



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Bacharelado em Engenharia da Computação
Trabalho de Graduação

Um Algoritmo Baseado em Papéis Semânticos para a Predição de Palavras no Contexto de Comunicação Aumentativa e Alternativa

Mateus Nunes de Barros Magalhães

Recife, Dezembro de 2018

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Bacharelado em Engenharia da Computação
Trabalho de Graduação

Um Algoritmo Baseado em Papéis Semânticos para a Predição de Palavras no Contexto de Comunicação Aumentativa e Alternativa

Trabalho apresentado ao Programa de Bacharelado em Engenharia da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação.

Autor: Mateus Nunes de Barros Magalhães
Orientador: Robson do Nascimento Fidalgo
Área: Computação Assistiva

Recife, Dezembro de 2018

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática

Bacharelado em Engenharia da Computação
Trabalho de Graduação

Um Algoritmo Baseado em Papéis Semânticos para a Predição de Palavras no Contexto de Comunicação Aumentativa e Alternativa

Monografia submetida ao corpo docente da Universidade Federal de Pernambuco.
Defendida e aprovada em 11 de Dezembro de 2018, às 8:40h no Auditório do CIn.

Dr. Robson do Nascimento Fidalgo
Orientador

Dr. Frederico Luiz Gonçalves de Freitas
Examinador

Recife, Dezembro de 2018

Time you enjoy wasting is not wasted time.

— MARTHE TROLY-CURTIN

Agradecimentos

Agradeço a minha família por todo o suporte, paciência, compreensão e incentivo ao longo de todos esses anos em que pude me dedicar exclusivamente aos estudos. Agradeço a todos os que foram meus professores e contribuíram com minha educação através da excelência no ensino. Aos meus amigos Adonias, Andrea, Renato e Rodolfo por estarem sempre presentes nos momentos em que precisei de ajuda e companhia. Expresso, ainda, gratidão ao meu orientador Robson Fidalgo e a Natália Franco por todos os auxílios prestados e pela confiança depositada em meu trabalho.

Resumo

Aplicações móveis destinadas a comunicação aumentativa e alternativa tem o potencial de melhorar expressivamente a vida de pessoas que possuam deficiências de comunicação, garantindo-lhes oportunidade de se comunicar com mais facilidade e naturalidade. Em contrapartida, uma grande parcela dos aplicativos disponíveis na atualidade é baseado nas pranchas de comunicação com figuras, as quais, pecam ao exigir que o usuário navegue por múltiplas categorias e visualize várias palavras antes de realizar a escolha desejada. Outro ponto negativo é que o usuário tem a liberdade para construir orações semanticamente incorretas, visto que, nenhum fluxo de controle é empregado para resolver tal problema. Buscamos propor um algoritmo de predição baseado em papéis semânticos que mitigue os problemas mencionados, forneça mecanismos para ensinar novas palavras e seja capaz de introduzir diversidade para fomentar a expansão do vocabulário. Construímos uma prancha de comunicação assistiva para a avaliação automática do algoritmo, aferindo a redução do tempo gasto e o número de cliques necessários para a construção de um conjunto de frases. O uso da predição introduziu alguns méritos quando avaliada sobre tais parâmetros, no entanto, se faz notória a necessidade de sofisticar os métodos de predição e as interfaces das pranchas de comunicação.

Palavras-chave: computação assistiva, pranchas de comunicação, predição, colorful semantics.

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Contexto	11
1.2	Motivação	12
1.3	Objetivos	13
1.4	Estrutura do Documento	13
2	Bases Teóricas	14
2.1	Pranchas de Comunicação Assistiva	14
2.2	Predição	16
2.3	Métodos de Predição	18
2.4	Coleta de Dados Automática	20
2.5	Colorful Semantics	23
3	Algoritmo	25
4	Experimentos e Resultados	30
5	Conclusão	34
5.1	Considerações Finais	34
5.2	Trabalhos Futuros	34
6	Bibliografia	35

Lista de Figuras

- Figura 1. Esquerda: Diversos modelos de pranchas de comunicação assistiva projetadas em papel. Direita: Exemplo de interface gráfica utilizada por pranchas digitais. 15
- Figura 2. Exemplo de uso do Colorful Semantics com cartões de comunicação impressos. O usuário seleciona um cartão por vez, seguindo a ordem pré-estabelecida das perguntas. 24
- Figura 3. Quatro telas da prancha de comunicação assistiva desenvolvida, da esquerda para a direita: Lista com o vocabulário do usuário, lista de predições, opções de manipulação do texto e opções de controle do algoritmo (quais fontes incluir na predição). 31

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Sistema de Codificação do Colorful Semantics, primeiros quatro níveis.	23
Tabela 2.	Bases textuais utilizados nos experimentos.	31
Tabela 3.	Frases selecionadas para a realização dos testes e em quais fontes estão presentes.	32
Tabela 4.	Comparativo dos resultados obtidos pelo aplicativo, com e sem predição.	33
Tabela 5.	Comparativo dos resultados obtidos quando consideradas as penalidades de tempo.	33

Lista de Quadros

- | | | |
|-----------|---|----|
| Quadro 1. | Pseudo-código que implementa o método responsável por calcular as estatísticas de ocorrência de cada palavra presente nas bases de dados. | 27 |
| Quadro 2. | Pseudo-código que implementa a classificação de palavras de acordo com a parte do discurso que estando associadas. | 28 |
| Quadro 3. | Pseudo-código que representa uma implementação da função responsável por determinar as palavras com maior probabilidade de serem escolhidas pelo usuário e que mantenham a estrutura semântica correta. | 29 |

1. Introdução

1.1. Contexto

A área de pesquisa e desenvolvimento associada com comunicação aumentativa e alternativa agrega esforços no aprimoramento de todas as formas de comunicação não verbal. Busca ajudar pessoas sem fala, sem escrita funcional ou com demais problemas que as impeçam de atender suas demandas de comunicação sem qualquer auxílio externo [1]. Comunicação deficitária impõe obstáculos severos na interação com pessoas, convívio em sociedade, no desenvolvimento social e cognitivo. Quando tais impedimentos se fazem presentes durante as fases da infância e adolescência, as consequências podem causar impactos negativos irreversíveis no resto da vida de um indivíduo.

