteriormente.

Uma vez que o método supracitado é chamado, o texto enviado como parâmetro é processado a partir da *Google Cloud Natural Language API*. Por meio desta, o texto é analisado de forma morfológica e sintática, obtendo-se, assim, uma classificação para cada um dos elementos contidos no texto, que inclui desde palavras até sinais de pontuação. Tal análise resulta em uma lista de *Tokens* com informações a respeito de cada um dos elementos, conforme mostra a Figura 4.6.

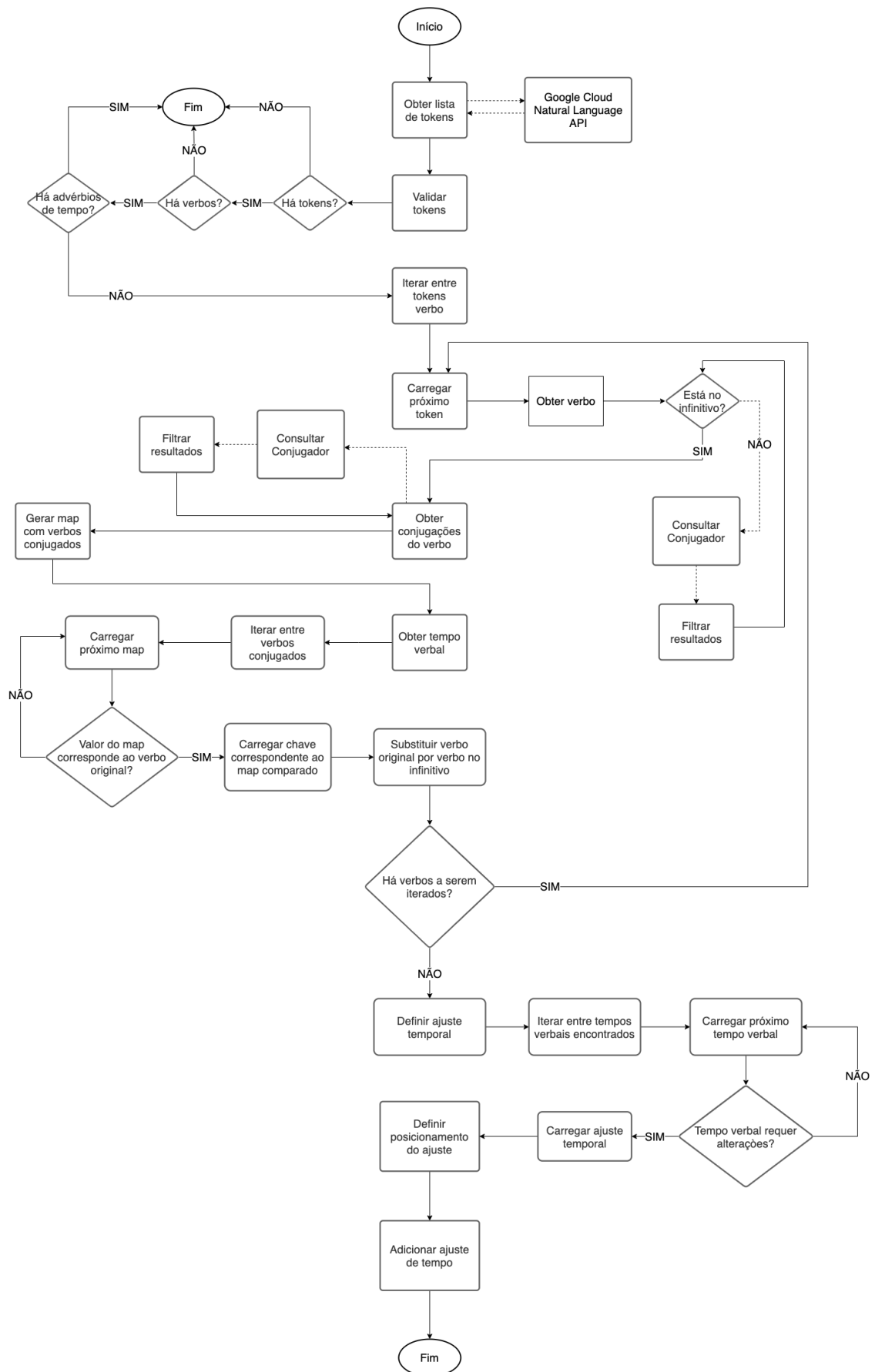


Figura 4.5: Fluxograma para regra de tempo verbal.

```

text {
  content: "viajarei"
  begin_offset: 3
}
part_of_speech {
  tag: VERB
  aspect: IMPERFECTIVE
  mood: INDICATIVE
  number: SINGULAR
  person: FIRST
  proper: NOT_PROPER
  tense: PRESENT
}
dependency_edge {
  head_token_index: 1
  label: ROOT
}
lemma: "viajar"

```

Figura 4.6: Exemplo de *token* da *Google Cloud Natural Language API*.

No código abaixo, é apresentado como é feita a consulta à *Google Cloud Natural Language API*, a fim de obter a lista de *tokens* referentes ao texto enviado.

```

1 private List<Token> getTokens(String text) {
2
3     List<Token> response = null;
4
5     try {
6
7         LanguageServiceClient language = LanguageServiceClient.
            create();
8         AnalyzeSyntaxResponse analyzeSyntaxResponse;
9         Document doc = Document.newBuilder().setContent(text).
            setType(Document.Type.PLAIN_TEXT).build();
10        AnalyzeSyntaxRequest request = AnalyzeSyntaxRequest.
            newBuilder().setDocument(doc).setEncodingType(
                EncodingType.UTF8).build();
11
12        analyzeSyntaxResponse = language.analyzeSyntax(request);
13        response = analyzeSyntaxResponse.getTokensList();
14        language.close();
15
16    } catch (IOException e) {
17        e.printStackTrace();
18    }
19
20    return response;
21 }

```

Após a obtenção da lista de *tokens*, são criadas três novas listas de elementos a partir

da aplicação de uma série de filtros. Essas listas são criadas a fim de serem realizadas validações nos dados obtidos, evitando situações que resultariam apenas em gastos computacionais desnecessários.

As validações verificam, primeiramente, se existem *tokens* armazenados na resposta da requisição feita à *API* do *Google*, caso contrário não há conteúdo para ser analisado. Tal situação indica que não foi encontrado conteúdo válido na requisição de aprimoramento de texto, que resulta no texto original, isto é, sem modificações como resposta à requisição.

Caso sejam encontrados *tokens*, eles são filtrados e os elementos do tipo verbo são adicionados a uma nova lista. A este ponto, é possível validar se há a presença de pelo menos um elemento verbo, dando continuidade ao processamento do texto. Caso não seja encontrado ao menos um verbo, o retorno do método em questão é também definido como o texto original sem modificações pois na ausência de verbo não há como verificar o tempo verbal.

Então, a última validação realizada é relacionada à existência de elementos identificados como advérbios de tempo. Caso seja encontrado algum advérbio de tempo, o sistema também retorna o texto original sem modificações como resultado da requisição, entendendo que a presença de um advérbio de tempo já indique o tempo em que a frase é interpretada e eliminando a necessidade de agregação de um sinal de tempo verbal.

Vale ressaltar que os filtros aplicados a fim de serem realizadas as validações do conteúdo resultante da consulta à *API* do *Google* são executados com *Stream API* e *Lambda expressions*, um recurso disponível a partir do Java 8 e que concede grande eficiência no processamento e redução de linhas de código, além de um código mais limpo.

Após a etapa das validações, o algoritmo avança para o tratamento e avaliação dos verbos obtidos, onde são buscadas informações a fim de identificar o tempo verbal dos verbos encontrados. Para cada iteração dentre os verbos, são realizados três procedimentos: definição de forma infinitiva do verbo, definição de conjugações do verbo e busca e definição de tempo verbal mediante comparação forma original. Os procedimentos serão descritos a seguir.

- **definição de forma infinitiva:** É realizada a verificação se o verbo encontra-se no infinitivo. Em caso negativo, é necessária a consulta ao serviço Conjugador onde é realizada uma busca por um verbo a partir do conteúdo original do *token* em questão. Assim, após aplicação de filtros utilizando-se de expressões regulares, é obtida a forma infinita do verbo encontrado, o que é o necessário para o encaminhamento ao próximo item;
- **definição de conjugações:** Uma vez que é obtida a forma infinitiva do verbo, é possível realizar nova consulta ao serviço Conjugador, que retorna as conjugações para o verbo em questão. Então, é construído um elemento da linguagem Java conhecido como *HashMap* que, por meio de chaves e valores, possibilita o armazenamento de tipos abstratos de dados. As conjugações do verbo são elementos cruciais para a identificação do tempo verbal;
- **definição de tempo verbal:** Com as conjugações dos verbos, é possível, por meio de comparações com a forma original do verbo, determinar o tempo verbal. Quando o verbo original é encontrado em uma das comparações é possível obter o tempo verbal do mesmo por meio da chave da presente entrada do *HashMap*

O procedimento realizado a partir da etapa de iteração dos *tokens* do tipo verbo é repetido para cada um dos verbos encontrados, a fim de garantir que o tempo verbal de toda a frase analisada seja levado em consideração na hora de realizar possível inserção e correção do tempo verbal no texto.

Nesse ponto, o sistema já possui os dados necessários para realizar as alterações julgadas necessárias a fim de obter um texto que produza uma melhor interpretação. É então realizada a última etapa do algoritmo apresentado.