Algumas das condições especiais que podem vir a implicar em comunicação deficitária são paralisia cerebral, autismo, deficiência cognitiva, lesão cerebral adquirida, afasia após acidente vascular cerebral, demência, esclerose lateral amiotrófica, esclerose múltipla e doença de Parkinson [2]. Uma podem estar presentes desde o nascimento e outras podem ser adquiridas ao longo da vida. Todos os humanos estão sujeitos a ter deficiências na comunicação, ainda que, comumente, associemos tais problemas a condições inatas de cada indivíduo. Dado que a deficiência exista, as principais características individuais que observamos atreladas a dificuldades de comunicação são problemas na fala, problemas na audição, incapacidade de compreender linguagem falada, inabilidades cognitivas e dificuldades motoras. Elas podem existir isoladamente ou em conjunto.

A condição causadora de comunicação deficitária pode não possuir tratamento clínico eficaz o suficiente a ponto promover a cura e reverter quadros maléficos adquiridos, logo, muitos indivíduos são submetidos a tratamentos paliativos que buscam diminuir os impactos negativos em suas vidas. Tais tratamentos podem perdurar durante a vida inteira da pessoa. Eles buscam ajudar no desenvolvimento das habilidades de comunicação ajustadas aos fatores limitantes presentes. Uma parte importante é desenvolver estratégias de enfrentamento e opções alternativas de comunicação, compensando os momentos em que suas habilidades de comunicação são insuficientes [3]. Além disso, é necessário preparar essas pessoas para lidar com as dificuldades que serão impostas no mundo real, visto que, a conjuntura da sociedade atual não está preparada para acomodá-las.

Inúmeras ferramentas e métodos de ensino foram desenvolvidos para auxiliar no tratamento de pessoas com dificuldade de comunicação e aprendizagem, primariamente, durante as fases da infância e adolescência. São utilizados cartões de comunicação, pranchas de comunicação com figuras e pranchas de comunicação alfabética como meios para dar suporte a comunicação e, conseqüentemente, ao ensino.

Tais ferramentas acompanharam o desenvolvimento do mercado de aplicações móveis, ganhando versões digitais para smartphones e tablets. Benefícios advieram dessa migração, mas grande parte das aplicações [4, 5] implementam fluxos de uso similares, portanto, atendem a um grupo específico de usuários. Elas reproduzem a experiência de uso das pranchas de comunicação com figuras, nas quais, pictogramas são rotulados, categorizados e depois dispostos em várias folhas de papel. Esse mecanismo peca ao impor que o usuário navegue entre múltiplas categorias e visualize vários pictogramas antes que possa escolher uma palavra desejada. Outro ponto falho é a falta de controle na construção de frases, ou seja, o usuário pode omitir verbos e outros elementos gramaticais enquanto forma as orações.

Soluções baseadas na predição de palavras [6, 7, 8] foram propostas para facilitar a inserção de texto em aplicações de comunicação assistiva, por extensão, tornando a comunicação mais fluida e natural. Não encontramos estudos que investigassem o uso de predição como agente facilitador para a escolha de pictogramas em pranchas de comunicação com figuras. No entanto, é fato que a redução do número de cliques necessários para a escolha de uma palavra implica na redução do tempo gasto para a composição de uma frase. Assim, abordemos o estudo de um mecanismo de predição como forma de melhorar a experiência de uso das pranchas de comunicação digitais.

O segundo problema supramencionado, a omissão de verbos e outros elementos gramaticais pode ser correlacionado com fluxo de seleção de palavras permitido pelas aplicações. O usuário tem liberdade para escolher qualquer palavra do vocabulário em qualquer ordem que desejar. O estudo conduzido por Bolderson et al. [9] investigou o uso do método Colourful Semantics [10] como mecanismo para estruturar a geração de sentenças, por extensão, remediando a omissão de elementos gramaticais. Devido aos resultados promissores do Colourful Semantics, também, iremos abordá-lo neste estudo, dando suporte adicional aos métodos de predição que serão investigados.

1.2. Motivação

Para muitas pessoas, a habilidade de se comunicar é uma parte tão integral da vida que talvez elas não parem para apreciar seu valor ao permitir a comunicação com outros e a condução de suas vidas harmonicamente em sociedade. É fácil assumir que seremos capazes de nos comunicarmos quando, onde e com quem desejarmos. Infelizmente, nem todos tem essa facilidade. No entanto, para as pessoas com tais dificuldades, a comunicação assistiva e aumentativa pode significar a diferença entre uma vida em silêncio, isolamento e dependência e uma vida feliz que seja partilhada com familiares, amigos e todas as demais pessoas que podemos interagir ao longo de nossas existências.

Dificuldades severas na comunicação podem afetar todos os aspectos da vida de um indivíduo. Desde a percepção de si próprio, independência, educação, acesso a saúde e todas as outras atividades rotineiras que conduzimos ao longo de nossas vidas. Coisas que para as pessoas sem tais dificuldades, são tidas como banais. Mais importante ainda, esses impactos podem ser reduzidos significativamente se os tratamentos adequados foram aplicados e essas pessoas receberem o ferramental necessário para quebrar quaisquer barreiras existentes.

Os dois parágrafos acima foram adaptados de [11]. Os textos originais, sintetizados neste trabalho, abordam alguns aspectos humanos envolvidos na comunicação, retratando as intempéries vividas por pessoas com dificuldades de comunicação. A informação mais importante que devemos atentar, é que toda essas dificuldades podem ser minimizadas por meio da conscientização, tratamento e desenvolvimento de ferramentas de comunicação. No tocante as ferramentas, constatamos que a evolução das soluções tecnológicas para a comunicação assistiva não acompanhou outros desenvolvimentos na área de computação. Buscamos, assim, contribuir para esta área tão importante que, infelizmente, não tem ganhado a notoriedade devida.

Outra observação importante que foi decisiva na escolha desta linha de pesquisa é a constatação de que antes dos dispositivos tecnológicos surgirem, a predição já era utilizada com sucesso na comunicação com pessoas deficitárias. Os próprios familiares ou profissionais de saúde que possuíam afinidade com o indivíduo eram capazes de antever o que o mesmo estava tentando falar, através do conhecimento do contexto em que a interação se dava e de experiências prévias que os interlocutores tinham tido. Isso indica que algoritmos de predição que consigam capturar tais comportamentos, tem grandes chances de sucesso.

1.3. Objetivos

Este trabalho almeja o estudo, desenvolvimento e avaliação de um algoritmo de predição baseado em papéis semânticos que possa ser utilizado na construção de pranchas de comunicação assistiva digitais. Tal mecanismo deverá ser capaz de facilitar o entendimento do ferramental tecnológico por parte do usuário, diminuir o tempo de busca por palavras do vocabulário, contribuir para a construção de frases corretas do ponto de vista semântico e introduzir meios para a expansão do vocabulário do usuário.

1.4. Estrutura do Documento

Fornecidas as devidas informações introdutórias, iremos apresentar um apurado de alguns trabalhos científicos que tratam de tecnologias voltadas a comunicação aumentativa e alternativa. Iremos introduzir suas premissas, discutir como eles se relacionam ao contexto deste projeto e comentar sobre nossa interpretação dos resultados constatados pelos autores.

Em seguida, iremos dispor uma discussão sobre três tópicos que consideramos muito importantes, essenciais, para o entendimento do contexto que fomentou a ideia do algoritmo proposto por este trabalho. Abordaremos o funcionamento das pranchas de comunicação assistiva digitais, algoritmos de predição que se adequam a experiência de uso dessas pranchas e o método Colorful Semantics que trata da construção de frases bem estruturadas do ponto de vista semântico.

Por fim, iremos apresentar todos os detalhes relativos ao planejamento, projeto e a implementação do algoritmo. Serão discutidas todas as fontes de dados utilizados pelo algoritmo, as saídas produzidas e a integração dele com uma prancha de comunicação assistiva desenvolvida especialmente para a demonstração do mesmo. Logo após, apresentaremos alguns testes de usabilidade realizados no aplicativo de demonstração que possam indicar a redução do esforço necessário para a elaboração de frases na plataforma.

2. Bases Teóricas

Esta seção apresenta alguns conceitos introdutórios sobre tópicos relacionados a este trabalho de graduação e introduz breves explicações sobre o ferramental científico que planejamos utilizar para alcançar os objetivos pretendidos. Também, apresentamos algumas argumentações que contribuíram para a concepção do algoritmo de predição para pranchas de comunicação aumentativa e alternativa baseadas em pictogramas.

2.1. Pranchas de Comunicação Assistiva

Um estudo publicado pelo Instituto Nacional Americano de Surdez e Outros Distúrbios na Comunicação em 2010 estimou que dezoito milhões de americanos possuíam distúrbios na voz, fala e linguagem. Para atender o grupo de pessoas com distúrbios similares, foram criados inúmeros dispositivos no ramo da comunicação aumentativa e assistiva, visando permitir que os mesmos tivessem a possibilidade de expressar suas necessidades básicas, pensamentos e desejos. Os usuários de tais dispositivos são bastante variados sobre aspectos relativos a limitações cognitivas, condições socioeconômicas, culturais, deficiências motoras e muitos outros. Logo, esses aparelhos foram pensados para o grande público mas com possibilidades de adequação a necessidades específicas de cada usuário.

Um dos ferramentais mais utilizados no tratamento de pessoas que foram acometidas com comunicação deficitária são as pranchas de comunicação aumentativa e alternativa baseadas em pictogramas. Elas podem assumir diferentes formas e apresentar conteúdos diversos. Mas consistem, basicamente, na disposição de elementos textuais e gráficos sobre um painel para que o usuário possa selecionar, ordenadamente, elementos que transmitam a informação pretendida a um observador.