Por fim, a definição do ajuste temporal é realizada por meio de comparações entre os tempos verbais encontrados e a lista de tempos verbais existente. O resultado obtido pelas comparações é o de identificar se os tempos verbais encontrados são passíveis de gerar alterações no texto. Em caso positivo, o advérbio de tempo que gera correção na sinalização é inserido no início da frase, conforme requer a estrutura sintática da Libras. Na Tabela 4.1, são apresentados exemplos de textos e o resultado após eles serem processados no Portolibras.

Tabela 4.1: Tabela comparativa entre entrada e saída gerada pelo Portolibras.

Exemplo 01	
Entrada	Eu viajarei para a Argentina pois estou planejando me mudar.
Saída	No futuro, eu viajar para a argentina pois estou planejando me mudar.
Exemplo 02	
Entrada	Nós cantávamos todas as noites ao redor da fogueira.
Saída	Antigamente, nós cantar todas as noites ao redor da fogueira.
Exemplo 03	
Entrada	Amanhã, procurarei um lugar para morar.
Saída	Amanhã, procurarei um lugar para morar.

4.5 Ferramentas utilizadas

Diversas ferramentas e tecnologias foram utilizadas em conjunto para o desenvolvimento do sistema. Nesta seção, serão apresentadas tais ferramentas.

Foi utilizada a *Google Cloud Natural Language API* como analisador sintático e morfológico. Destaca-se que o recurso citado foi definido para uso, pois trata-se de uma *API* baseada em redes neurais, o que hoje é estado da arte em análises desta natureza. Por meio dela, é possível realizar mais de 500.000 requisições aos serviços do *Google* de forma gratuita e obter diversos relatórios de uso e outras estatísticas.

Além da *Google Cloud Natural Language API*, foi utilizado também o recurso Conjugador, que permite obter diversas conjugações de um verbo, possibilitando uma análise mais aprimorada sobre tempos verbais e suas conjugações. O recurso é obtido por meio de uma requisição *HTTP* do tipo *GET* e tem seu conteúdo filtrado por meio do uso de *regex* e é utilizado para a obtenção tanto de um verbo no infinitivo quanto de todas as conjugações de um verbo em questão.

A aplicação foi implementada por meio da linguagem de programação Java de forma integrada com Spring Boot. *Spring Boot* é um *framework* Java que tem por finalidade simplificar o processo de configuração e publicação de aplicações (ROSSALLI, 2021). Através de um arquivo *.xml*, são injetados os módulos de dependências a serem utilizadas. Assim, o *Spring Boot* favorece a convenção sobre a configuração e, embora forneça

configurações de forma automática dos módulos selecionados, é possível customizar os módulos de acordo com as necessidades do desenvolvedor (AFONSO, 2017).

O serviço desenvolvido foi disponibilizado em formato de *API* por meio do serviço de hospedagem da plataforma Heroku. Conforme CLARK (2021), ele permite realizar implantação, escalonamento e gerenciamento de aplicativos sem complicações. Por meio de um endereço da *web* é disponibilizado o acesso à aplicação por meio de requisições *HTTP*. Assim, o serviço pode ser acessado por terceiros e integrado a outras aplicações.

5 TESTES

O Portolibras foi apresentado e submetido à avaliação por membros da comunidade surda, principalmente de Rio Grande, mas também de outras partes do Brasil. Neste capítulo, serão abordados detalhes sobre os testes realizados, os avaliadores, a base de dados utilizada e os critérios de avaliação.

5.1 Grupo de avaliação

O Portolibras foi apresentado e submetido à avaliação de diversos membros comunidade surda: surdos e intérpretes da Escola Municipal de Educação Bilíngue Professora Carmen Regina Teixeira Baldino, integrantes do corpo docente de professores da área de Libras da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), surdos participantes da comunidade de Rio Grande, além de surdos e intérpretes de outros estados brasileiros.

Sendo assim, foram obtidas avaliações de 27 participantes, sendo 19 o número de intérpretes, 7 o número de surdos e 1 o número de intérpretes que também são surdos, ou seja, aproximadamente 75% do público é constituído por intérpretes. Nas Figuras 5.1 e 5.2 é possível verificar a quantidade de participantes destacada.

Função:
20 responses

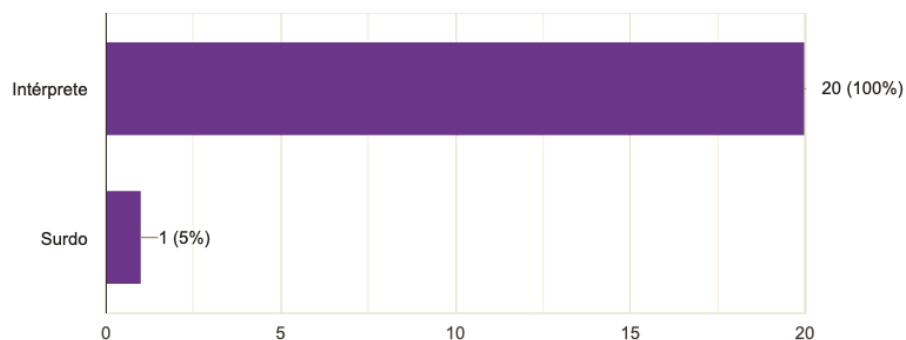


Figura 5.1: Gráfico representativo do número de intérpretes.

Função:

8 responses

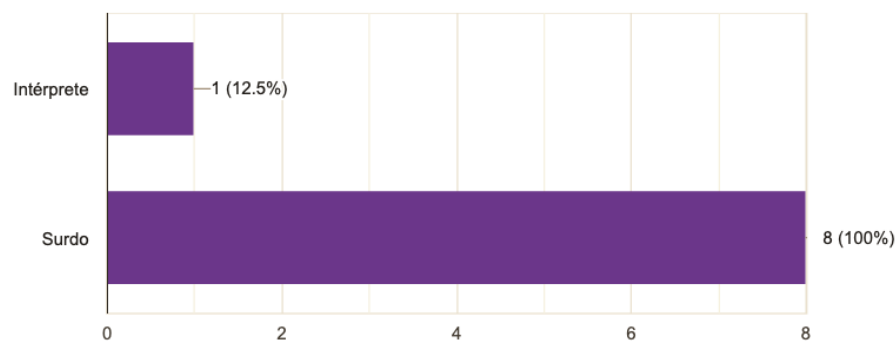


Figura 5.2: Gráfico representativo do número de surdos.

5.2 Sistema implementado para a avaliação

A fim de avaliar a eficiência do algoritmo aplicado para ajuste de tempo verbal do Portolibras, foi desenvolvida uma plataforma, um sistema de avaliação, capaz de obter avaliações individuais de textos submetidos ao algoritmo.

O sistema foi implementado por meio de ferramentas e tecnologias como Node.js, HTML5, CSS, *jQuery*, *Javascript*, requisições Ajax, Java, *Spring Boot*, dentre outros recursos importantes utilizados para o desenvolvimento *web*. As informações das avaliações foram salvas em um banco de dados *PostgreSQL*, que foi utilizado de forma integrada ao Heroku, onde foi feita a hospedagem da aplicação.

Conforme citado anteriormente, para se obter a interpretação das frases, foram utilizados os recursos do VLibras. Para tal, foi necessário inserir dentro do HTML do sistema, *tags* destinadas ao carregamento das dependências do serviço. Assim sendo, foi possível realizar comparações entre a interpretação de um texto original e a interpretação do texto aprimorado.

A tela inicial do sistema pode ser encontrada na Figura 5.3. Nela, observa-se elementos importantes como: índice da frase em avaliação, caixas de entrada de nome, seleção entre surdo ou ouvinte, caixas com o texto original, caixas para o texto aprimorado, botão de avaliação e ícone do VLibras.

Primeiramente, para o uso do sistema, o avaliador pode informar seu nome e escolher entre surdo e ouvinte. Estas informações são armazenadas no *LocalStorage* do navegador. O sistema preenche automaticamente os textos. O texto original é carregado a partir das frases armazenadas no banco de dados *PostgreSQL*, enquanto o texto aprimorado, que é o resultado do texto original processado no Portolibras.

Para que o VLibras realize a interpretação das frases, é necessário apenas que os textos sejam selecionados, um por vez. Assim, é possível comparar a interpretação do texto original e do texto aprimorado. Após a comparação entre as interpretações, o usuário deve acionar o botão "Avaliar frase aprimorada", a fim de avaliar o conteúdo apresentado.

Conforme apresentado na Figura 5.4, é então aberta uma modal onde deve ser selecionada uma das três opções que avaliam o desempenho da interpretação apresentada para o texto aprimorado em comparação ao texto original. É permitida, também, a inclusão de um comentário em relação ao apresentado.

Frase 1/12

Nome Surdo Ouvinte

texto original

Viajarei para a Argentina pois estou planejando me mudar.

Avaliar frase aprimorada

texto aprimorado

No futuro, viajar para a argentina pois estou planejando me mudar.




Figura 5.3: Tela inicial do sistema de avaliação.

Ao fim de todas as avaliações, é apresentado o *link* para o formulário de avaliação, com um breve questionário ao avaliador.

5.3 Conjunto de frases avaliadas

Uma vez que o sistema desenvolvido tem por foco a melhoria dos tempos verbais da tradução automática realizada por tradutores automáticos, parte importante do processo foi o de definir um conjunto de frases a serem analisadas de modo que fossem passíveis de correção pelo sistema desenvolvido. Em outras palavras, para a correção da sinalização do tempo verbal das frases, era necessário, em primeiro lugar, que a frase em tradução possuísse ao menos um verbo.

Assim, o levantamento das frases que compõem o banco de dados foi realizado por meio de entrevista com intérprete especialista e experiente na área de Libras. Nesse contexto, foi selecionado um conjunto de 12 frases para serem avaliadas pelos usuários, conforme mostra a Tabela 5.1.

5.4 Formulário de avaliação

Após a conclusão das avaliações dos testes, foi apresentado um *link* para um formulário de avaliação a fim conhecer e entender mais sobre o perfil dos avaliadores e obter dados importantes tanto sobre o contexto da Libras num âmbito geral quanto sobre a eficiência da interpretação gerada pelo Portolibras, frente aos sistemas de tradução automática. O formulário em questão foi criado junto ao *Google Forms* com diversas questões sobre os temas abordados.

O formulário é composto por oito questões onde são questionadas opiniões quanto ao

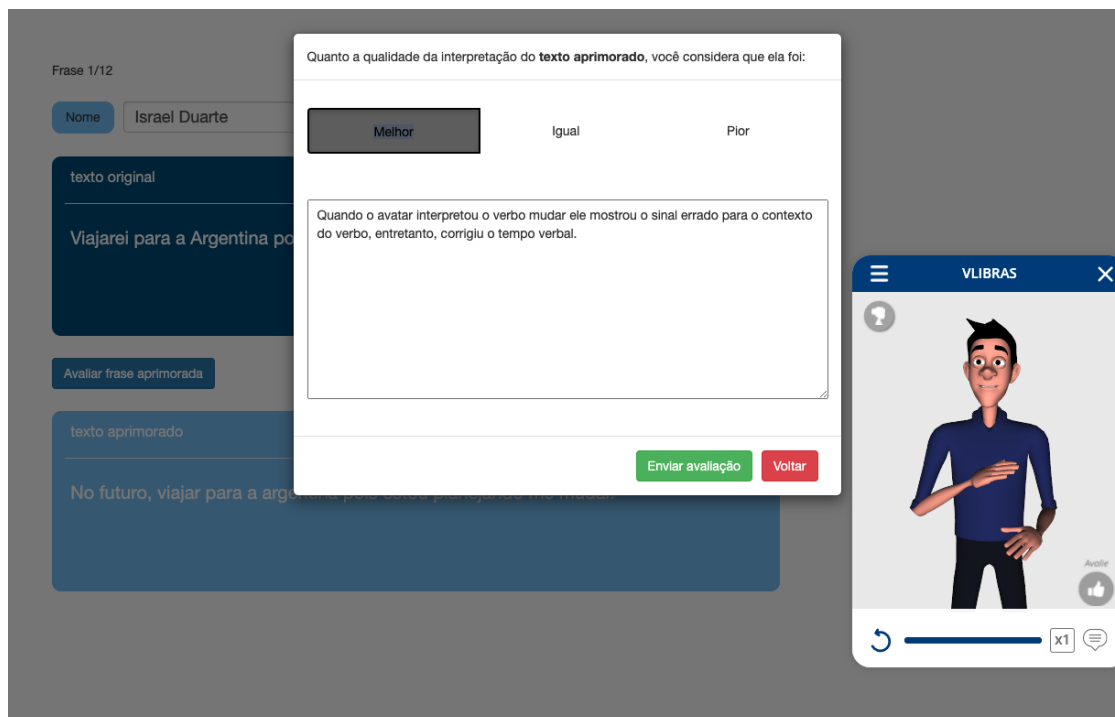


Figura 5.4: Tela do sistema de avaliação durante avaliação de frase.

Tabela 5.1: Frases utilizadas nos testes do Portolibras.

Nº	Frases
1	Viajarei para a Argentina pois estou planejando me mudar
2	Como meu próximo carro, comprarei um Fusca
3	Cantávamos todas as noites ao redor da fogueira
4	Sabíamos como a vida seria difícil
5	Em três dias, estarei colhendo morangos
6	Há dois meses, estava procurando uma casa
7	Um dia, comprarei uma casa para meu pai
8	Meu primeiro carro será um Fusca
9	Eu chorava quando lembrava do meu avô
10	Nós pulávamos corda o dia inteiro
11	Minha filha comprará um par de meias verdes para o natal
12	Pensávamos que teria valido a pena

uso dos aplicativos de tradução automática e a qualidade da tradução apresentada, quanto aos principais erros apresentado por eles, quanto à qualidade da interpretação apresentada após a aplicação do Portolibras e sugestões de frases e outros casos a serem considerados. O conteúdo do formulário pode ser encontrado no Apêndice B deste projeto.

É importante salientar que o formulário, assim como o teste, não foi apresentado através de um vídeo em Libras, a fim de ficar mais claro o entendimento para as pessoas surdas participantes. Portanto, não é possível compreender o quanto as pessoas surdas compreenderam dos questionamentos, bem como as alternativas. Isso acontece em função da aquisição da Língua Portuguesa escrita pelas pessoas surdas, que na maioria dos casos, não são fluentes nela. A aquisição não é fluente, pois trata-se de uma língua auditiva, portanto, o acesso e a aprendizagem dela pelas pessoas surdas é diferente e ainda não

fluente.

Para que os surdos conseguissem, com propriedade, perceber a melhoria, o ideal seria que fosse apresentado um vídeo em Libras com a sinalização de um humano na estrutura correta para, depois, ele pudesse comparar com a sinalização do VLibras. As modificações escritas não são tão perceptíveis para as pessoas surdas por não conhecerem com profundidade as questões linguísticas da Língua Portuguesa.

6 RESULTADOS

Neste capítulo, serão abordados os resultados obtidos tanto pelas avaliações quanto pelo formulário de avaliação. Vale ressaltar que, dentre os 27 participantes da avaliação, 1 ouvinte e 1 surdo não conseguiram utilizar o sistema para testes e 1 surdo completou apenas as primeiras 6 das 12 frases apresentadas. Logo, foram gerados um total de 294 registros no banco de dados do sistema de avaliação, onde as frases de 1 a 6 obtiveram 25 respostas e as frases de 7 a 12 obtiveram um total de 24 respostas.

6.1 Avaliação do Portolibras

Nesta seção, serão apresentados os resultados referentes às avaliações provindas do sistema de avaliação do Portolibras.

Conforme vê-se na Tabela 6.1, 92% dos usuários consideram que a Frase 1 foi melhor traduzida pelo VLibras após as alterações realizadas pelo Portolibras. Ainda, 8% acredita que as mudanças não causaram efeitos na tradução automática e nenhum usuário informou que houve piora na tradução, isto é, que o Portolibras atrapalhou o desempenho do VLibras.

Tabela 6.1: Resultado da classificação individual de cada frase que os usuários que testaram no sistema.

Frase Número	Classificação Melhor	Classificação Igual	Classificação Pior
1	92%	8%	0%
2	52%	16%	32%
3	76%	20%	4%
4	84%	8%	8%
5	80%	16%	4%
6	68%	24%	8%
7	92%	8%	0%
8	71%	21%	8%
9	75%	4%	21%
10	92%	8%	0%
11	79%	8%	13%
12	67%	16%	17%

Em contrapartida, 32% os usuários acreditam que o sistema Portolibras piorou a tradução automática da Frase 2 realizada pelo VLibras. Acredita-se que esta classificação se

deve ao fato do VLibras realizar a tradução da palavra *próximo* utilizando o sinal da palavra *perto*. Ademais, 68% dos usuários acreditam que o sistema desenvolvido melhorou ou não alterou a qualidade da tradução automática.

No que diz respeito à Frase 3, 96% dos usuários afirmaram que o Portolibras melhora ou mantém a mesma qualidade na tradução automática, enquanto apenas 4% sugeriu que há piora na tradução.

Para 92% dos participantes, a Frase 4 apresentou melhorias ou manteve a mesma qualidade nas traduções. Por outro lado, 8% considerou que o Portolibras prejudicou o desempenho do VLibras.

Já na Frase 5, é possível perceber que 96% dos participantes afirmaram que o Portolibras melhora ou não altera a qualidade na tradução. Ainda, 4% afirma haver piora na tradução.

Na Frase 6, foi identificado que o VLibras traduziu o verbo *haver* como sendo o verbo *ter*, tanto antes como depois da inserção do Portolibras, o que prejudica a compreensão. Acredita-se que tal fator possa ter influenciado a classificação dos usuários, onde 32% acredita que não houve melhora e até mesmo piora nas traduções automáticas. Ainda assim, 68% dos participantes acreditam que o Portolibras melhorou a tradução automática.

A partir da Frase 7, o número de respostas foi reduzido para 24 por questão, conforme abordado anteriormente. Dessa forma, observa-se que 92% dos participantes acreditam que o Portolibras melhora a tradução realizada pelo VLibras, enquanto 8% acredita que não altera a qualidade. Por fim, para nenhum participante a qualidade do VLibras piora após as alterações realizadas pelo Portolibras.

Semelhante ao retratado em avaliações anteriores, é considerado pela maioria dos participantes (71%) que há melhora na tradução automática da Frase 8 após utilização do Portolibras. No entanto, 21% acredita que a qualidade se manteve a mesma e 8% que o Portolibras atrapalhou a tradução realizada pelo VLibras.