As implementações mais comuns dessas pranchas utilizam sistemas simbólicos como o *Picture Communication Symbols (PCS)* para quebrar informações complexas em unidades de conteúdo mais simples de serem interpretadas. Desta forma, o usuário consegue associar cada parte do discurso a um símbolo representativo e construir falas de forma incremental. Muitos sistemas simbólicos foram desenvolvidos mas o *PCS* se mostrou o mais transparente entre os propostos, perdurando em uso por décadas. O aspecto da transparência, definido por [12], determina que um símbolo é transparente se o formato, movimento, ou função referente é representada de tal forma que seu significado pode ser inferido sem quaisquer referências adicionais. Esta característica, presente no *PCS*, traduz especificamente o objetivo almejado com a inclusão dos pictogramas nas pranchas. A biblioteca de símbolos padrão do *PCS* possui aproximadamente cinco mil símbolos, os quais, podem ser suplementados por outras bibliotecas de propósito geral e algumas específicas, direcionadas a situações demandadas por grupos menos abrangentes de usuários. Apesar da grande disponibilidade de símbolos, a grande maioria não é utilizada por um mesmo usuário. Em geral, os vocabulários utilizados nas pranchas possuem entre quinhentos e hum mil símbolos. Número que depende da habilidade cognitiva do usuário.

Com os avanços tecnológicos da última década e a popularização de dispositivos de computação pessoal, as pranchas de comunicação assistiva passaram a ser disponibilizadas através de aplicações digitais. A digitalização das pranchas abriu caminho para a criação de toda uma nova gama de meios de interação com tais dispositivos. O usuário passou a ter acesso a mais conteúdo, com mais interatividade, qualidade e portabilidade. Para o lado dos pesquisadores e profissionais envolvidos no tratamento desses indivíduos, os aplicativos se

tornaram valiosas fontes de dados sobre o usuário [13]. O conhecimento das frases produzidas pode ser utilizado para alimentar sistemas de predição, algoritmos de aprendizagem de máquina para determinar padrões de uso, identificar grupos de usuários com dificuldades similares e muitas outras aplicações que ainda estão por ser exploradas.



Figura 1. Esquerda: Diversos modelos de pranchas de comunicação assistiva projetadas em papel. Direita: Exemplo de interface gráfica utilizada por pranchas digitais.

A interface visual mais comum entre as pranchas de comunicação assistiva digitais baseadas em pictogramas, que são comercializadas nas lojas de aplicativos para as plataformas Android e iOS, se assemelha bastante a interface apresentada na Figura 1, lado direito. Nela, é apresentada uma grade de células ocupando majoritariamente a maior porção da tela. Cada célula dispõe um pictograma acompanhado de uma identificação textual, atendendo usuários que tenham mais facilidade em reconhecer figuras e os mais avançados que consigam compreender texto corrido. Um elemento visual bastante comum nas pranchas mas que não está retratado na figura, são campos de texto dispostos as construções textuais do usuário.

As células das pranchas podem ser associadas diretamente a palavras ou a grupos que englobem um conjunto delas. De forma que, quando o usuário selecionar uma célula associada a uma palavra, a mesma será selecionada e poderá ser apresentada a um acompanhante do usuário, disposta em um campo de texto ou até falada por um sintetizador de voz. Quando o usuário seleciona uma célula associada a um grupo, a aplicação altera a totalidade dos símbolos apresentados, trocando eles por outros que estejam diretamente relacionados ao grupo acionado. A disposição do conteúdo dessa forma possibilita que as pranchas atendam usuários com vocabulários mais vastos, sem a morosidade de forçá-los a analisar uma grande lista de palavras sem qualquer organização hierárquica.

A grade de células das pranchas, normalmente, pode ser definida de forma dinâmica a partir do vocabulário dos usuários. Isso fornece alguma liberdade para que o médico fonoaudiólogo responsável pelo acompanhamento do usuário possa configurar a disposição do conteúdo de forma a aumentar o número de palavras geradas por minuto e reduzir a carga cognitiva exigida para utilização da aplicação. O controle dinâmico da grade ainda pode beneficiar a comunicação com pessoas próximas, visto que, torna possível a criação de pastas e inserção de palavras específicas que possam facilitar interações rotineiras. Por exemplo, os pais de um usufrutuário poderiam criar uma pasta específica para acomodar comidas que são solicitadas no período do café da manhã e adicionar uma as palavras associadas a tal pasta. Desta forma, o acesso a tal conteúdo seria facilitado.

2.2. Predição

Predição de palavras é uma técnica de processamento de linguagem que almeja reduzir o tempo necessário para a entrada de informação textual em sistemas computacionais, em sua variante mais comum, ela alcança isso apenas reduzindo o número de teclas que precisam ser pressionadas para a composição de uma dada palavra. Ela depende da análise das informações providas por um usuário, durante uma ou várias seções de uso de uma aplicação qualquer, para realizar análises estatísticas que indiquem as palavras com maior probabilidade de se encaixarem adequadamente nas construções dos discursos.

Os sistemas de predição mais simples e comuns, disponíveis para o público em geral, funcionam da seguinte forma: A medida que um usuário digita algo no teclado, o sistema recebe a entrada letra por letra e produz uma lista de palavras começando com a sequência que já tenha sido digitada. Cada nova seleção de tecla, a lista de palavras é atualizada para refletir as palavras que se encaixem com o termo sendo construído. Quando o vocábulo desejado pelo usuário aparecer na tela, o mesmo tem a opção de realizar a seleção dela, isso acarreta na inserção da palavra no campo de texto e no deslocamento do cursor por uma posição.

Como um exemplo de tal sistema, vamos assumir que um dado usuário deseja inserir a palavra “otorrinolaringologista” no campo de texto que ele esteja editando. Primeiro, ele irá pressionar a tecla associada a letra “o”, utilizando seu teclado. Neste momento, o sistema irá analisar sua base de conhecimento para determinar quais palavras que comecem com a letra “o” tem as maiores probabilidades de serem inseridas em um trecho do discurso. Se a palavra pretendida aparecer no campo de sugestões, o usuário terá a possibilidade de realizar sua inserção pressionando mais uma tecla, em contrapartida as 21 demais seleções que seriam necessárias para formar a palavra sem auxílio adicional.