Dando continuidade às avaliações, na Tabela 6.1 observa-se que 21% dos participantes classificaram que o Portolibras atrapalhou a tradução realizada pelo VLibras para a Frase 9. Acredita-se que tal fator se deve devido à inserção da palavra *antigamente* introduzida pelo Portolibras, que é sinalizada com duas palavras (*passado* e *velho*), o que complica a tradução e atrapalha o entendimento. Contudo, 75% dos participantes acreditam que houve melhora e 4% que a qualidade da tradução se manteve a mesma.

Em compensação, para 92% dos usuários a Frase 10 apresenta melhor tradução quando submetida ao sistema Portolibras, enquanto nenhum usuário constatou que o VLibras é prejudicado pelas alterações realizadas.

Na Frase 11, foi constatado que alguns sinais utilizados pelo VLibras são de caráter regional. Por outra forma, alguns sinais diferem de região para região e confundem intérpretes e surdos do Estado do Rio Grande do Sul, uma vez que o VLibras se baseia em sinais utilizados no Estado de São Paulo. Talvez por este motivo, 13% dos usuários do sistema classificaram piora na tradução automática realizada. Ainda assim, para 79% houve melhoria após a utilização do Portolibras.

Por fim, 67% dos usuários classificou que o sistema desenvolvido apresentou melhoria na tradução automática, enquanto 17% acredita que houve piora na Frase 12. O número de participantes que acredita que a qualidade se manteve igual foi de 16%. Entende-se que este resultado não está diretamente relacionado ao que se propõe no sistema Portolibras, pois o maior problema na frase apresentada se refere à sinalização do termo *valer a pena*, que possui sinal único, mas é traduzido separadamente no VLibras.

Em conclusão, no Apêndice A é possível observar os gráficos de pizza que foram

gerados a partir resultados obtidos para cada uma das doze frases utilizadas na avaliação. Logo, a seguir serão apresentados os resultados referentes ao formulário de avaliação respondido pelos participantes que participaram da testagem do Portolibras.

6.2 Análise do formulário de avaliação

Nesta seção, serão apresentados os resultados referentes à avaliação do formulário apresentado aos participantes.

A primeira questão do formulário de avaliação foi a respeito do auxílio que os aplicativos de tradução automática oferecem aos surdos. Como é possível verificar na Figura 6.1, tanto para intérpretes quanto para surdos, é predominante (75% para os dois grupos) a opinião de que os aplicativos em questão podem auxiliar em parte no que tange a comunicação com os surdos. Vale frisar também a parcela de 25% de intérpretes que discordam parcialmente e discordam totalmente que esses aplicativos ajudam na comunicação com surdos. Enquanto apenas 12.5% dos surdos discordam parcialmente. Percebe-se assim uma maior rejeição entre intérpretes.

1) Os aplicativos de tradução automática (exemplo: Handtalk, VLIBRAS) ajudam na comunicação com surdos. Quanto a essa afirmação, você:

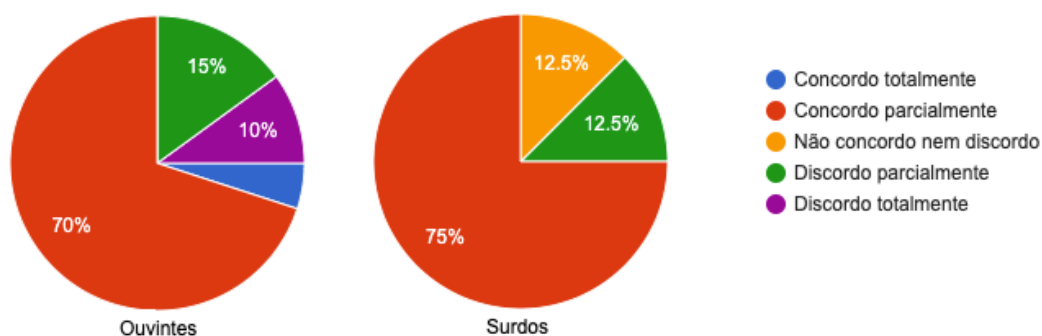


Figura 6.1: Percentual de intérpretes e surdos que acredita que aplicativos de tradução automática auxiliam na comunicação com surdos.

Outro fator importante a ser considerado na pesquisa é que, na opinião dos intérpretes, 55% dos surdos utilizam os aplicativos de tradução automática frequentemente ou ocasionalmente e 45% acredita que esta frequência é rara ou nunca ocorre, conforme mostra a Figura 6.2. De forma semelhante, é possível observar que 50% os surdos consideram que a frequência no uso dos aplicativos é de muito frequente a ocasional, enquanto o restante acredita que seu uso é raro ou não existe.

Por outro lado, foi avaliada a opinião dos grupos também a respeito da frequência em que os ouvintes façam o uso de aplicativos de tradução automática. De acordo com a Figura 6.3, pode ser observado que para 95% dos intérpretes, a frequência de uso de aplicativos como o VLibras, por exemplo, ocorre de forma muito frequente a ocasional e apenas 5% do grupo acredita que a utilização é rara. Já para os surdos, 75% acredita que a frequência em que ouvintes utilizam os aplicativos é de ocasional ou frequente, enquanto os demais 25% opina que tal utilização não ocorre ou ocorre raramente.

Sobre a qualidade dos aplicativos de tradução automática, conforme ilustrado na Figura 6.4, apenas 15% acredita que a tradução é boa, enquanto 85% avalia a qualidade

2) Em relação à frequência de uso desses aplicativos pelos surdos, você considera:

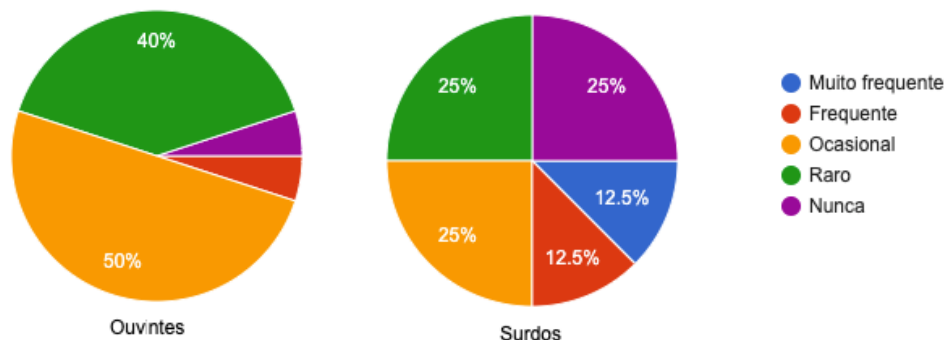


Figura 6.2: Percentual que acredita que os aplicativos de tradução automática são utilizados pelos surdos.

3) Em relação à frequência de uso desses aplicativos pelos ouvintes, você considera:

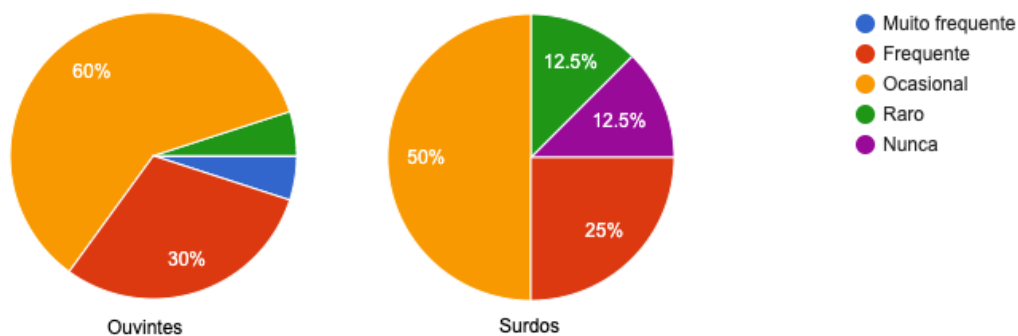


Figura 6.3: Percentual que acredita que os aplicativos de tradução automática são utilizados pelos ouvintes.

de regular a muito ruim. Em contraste, 75% dos surdos definem que a qualidade dos aplicativos é de boa a regular, enquanto apenas 25% o consideram muito ruins.

A respeito do desempenho dos aplicativos de tradução, os problemas mais comuns apontados pelos intérpretes são a ausência de sinais e o uso incorreto de sinais em situações em que as palavras são escritas da mesma forma, mas possuem significados diferentes (Figura 6.5). Já para os surdos, conforme ilustra a Figura 6.6, o maior problema está relacionado à ordenação em que as palavras são sinalizadas, seguido das situações em que palavras iguais com significados diferentes são traduzidas de forma incorreta.

Embora o problema de representação verbal, foco deste trabalho, não seja o mais comum, ainda assim é objeto de melhoria em tradutores automáticos, pois para 35% dos intérpretes e 25% dos surdos é um erro apresentado nestes aplicativos. Prova disso são os dados apresentados na Figura 6.7, que mostra que 75% tanto dos intérpretes quanto dos surdos acreditam que o Portolibras apresentou melhoras na tradução automática de textos gerados pelo VLibras. Por fim, 25% dos intérpretes e surdos não concordaram nem

4) Em relação à tradução desses aplicativos, você considera:

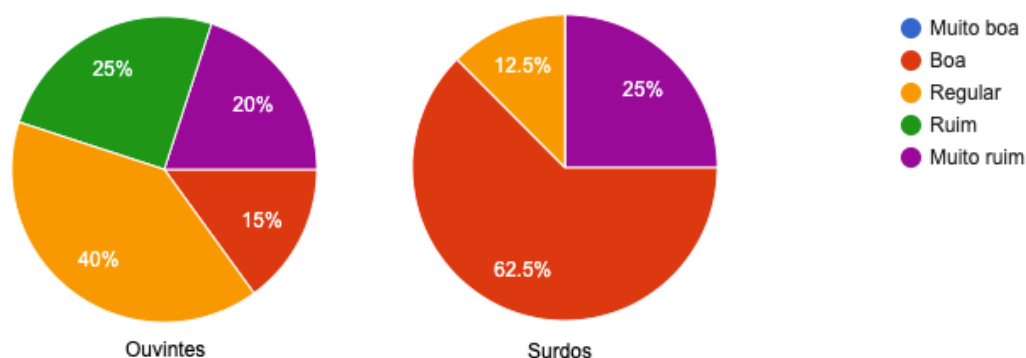


Figura 6.4: Percentual sobre a qualidade da tradução que os aplicativos de tradução automática apresentam.

5) Em relação ao desempenho dos aplicativos existentes, selecione os erros de tradução mais comuns:

20 respostas

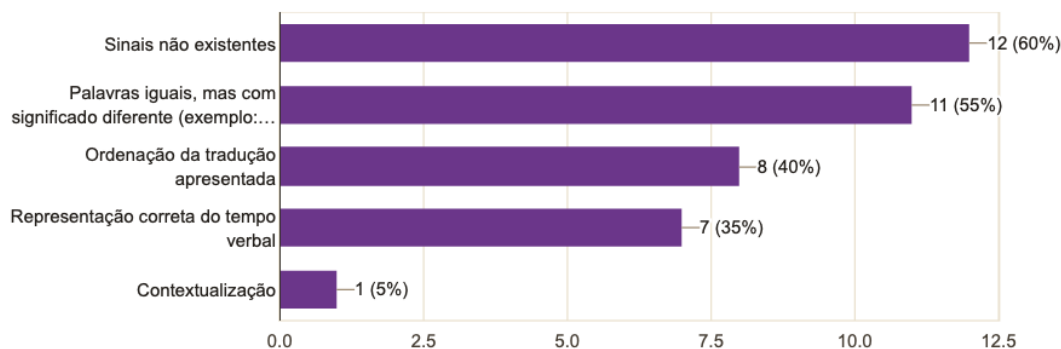


Figura 6.5: Problemas de tradução que os intérpretes consideram mais comuns em aplicativos de tradução automática.

discordaram com o efeito do Portolibras.

Entretanto é importante frisar a participação dos surdos nesta etapa do processo. Como abordado anteriormente, a estrutura gramatical da Libras pode apresentar variações em comparação ao Português. Assim sendo, tendo em vista o conteúdo em Português das questões apresentadas, é considerada uma possível falta de compreensão por parte dos surdos desde o enunciado da questão. Sem um entendimento do texto original, e assim reconhecer o significado dele, é impossível realizar uma comparação com a interpretação do texto aprimorado a fim de avaliar o sistema.

Ainda, no formulário de avaliação, são disponibilizados campos para que os usuários informem exemplos de frases que apresentam erros na tradução e possíveis comentários. Do conjunto total de participantes, apenas 4 responderam a respeito de frases interpretadas erroneamente. A seguir, serão discutidas as frases em questão.

A primeira frase apontada trata-se do exemplo "A menina fica brava". Tal frase foi

5) Em relação ao desempenho dos aplicativos existentes, selecione os erros de tradução mais comuns:

8 respostas

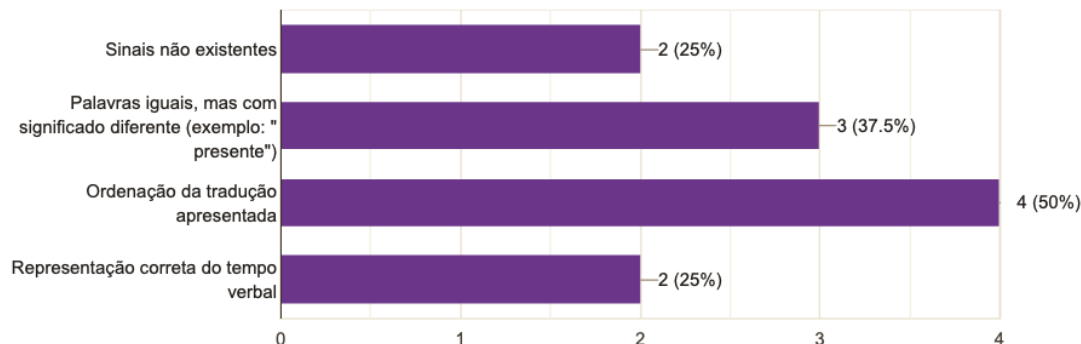


Figura 6.6: Problemas de tradução que os surdos consideram mais comuns em aplicativos de tradução automática.

6) Após os testes realizados no Portolibras, pode-se considerar que o sistema apresentou uma melhora na tradução.

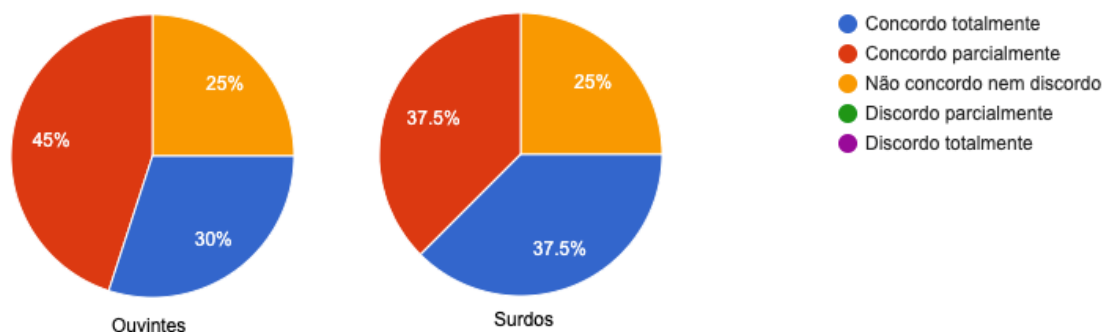


Figura 6.7: Percentual sobre a qualidade da tradução do texto gerado pelo Portolibras.

submetida ao Portolibras e verificou-se que não a tradução não apresenta erros e que não há modificações por parte do sistema, isto é, o texto original e o aprimorado são iguais.

A seguir, foi avaliada a frase sugerida "Julia e o irmão saíram da escola". Nesta frase, o sistema identifica que o verbo está no passado e que não possui nenhum advérbio de tempo na frase. Logo, é adicionado um sinal que indica o tempo passado. Concluiu-se, dessa forma, que o tradutor realiza a tradução, e mesmo com a indicação correta do tempo verbal, há problemas de ordenação na tradução.

Outro texto a ser discutido é a pergunta "Vamos assistir o concerto hoje a noite?". Neste caso, o sistema não identifica que são necessárias alterações no texto, tendo em vista que não há verbos conjugados nos tempos verbais que gerem inserções de sinais. Soma-se a isso o fato de que o VLibras realiza a tradução soletrando o verbo concertar, pois este não consta sua base de dados.

Por fim, foi avaliada a frase "Nesta pandemia todos ficaram em casa". Para o caso específico, o sistema identifica que o verbo encontra-se no passado, mas não encontra um

advérbio de tempo na frase e então realiza a inserção de um sinal para passado. Ademais, o avatar realiza a tradução sem a ordenação ideal, mas corrige o tempo verbal. Ainda, na tradução da frase original, o avatar realiza sinaliza a palavra "casa" duas vezes, enquanto na tradução aprimorada tal erro de duplicação de sinais não ocorre.

Após os resultados obtidos tanto no que tange ao uso da ferramenta desenvolvida quanto ao formulário de avaliação, serão apresentadas as considerações finais, conteúdo referente ao Capítulo 7.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir este trabalho, importantes impressões e aprendizados foram adquiridos. Acredita-se que o principal objetivo do trabalho, em desenvolver um sistema capaz de alterar um texto em português a fim de obter uma melhor interpretação em Libras por meio do uso aplicativos de tradução automática, foi atingido com o Portolibras.

No que tange à evolução e aprendizado individual do autor, o desenvolvimento do projeto mostrou-se como uma grande oportunidade, trazendo à luz problemáticas que são comuns durante o processo de implementação de *software*. Sendo assim, o desenvolvimento deste pode ser considerado uma experiência extremamente enriquecedora em diversas áreas de atuação como, por exemplo, banco de dados, modelagem de sistemas, criação de interfaces de usuário, arquitetura de sistemas e demais tecnologias e ferramentas utilizadas.

Um importante fator a ser destacado é que a avaliação do sistema foi realizada por surdos e ouvintes de várias regiões do Brasil. Observa-se, ainda, que embora as limitações dos aplicativos de tradução atuais sejam conhecidas, estes foram amplamente considerados ferramentas importantes e que potencializam a comunicação entre surdos e ouvintes. Em outras palavras, é possível afirmar que: por mais que tais aplicativos apresentem problemas nas interpretações geradas, ainda são vistos com grande potencial.