Mecanismos de predição são extensamente aplicados em sistemas que possuam entrada de texto por meio de seleção de teclas em um teclado ou qualquer outra forma de seleção de letras do alfabeto em sistemas digitais. No contexto dos sistemas de comunicação aumentativa e alternativa, o uso desses sistemas vem sendo investigado discretamente nas últimas três décadas mas, graças a resultados promissores, já é empregado em ferramentas de comunicação assistiva comercializadas ao grande público. Entre elas, estão dispositivos desenvolvidos por importantes empresas da área, com reconhecimento mundial, a Prentke Romich, Dynavox Corporation e Saltillo Corporation. Todas americanas. Alguns trabalhos apresentam casos de sucesso na aplicação de predição e outros levantam questões importantes que concernem a usabilidade desses recursos em aplicações voltadas ao público deficiente.

Os sistemas de predição e os sistemas de comunicação aumentativa e alternativa possuem vertentes comuns no tocante as métricas utilizadas para mensurar a eficiência dos mesmos. A principal vertente, presente nos dois, é a estimação do tempo necessário para a inserção das informações textuais pretendidas, ou seja, aferir quanto tempo um usuário comum leva para inserir uma informação com e sem o auxílio da predição. No caso dos sistemas de comunicação assistiva, o tempo médio para a inserção de palavras, além de ser um índice de avaliação da qualidade do sistema, também é utilizado para avaliar as condições de comunicação do usuário. Comumente, pessoas com dificuldades de comunicação tem suas deficiências caracterizadas em relação a quantidade de palavras que conseguem produzir por minuto. Em inglês, se utiliza o termo *WPM (words per minute)* para caracterizar esse número.

O número de palavras produzidas por minuto permite a análise e segregação de grupos de pessoas com dificuldades de comunicação que possuam capacidade de produção similar, independentemente de suas respectivas restrições. Indivíduos com as mesmas condições e passando por tratamentos similares podem ter níveis de produção diferentes, justificando a necessidade de adequar cada dispositivo de comunicação ao seu usuário e realizar tratamentos adequados o quanto mais cedo possível. Essa flutuação torna difícil estabelecer uma média de palavras produzidas por minuto, uma vez que não é possível estabelecer uma relação exata entre limitações cognitivas, motoras e condições que combinem as duas.

O trabalho proposto por Copestake [14] faz uma estimativa levemente grosseira de que indivíduos com incapacidades físicas na comunicação só conseguem produzir de dez a quinze palavras por minuto (wpm), enquanto que as taxas em uma conversação normal giram em torno de cem a trezentas palavras por minuto. Ainda sobre as taxas, digitadores habilidosos conseguem produzir de trinta a quarenta palavras por minuto. Os autores reforçam ainda os transtornos que essas diferenças ocasionam, uma vez que, essa discrepância remove toda a naturalidade do diálogo entre grupos de duas ou mais pessoas, pois, o indivíduo com limitações não conseguirá acompanhar o ritmo das demais pessoas que não apresentem deficiências de comunicação.

A grande discrepância entre as taxas de produção de palavras por minuto dignifica a busca por métodos que diminuam tais diferenças e incentiva, humanamente, o desejo de quebrar as barreiras que tal fato impõe para os indivíduos com limitações. Dessa forma, pelos benefícios que a predição pode trazer, ela é tida como um dos mecanismos promissores para alcançar esse objetivo. No entanto, alguns trabalhos científicos notáveis [15, 16] discutem distintivamente se os impactos da inclusão de sistemas de predição em ambientes de comunicação aumentativa e alternativa de fato promovem o aumento do número de palavras produzidas por minuto. Estes trabalhos argumentam e levantam a hipótese de que o trabalho cognitivo exigido para o entendimento do funcionamento da predição, e do apelo visual que ela implica, impacta negativamente na taxa *WPM*, mais capacidade cognitiva será exigida do usuário. Esta carga cognitiva extra se deve ao fato do usuário necessitar mudar o foco para as predições, visualizar e analisar a sequência de palavras produzida pelo sistema de predição a cada nova digitação realizada.

As pesquisas conduzidas por [17] levantam a hipótese de que os aspectos negativos da predição, abordados por [15, 16], podem ser oriundos de duas fontes principais. A primeira é a imposição de estratégias de uso, ou seja, os usuários não deveriam ser instruídos a utilizar a lista de palavras preditas em momentos específicos e também não deveriam se tornar dependentes da predição para a construção dos vocábulos. A segunda elenca a qualidade da predição, do ponto de vista teórico e de implementação, como um fator impactante. Os pesquisadores que elaboraram essas contraposições incorporaram um sistema preditivo em uma aplicação de comunicação aumentativa e alternativa de uma forma a mitigar os motivos supramencionados. Eles conduziram um estudo que não coagia os usuários a utilizar o sistema de predição mas, sim, a digitar as letras o mais rápido que conseguissem e só utilizar a predição quando se sentissem confortáveis. Compararam três casos de uso: (1) Digitação letra por letra sem predição; (2) Digitação de letra por letra com um algoritmo de predição básico; (3) Digitação de letra por letra com um algoritmo de predição mais avançado. Os resultados corroboraram com a hipótese de que sistemas de predição podem resultar no aumento do indicador de palavras produzidas por minuto (wpm), nos testes, observaram aumentos superiores a 50%.

Todas as considerações realizadas e os trabalhos científicos supramencionados tratam de sistemas de predição ajustados a aplicações nas quais os usuários necessitam possuir as habilidades cognitivas necessárias para se comunicar a partir da construção de palavras letra

a letra. Infelizmente, existe um público que não se adequa a tal restrição devido a limitações severas sob os aspectos cognitivos e motores. Esse grupo, muitas vezes, adere melhor a utilização das pranchas de comunicação assistiva baseadas em pictogramas, devido ao fato das mesmas reforçarem o significado de cada vocábulo por meio das ilustrações e serem mais apropriadas a usuários que realizam a navegação escaneando item a item antes de selecionar alguma expressão desejada.

Até o momento da submissão deste trabalho, não é de conhecimento do autor nenhuma publicação científica que aborde a incorporação de mecanismos de predição em pranchas de comunicação assistiva baseadas em pictogramas. Pesquisas foram realizadas em diversas bases mas nenhum trabalho relevante foi encontrado. Exposto isso, reforçamos a ideia, apresentada anteriormente, de que a área de comunicação aumentativa e alternativa ainda carece de muito trabalho investigativo para culminar no desenvolvimento de aplicações mais adequadas ao público com deficiências severas sob aspectos cognitivos e motores.

Incorporar um sistema de predição a uma prancha de comunicação assistiva baseada em pictogramas é um desafio aparte, possuindo inúmeras considerações especiais que não podem ser simplesmente assumidas a partir dos trabalhos voltados a predição em sistemas que os usuários inserem as informações letra a letra com um teclado comum. É necessário realizar ponderações relativas ao fluxo de uso da aplicação, as fontes de informação utilizadas para determinação das predições, ao design na aplicação no que concerne a animações e a disposição da lista de palavras geradas pelo algoritmo de predição.

A argumentação apresentada por [15, 16] contrária a incorporação dos sistemas de predição em aplicações de comunicação assistiva é bastante pertinente no ambiente das pranchas de comunicação aumentativa e alternativa. Os autores apresentaram a hipótese de que o trabalho cognitivo necessário para o uso da predição seria muito danoso a ponto de eliminar quaisquer ganhos e, ainda, piorar a taxa de palavras geradas por minuto (wpm). Consideramos este ponto altamente pertinente, uma vez que, a disposição dos pictogramas na tela demanda uma área bem maior do que a simples disposição de palavras isoladas, logo, se faz necessário o uso de animações (implica em uma potencial mudança de foco drástica) e outros recursos visuais para possibilitar que sejam apresentados os resultados da predição juntamente com o vocabulário de uso normal do usuário.

Outro grande desafio da incorporação de sistemas de predição em pranchas de comunicação aumentativa e alternativa baseadas em pictogramas é a limitação imposta pela obrigatoriedade em utilizar apenas as palavras presentes no vocabulário do usuário, que fora configurado na prancha. Isto é, saímos do campo específico da predição de terminações de palavras para a predição de palavras que possam suceder as selecionadas previamente. Por conseguinte, a predição de palavras sucedentes traz novos desafios intrinsecamente associados a qualidade das orações produzidas pelos usuários. Ou seja, o sistema de predição precisará passar a lidar não apenas com aspectos estatísticos da predição mas também a realizar análises sintáticas e semânticas das sentenças sendo construídas.

2.3. Métodos de Predição

Existem muitas estratégias que podem ser utilizadas na concepção de sistemas de predição, variando das mais simples que considerem apenas aspectos estatísticos até as mais avançadas que analisem aspectos semânticos e sintáticos do texto em manipulação. Esta subseção se preocupa em apresentar um apurado das técnicas discutidas em [18] para fundamentar particularidades teóricas que contribuiram para a concepção ao algoritmo proposto neste trabalho. Após a fundamentação teórica, discutiremos detalhes atrelados a

implementações desses métodos e as limitações que o contexto de comunicação aumentativa e alternativa, no ambiente de pranchas de comunicação baseadas em pictogramas, impõe.

a. Predição Baseada em Frequências

O modo mais elementar de se realizar predição é com base nas probabilidades da ocorrência das palavras. A medida que um usuário realiza a seleção de caracteres, o sistema busca todas as palavras que comecem com os mesmos caracteres e elenca as sugestões de acordo com a probabilidade de ocorrência de cada uma. Em termos de experiência de uso, nas implementações mais comuns, o usuário tem a possibilidade de escolher entre selecionar uma das palavras geradas pelo sistema ou continuar digitando letra a letra.

Uma das vantagens dessa abordagem é baixo custo computacional requerido para a realização de atualizações na lista de frequências. A medida que o usuário faça uso da plataforma, o algoritmo pode atualizar a lista de frequências a fim de garantir que as predições sejam compatíveis com a realidade de uso corrente do indivíduo.

Pontuando as desvantagens, a principal delas é a simplicidade inerente do modelo. O custo adicional de uso da predição poderá ser desfavorável caso a qualidade das palavras preditas não seja satisfatória. Considerando o funcionamento deste método, o risco de tal infortúnio será maior para usuários que façam um uso mais vasto da linguagem, adequando seu discurso a cada situação que realizam comunicação. Isto se deve ao fato da predição não contabilizar cenários de uso diferentes.

b. Predição Utilizando Tabelas de Probabilidade

Outra possibilidade para a implementação dos sistemas de predição é considerar a probabilidade de uma palavra ser inserida dado que a antepassada está presente no discurso. Sobre esta premissa, pode ser construída uma tabela com as probabilidades condicionais de uma palavra aparecer dado que a precedente também ocorreu. Logo, se o vocabulário do indivíduo possuir N palavras, será necessário montar uma tabela com N^2 entradas, das quais, a maior parte será zero, pois, é muito provável que duas palavras nunca ocorram juntas.