Durante a realização das avaliações, percebeu-se o quanto importante é qualquer mínimo esforço realizado para que os surdos tenham um acesso melhor à comunicação e compreensão do mundo e quanto grandes são as dificuldades que enfrentam.

Por fim, durante a realização das avaliações por parte dos surdos e ouvintes, diversas dificuldades foram encontradas, tanto em relação ao uso do sistema quanto à divulgação da pesquisa. Entretanto, a mais difícil de lidar foi percepção de que os surdos vivem em um mundo que não os compreende.

7.1 Trabalhos Futuros

Entende-se que o trabalho desenvolvido e apresentado possui margem para melhorias e adições de novas funcionalidades, tais como:

- Novas regras: desenvolvimento de novas regras que contemplem casos mais complexos e específicos e que sejam aplicadas no texto a fim de resultar em novas melhorias na tradução;
- Interpretador próprio: uma grande adição ao sistema seria o desenvolvimento de um tradutor automático próprio, que permitisse a resolução de diversos dos problemas encontrados, tais como: ordenação da estrutura do texto ou sinais não existentes no banco de dados;

- Sinais corretos para a interpretação: implementar no sistema utilizado para a avaliação uma ferramenta para que o usuário informe o que ele considera ser a interpretação correta;
- Regionalização de sinais: diversas vezes, sinais utilizados em determinada região não são utilizados em outra ou são substituídos por outros sinais. Portanto, sugere-se o desenvolvimento de um sistema que selecione os sinais conforme são empregados na região em questão;
- Formato aplicativo: tendo desenvolvido um interpretador próprio, pode ser realizada a implementação de uma versão do sistema de avaliação que rode e possa ser utilizada em celulares em formato de aplicativo;
- Expressões faciais: implementação de tradutor que reproduza expressões faciais baseadas no sentimento encontrado em um texto de entrada.

REFERÊNCIAS

ACESSIBILIDADE, C. T. de. **Conheça o VLibras e aprenda como utilizá-lo no Google Chrome.** Disponível em <https://cta.ifrs.edu.br/conheca-o-vlibras-e-aprenda-como-utiliza-lo-no-google-chrome/>. Acesso em 06/2021.

AFONSO, A. **O que é Spring Boot?** Disponível em <https://blog.algaworks.com/spring-boot/>. Acesso em 06/2021.

ALPAYDIN, E. **Introduction to machine learning.** 3.ed. London: MIT press, 2009.

ARCAN, M.; GIULIANO, C.; TURCHI, M.; BUITELAAR, P. Identification of Bilingual Terms from Monolingual Documents for Statistical Machine Translation. **4th International Workshop on Computational Terminology**, 2014.

BAHDANAU, D.; CHO, K.; BENGIO, Y. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate. **ArXiv**, v.1409, 09 2014.

BEGGIORA, H. **Intérprete de libras no celular:** saiba como usar o app hand talk. Disponível em <https://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/2019/05/interprete-de-libras-no-celular-saiba-como-usar-o-app-hand-talk.ghml>. Acesso em 06/2020.

BENTIVOGLI, L.; BISAZZA, A.; CETTOLO, M.; FEDERICO, M. Neural versus PhraseBased Machine Translation Quality a case study. **Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing**, 08 2016.

BERNARDO, K. **Hand Talk, a startup de Alagoas que está ajudando os surdos brasileiros se comunicarem com o mundo.** Disponível em <https://www.projetodraft.com/hand-talk-a-startup-de-alagoas-que-esta-ajudando-os-surdos-brasileiros-se-comunicarem-com-o-mundo/>. Acesso em 06/2020.

BRASIL. Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2002.

BROWN, P.; COCKE, J.; DELLA PIETRA, S.; DELLAPIETRA, V.; JELINEK, F.; LAFERTY, J.; MERCER, R.; ROOSSIN, P. A Statistical Approach To Machine Translation. **Computational Linguistics**, v.16, 07 2002.

CASELI, H. Tradução Automática: estratégias e limitações. **Domínios de Linguagem**, v.11, p.1782, 12 2017.

CHAROENPORNSAWAT, P.; SORNLERLAMVANICH, V.; CHAROENPORN, T. Improving Translation Quality of Rule-based Machine Translation. **COLING Workshop on Machine translation in Asia**, 02 2003.

CHO, K.; MERRIËNBOER, B. van; BAHDANAU, D.; BENGIO, Y. On the Properties of Neural Machine Translation: encoder-decoder approaches. **Eighth Workshop on Syntax, Semantics and Structure in Statistical Translation**, 09 2014.

CLARK, J. **O que é o Heroku?** <https://blog.back4app.com/pt/o-que-e-o-heroku/>.

CLOUD, G. **Natural Language**. Disponível em <https://cloud.google.com/natural-language/?hl=pt-br>. Acesso em 06/2020.

CORDEIRO, A. H. D. N. **Apache Jena**. Disponível em <https://www.cin.ufpe.br/~in1099/132/Apache%20Jena.pdf>. Acesso em 06/2020.

DEPUTADOS, C. dos. **Projeto VLibras**. Disponível em <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/gestao-na-camara-dos-deputados/responsabilidade-social-e-ambiental/acessibilidade/acessivel-em-libras-1>. Acesso em 06/2020.

DORR, B. J.; JORDAN, P. W.; BENOIT, J. W. **A Survey of Current Paradigms in Machine Translation**. United States of America: Academic Press, 1999. v.49.

FEDERAL, G. **VLibras - Tradutor Libras em Software Livre**. Disponível em https://www.governodigital.gov.br/servicos/copy_of_observatorio/boas-praticas/vlibras-tradutor-libras-em-software-livre. Acesso em 06/2020.

GUPTA, A. **Marathi-to-English-Machine-Translation-for-Simple-Sentences**. Disponível em <https://github.com/adeshgupta/Marathi-to-English-Machine-Translation-for-Simple-Sentences>. Acesso em 06/2020.

HOVY, E.; NIRENBURG, S. Approximatim An Interlingua In a Principled Way. **Association for Computational Linguistics**, New York, p.23–26, February 1992.

HUTCHINS, J. **The history of machine translation in a nutshell**. Disponível em <http://hutchinsweb.me.uk/Nutshell-2005.pdf>. Acesso em 06/2020.

JENA, A. **ARQ - A SPARQL Processor for Jena**. Disponível em <https://jena.apache.org/documentation/query/>. Acesso em 06/2020.

KOEHN, P. **Statistical Machine Translation**. 3.ed. New York: Cambridge University Press, 2010.

KOEHN, P.; OCH, F.; MARCU, D. Statistical Phrase-Based Translation. **Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics on Human Language Technology**, v.1, 01 2003.

KRIEGER, M.; PALOMO, V. TRALP - Tradução Libras Português Implementada por Software em Dispositivos Móveis. **Internal Research Reports - Departamento de Engenharia Elétrica**, v.50, 09 2016.

KUBAT, M. **An Introduction to Machine Learning**. Coral Gables: Springer, 2017. 291p.

LANGUAGE, S. B. **What is Machine Translation? Rule Based Machine Translation vs. Statistical Machine Translation.** Disponível em <https://www.systransoft.com/systran/translation-technology/what-is-machine-translation/>. Acesso em 06/2020.

LINGUATECA. **WebJspell - Acerca do Jspell.** Disponível em <https://natura.di.uminho.pt/webjspell/jsol.pl>. Acesso em 06/2020.

LUONG, M.-T.; PHAM, H.; MANNING, C. Effective Approaches to Attention-based Neural Machine Translation. **Association for Computational Linguistics**, 08 2015.

MACHADO, F. T. Desenvolvendo um Sistema Especialista baseado em regras para resolução de problemas na conexão de Internet no Software ExpertSinta. **Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões**, 2012.

MENDES, R. D. Inteligência Artificial: sistemas especialistas no gerenciamento da informação. **Ciência da Informação**, v.26, 1997.

NAIR, S. S. Statistical Vs Rule Based Machine Translation: a case study on indian language perspective. **Springer**, 08 2017.

NEWMAN, S. **Building Microservices**. [S.l.]: O'Reilly Media, 2021.

OCH, F. J. **Statistical Machine Translation: from single-word models to alignment templates.** Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Disponível em http://sylvester.bth.rwth-aachen.de/dissertationen/2003/059/03_059.pdf. Acesso em 06/2020.

OKPOR, M. D. Machine Translation Approaches: issues and challenges. **IJCSI International Journal of Computer Science Issues**, v.11, p.159–165, 09 2014.

PAPINENI, K.; ROUKOS, S.; WARD, T.; ZHU, W. J. BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation. **40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics**, 10 2002.

QUADROS, R. M. de; KARNOPP, L. B. **Língua de sinais brasileira: estudos lingüísticos**. 1.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ROCHA, V. **Aplicativo Hand Talk já traduziu 100 mil páginas do TNH1 para libras.** Disponível em <https://web.archive.org/web/20140428133817/http://tnh1.ne10.uol.com.br/noticia/tecnologia/2014/04/26/296447/aplicativo-hand-talk-ja-traduziu-100-mil-paginas-do-tnh1-para-libras>. Acesso em 06/2020.

ROSSALLI, B. **Spring Boot: como começar.** Disponível em <https://www.zup.com.br/blog/spring-boot>. Acesso em 06/2021.

RYBENA. **Rybená - Sobre.** Disponível em <http://portal.rybena.com.br/site-rybena/sobre.html>. Acesso em 06/2020.