O principal problema com esta abordagem baseada na construção de uma tabela é o custo para atualizar as probabilidades, visto que, será necessário computar todas as probabilidades a cada modificação das bases de entrada.

c. Predição Sintática Utilizando Tabelas de Probabilidade

Este método sobe o nível de sofisticação em relação aos dois anteriores, uma vez que, ele passa utilizar informações sintáticas inerentes de linguagens naturais no processo de predição. Para a concepção de tais propósitos, são utilizados dois tipos de dados estatísticos: A probabilidade da ocorrência de uma palavra e a probabilidade relativa de ocorrer uma palavra atribuída a uma categoria sintática dado a ocorrência de outra com categoria sintática diferente.

Em termos de implementação, este método pode utilizar um dicionário para armazenar todas as palavras e para cada uma delas, guardar os dados probabilísticos relativos as frequências de ocorrência e as categorias sintáticas que ela se adequa. As probabilidades associadas as categorias e suas ocorrências podem ser armazenadas

em uma tabela, similar ao método anterior, pois, o número de categorias é fixo e não deve ser alterado mesmo com o uso repetitivo por parte do usuário.

d. Predição Sintática Utilizando Gramáticas

Sistemas de predição também podem ser construídos a partir da especificação de regras gramaticais bem estabelecidas com o auxílio de técnicas de processamento de linguagem natural. Sentenças podem ser analisadas sob aspectos de regras sintáticas para determinar quais categorias sintáticas devem preceder ou suceder uma determinada palavra.

Para ilustrar, basicamente, como tal sistema pode funcionar iremos apresentar três regras demonstrativas. Cada termo apresentado a esquerda de uma seta é composto por todos os termos apresentados a direita da mesma. Os componentes devem aparecer de forma ordenada e devem relacionar uma nova regra. Por exemplo, suponha que *FS* represente uma frase substantiva, *FP* uma frase preposicional, *S* um substantivo e *P* uma preposição. Assim, podemos ter as seguintes regras:

FS ← S FP
FP ← P
FS ← S P FS

Observe que tais regras podem ser expandidas infinitamente para especificar uma vasta combinação de sentenças. Em adição a elas, ainda, podem ser combinadas mais regras que imponham restrições morfológicas a fim de garantir construções corretas. O sistema de predição teria de analisar frases completas para tentar casar elas com as regras conhecidas, dando preferência as com maior probabilidade de ocorrência. Tão logo uma regra seja casada, os componentes antecedentes e sucedentes podem ser determinados. Então, basta utilizar esta informação para buscas as palavras que se adequem e possuam maior probabilidade de ocorrência.

e. Predição Semântica

Os métodos de predição semântica não costumam ser tão utilizados dado que os resultados alcançados por eles são similares ao obtidos pelas abordagens sintáticas, porém, com um custo computacional superior. Este custo elevado é devido a análise e classificação das palavras quanto aos seus papéis semânticos. Uma vez que esta etapa é realizada, bem como nos métodos supramencionados, o sistema de predição deve armazenar as palavras com suas respectivas probabilidades de ocorrência e com os papéis semânticos que elas possam assumir. Feito isso, são calculadas as probabilidades de cada palavras ocorrer dado que a antecedente possua cada uma dos papéis semânticos inferidos da base de treinamento.

2.4. Coleta Automática de Dados

Todos os campos de pesquisa científica exigem que os pesquisadores possuam as habilidades necessárias para identificar e mensurar os impactos, positivos e negativos, dos trabalhos que apresentam a comunidade. Sem essa habilidade, a pesquisa perde o caráter científico, uma vez que, assume um papel mais especulativo. No ramo da comunicação aumentativa e assistiva, isso não é diferente. Propostas para implementar mudanças em práticas educacionais e clínicas precisam envolver a apresentação de evidências que corroborem com as teorias propostas. A grande dificuldade está em definir que parâmetros

precisam ser mensurados e como mensurá-los de forma idônea, sem direcionar os resultados do trabalho. Para esta finalidade, algumas frentes de pesquisa investigam o desenvolvimento de métodos que realizem a coleta automática de informações a partir do uso das pranchas de comunicação aumentativa e alternativa.

O trabalho *The Realize Language System: An Online SGD Data Log Analysis Tool* [19] aborda justamente o uso de informações coletadas automaticamente no contexto das pranchas de comunicação assistiva. Os autores exploram desde detalhes da coleta até algumas aplicações, construídas com o uso dos dados, que realizam análises do uso desses dispositivos por parte dos usuários. Tais aplicações são voltadas a intercomunicação existente entre os responsáveis legais pelo usuário e os profissionais de saúde que auxiliam no tratamento dos mesmos. Essa partilha é muito importante para o tratamento do usuário e, sendo realizado o registro automático do uso, ela é facilitada, uma vez que, todos os detalhes ficam registrados sem esforços adicionais por parte do usuário, responsáveis e profissionais de saúde.