SENNRICH, R.; HADDOW, B.; BIRCH, A. Improving Neural Machine Translation Models with Monolingual Data. **Association for Computational Linguistics**, p.86–96, 01 2016.

SHIRAI, S.; TAKAHASHI, Y. A Hybrid Rule and Example-Based Method for Machine Translation. **Springer Netherlands**, v.21, 03 2001.

SOUSA, L. **Acessibilidade em Libras e voz (Rybená WEB)**. Disponível em <https://facilitandoacessibilidade.wordpress.com/2015/04/22/acessibilidade-em-libras-e-voz-rybena-web/>. Acesso em 06/2021.

SU, M.-C. A fuzzy rule-based approach to spatio-temporal hand gesture recognition. **Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on**, v.30, p.276 – 281, 06 2000.

SURWASE, V. REST API Modeling Languages - A Developer's Perspective. **IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering**, v.2, 4 2016.

TALK, H. **Hand Talk - Acessibilidade em Libras**. Disponível em <https://www.handtalk.me/Home>. Acesso em 06/2021.

TRIPATHI, S.; SARKHEL, J. Approaches to machine translation. **Annals of Library and Information Studies**, v.57, p.388–393, 01 2011.

TU, Z.; LU, Z.; LIU, Y.; LIU, X.; LI, H. Modeling Coverage for Neural Machine Translation. **54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)**, p.76–85, 01 2016.

VILELA, R. WebJspell, an online morphological analyser and spell checker. **Procesamiento del lenguaje natural**, p.291–292, 01 2007.

VLIBRAS. **VLibras - Como funciona?** Disponível em <https://www.vlibras.gov.br/#comofunciona>. Acesso em 06/2021.

WHITE, J. S. Computers and Translation: a translator's guide. **System** 32, p.211–244, 05 2003.

WOJK, K.; MARASEK, K. Neural-based Machine Translation for Medical Text Domain. Based on European Medicines Agency Leaflet Texts. **Procedia Computer Science**, v.64, p.2–9, 09 2015.

ZENS, R.; OCH, F.; NEY, H. Phrase-Based Statistical Machine Translation. **Lecture Notes in Computer Science**, p.18–32, 09 2002.

APÊNDICE A RESULTADOS GRÁFICOS DOS TESTES REALIZADOS NO PORTOLIBRAS

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 1: Viajarei para a Argentina pois estou planejando me mudar

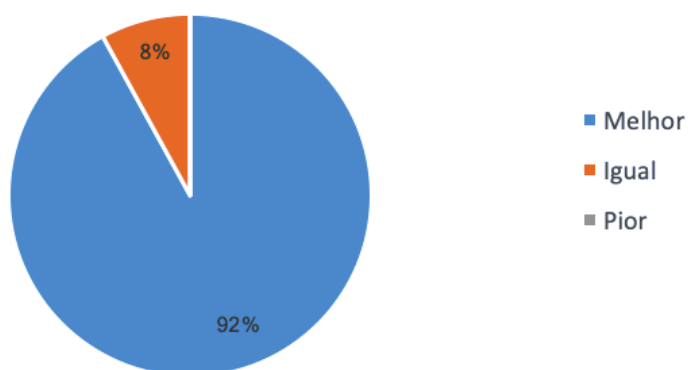


Figura A.1: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 1.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 2: Como meu próximo carro, comprarei um Fusca

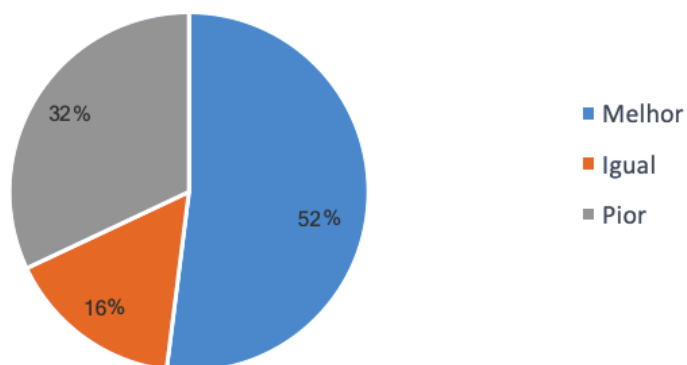


Figura A.2: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 2.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 3: Cantávamos todas as noites ao redor da fogueira

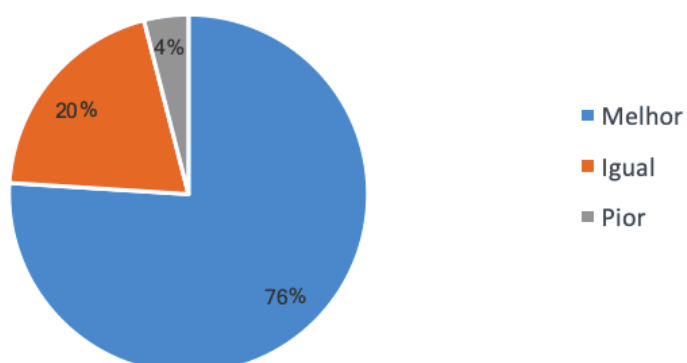


Figura A.3: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 3.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 4: Sabíamos como a vida seria difícil

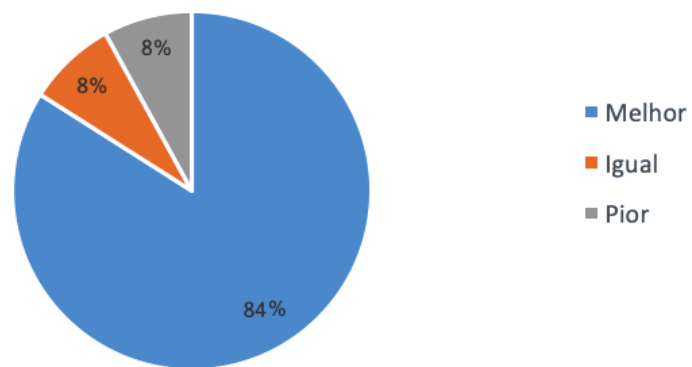


Figura A.4: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 4.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 5: Em três dias, estarei colhendo morangos

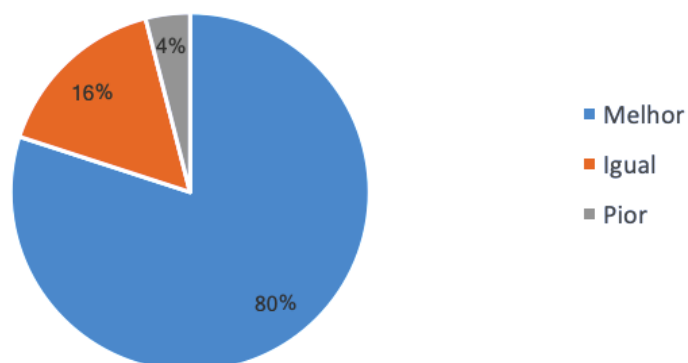


Figura A.5: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 5.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 6: Há dois meses, estava procurando uma casa

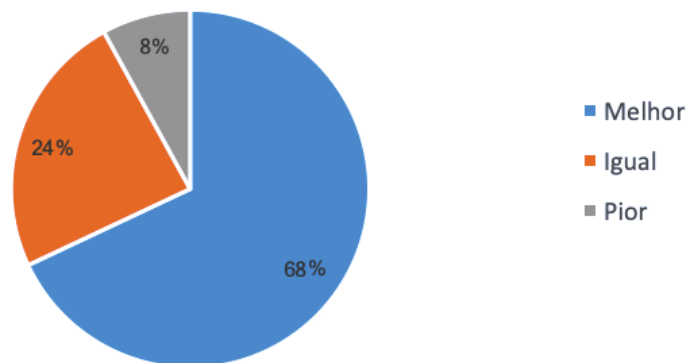


Figura A.6: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 6.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 7: Um dia, comprarei uma casa para meu pai

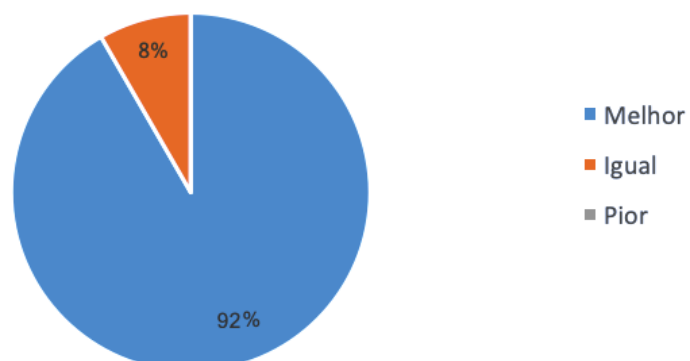


Figura A.7: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 7.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 8: Meu primeiro carro será um Fusca

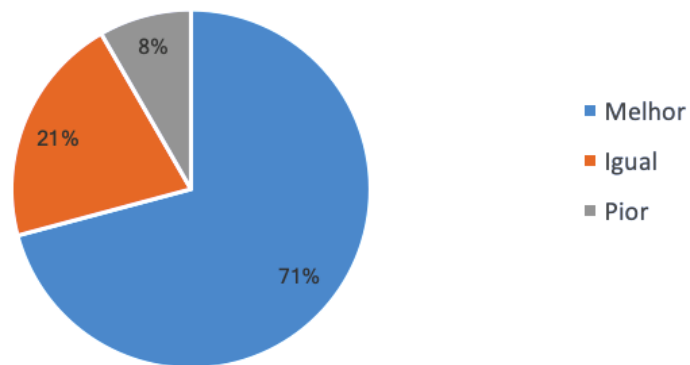


Figura A.8: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 8.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 9: Eu chorava quando lembrava do meu avô

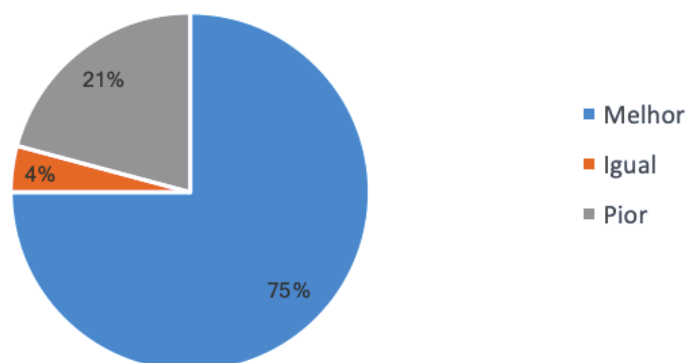


Figura A.9: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 9.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 10: Nós pulávamos corda o dia inteiro

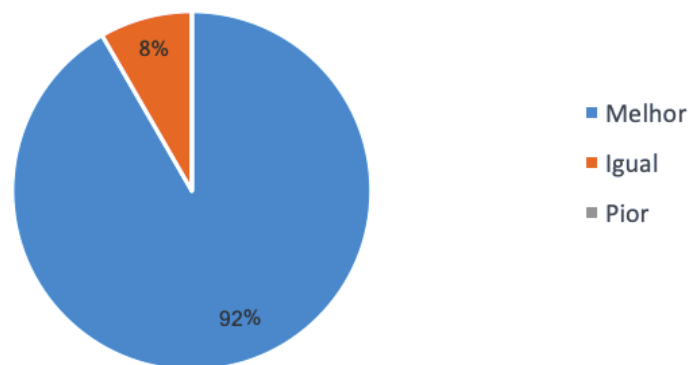


Figura A.10: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 10.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 11: Minha filha comprará um par de meias verdes para o natal

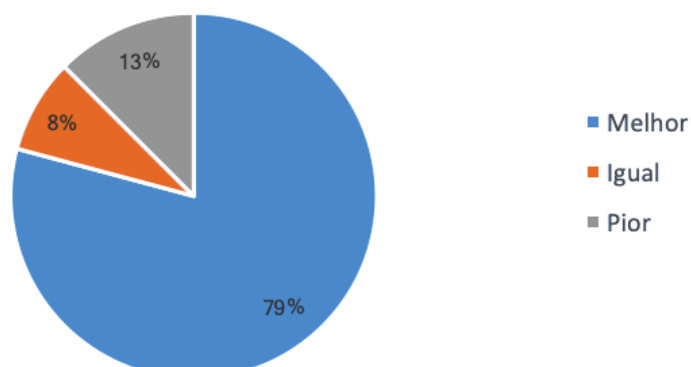


Figura A.11: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 11.

Qualidade da Interpretação do Texto Aprimorado
Frase 12: Pensávamos que teria valido a pena

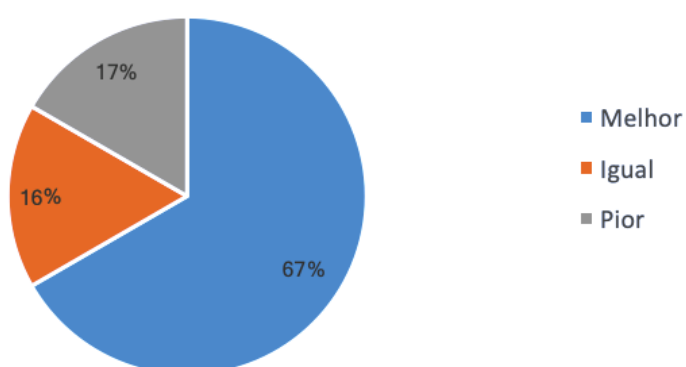


Figura A.12: Classificação dos usuários que testaram o sistema para a Frase 12.

APÊNDICE B FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO

Pesquisa de opinião

Você está participando de uma análise para o Sistema Portolibras, como TCC do curso de TADS.

O objetivo deste trabalho é de aprimorar o desempenho da tradução obtida por meio de aplicativos de tradução de português para LIBRAS.

Os dados serão preservados a fim de avaliação e a sua identificação será preservada.

Para maiores informações, o contato pode ser realizado pelo endereço de e-mail: israelduarte@gmail.com

* Required

Nome: *

Your answer _____

Função: *

Intérprete

Surdo

Other: _____

Estou ciente de que minhas informações serão utilizadas apenas para fins de pesquisa e análise e que minha privacidade será resguardada. *

Concordo

Figura B.1: Parte 1/5 do Formulário de avaliação, criado para a pesquisa de opinião.

1) Os aplicativos de tradução automática (exemplo: Handtalk, VLIBRAS) ajudam na comunicação com surdos. Quanto a essa afirmação, você: *

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

2) Em relação à frequência de uso desses aplicativos pelos surdos, você considera: *

- Muito frequente
- Frequente
- Ocasional
- Raro
- Nunca

Figura B.2: Parte 2/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.

3) Em relação à frequência de uso desses aplicativos pelos ouvintes, você considera: *

- Muito frequente
- Frequente
- Ocasional
- Raro
- Nunca

4) Em relação à tradução desses aplicativos, você considera: *

- Muito boa
- Boa
- Regular
- Ruim
- Muito ruim

Figura B.3: Parte 3/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.

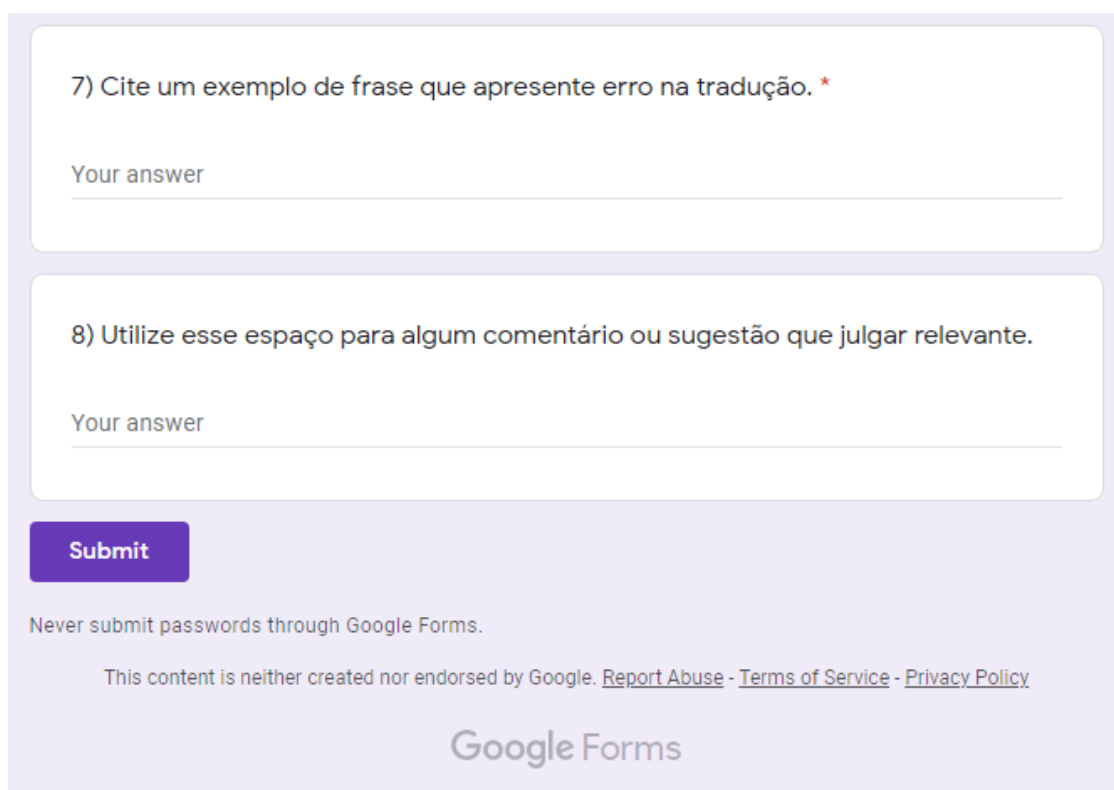
5) Em relação ao desempenho dos aplicativos existentes, selecione os erros de tradução mais comuns: *

- Sinais não existentes
- Palavras iguais, mas com significado diferente (exemplo: "presente")
- Ordenação da tradução apresentada
- Representação correta do tempo verbal
- Other: _____

6) Após os testes realizados no Portolibras, pode-se considerar que o sistema apresentou uma melhora na tradução. *

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Não concordo nem discordo
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

Figura B.4: Parte 4/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.



7) Cite um exemplo de frase que apresente erro na tradução. *

Your answer

8) Utilize esse espaço para algum comentário ou sugestão que julgar relevante.

Your answer

Submit

Never submit passwords through Google Forms.

This content is neither created nor endorsed by Google. [Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Privacy Policy](#)

Google Forms

Figura B.5: Parte 5/5 do Formulário de avaliação criado para a pesquisa de opinião.