A coleta automática de dados consiste no registro de vários eventos que possam ocorrer durante o uso das pranchas de comunicação assistiva. Ela é realizada sem o conhecimento explícito do usuário, uma vez que, os registros são coletados e armazenados para melhoria das funcionalidades da aplicação ou análise posterior com o auxílio adicional de ferramentas de visualização apropriadas. O artigo [20], abordado por [19], especifica algumas informações fundamentais que poderiam ser coletadas por tal sistema. Realizamos algumas adequações que consideramos necessárias para as pranchas de comunicação assistiva baseadas em pictogramas e que são implementadas para dispositivos com tela sensível ao toque, são elas:

a. Tempo

O registro da data e hora em que um evento qualquer tenha ocorrido. Isso é importante para determinar a taxa de produção de palavras por minuto e ainda pode contribuir para mensurar o engajamento do usuário a partir do momento em que ele começa a utilizar a aplicação.

b. Saída

Esse dado deve ser referente a qualquer informação textual gerada pelo usuário dos dispositivos de comunicação assistiva. O conhecimento das informações que estão sendo produzidas é fundamental para que as pessoas envolvidas no tratamento possam ter uma ideia geral de como o usuário se comunica em diferentes ambientes e com diferentes pessoas. Tal conhecimento ainda pode ser útil no aprimoramento de algoritmos de predição que levem em conta estatísticas da produção textual gerada pelo usuário.

c. Ação

Bem como o registro da informações textuais produzidas, devem ser registrados outros eventos como toques na tela, seleção de teclas do teclado e mudanças de página. Conhecer a incidência da ocorrência de tais eventos pode contribuir para a otimização da disposição dos elementos do vocabulário. Permitindo a redução do número de cliques necessários para compor sentenças recorrentes, por exemplo.

d. Entrada

Registro da forma que o usuário realiza a interação com o dispositivo. Se ele utiliza seus próprios dedos, acionadores, canetas, mouse, teclado e qualquer outro dispositivo conhecido previamente. Com isso, é possível realizar considerações especiais na análise dos dados de uma grande quantidade de usuários, portanto, sendo possível identificar limitações do usuário e não da aplicação.

e. Contexto

Informações externas que precedem os momentos anteriores ao começo de uma seção de uso da prancha de comunicação. Conhecer o contexto em que o usuário está inserido durante o uso da aplicação permite que, as partes ausentes no momento, interpretem os demais dados com mais facilidade.

A coleta de todos os dados comentados acima pode ser incorporada facilmente, com o mínimo de mudanças arquiteturais, a qualquer prancha de comunicação assistiva moderna. O ponto mais importante e fundamental da coleta de dados é justificar a coleta dos mesmo através do retorno em benefícios para os usuários. Abaixo, iremos comentar sobre algumas das aplicações propostas por [19] para utilização de dados coletados automaticamente.

a. Nuvem de Palavras

Um visualizador em formato de nuvem que mostra as palavras utilizadas mais frequentemente em um dado intervalo de tempo, o tamanho da fonte é aumentado para indicar maiores frequências de uso. O principal benefício desta visualização é apresentar de forma clara e direta aos responsáveis e aos profissionais de saúde quais termos do vocabulário foram mais utilizados em uma sessão de uso da aplicação.

b. Dez Mais Utilizadas

Esta visualização transforma a nuvem de palavras em uma lista das dez palavras mais utilizadas em um dado período de uso da aplicação. Ela, além de apresentar os termos ordenados, quantifica a frequência de uso de cada um. A principal vantagem desta visualização é permitir que palavras não usuais sejam identificadas e o contexto de uso das mesmas possa ser investigado.

c. Lista de A-Z

Um dos principais objetivos almejados para os usuários dos sistemas de comunicação assistiva é aumentar o vocabulário dos mesmos, portanto, esta visualização foi proposta a fim de apresentar todos os vocábulos construídos pelo usuário em um espaço de tempo. Assim, é possível avaliar se estratégias de expansão do vocabulário surtiram o efeito desejado, ou seja, resultaram no aumento e na variação das palavras apresentadas por tal visualizador em períodos de tempo diferentes.

d. Gerenciamento de Metas:

Profissionais de saúde que trabalham no tratamento de pessoas com deficiências na comunicação, comumente, estabelecem metas para expandir o vocabulário dos pacientes. Ou seja, eles elaboram listas de palavras que devem ser incorporadas mais agressivamente ao vocabulário da aplicação. Espera-se que tais palavras passem a ser utilizadas com maior frequência durante o período em que elas são ensinadas. Para

rastrear o progresso no uso desses vocábulos, os autores propuseram uma aplicação que receba uma lista com as palavras almeçadas para que o uso das mesmas seja monitorada com o auxílio do sistema de coleta de dados automático. A visualização se encarregará de apresentar as frequências de uso.

As aplicações propostas pelos autores são voltadas as partes que analisam o comportamento e o progresso do usuário, ou seja, elas contribuem para o desenvolvimento do indivíduo ainda que o mesmo não faça uso delas. Os autores comentam em seu artigo que os responsáveis que fizeram uso das aplicações se mostraram muito mais preparados a discutir e refletir sobre possíveis melhoras em suas abordagens, para com o usuário, que poderiam impactar positivamente no desenvolvimento dos usufrutuários.

Os dados coletados automaticamente ainda tem muito potencial para a concepção de algoritmos de predição sofisticados, que consigam aprender a medida que mais dados de uso sejam coletados do usuário. Com o uso contínuo, tais algoritmos ainda poderiam usufruir de dados temporais e informações de localização para auto-adaptar as predições com base no contexto em que o usufrutuário estava inserido em cada sessão de uso, sem que o mesmo necessitasse informar tal condição em momento algum.

2.5. Colorful Semantics

O método Colorful Semantics [10] foi desenvolvido com o objetivo de ajudar crianças a desenvolverem conhecimentos de gramática a partir de aspectos semânticos das palavras. O sistema prega a divisão de sentenças a partir de papéis temáticos atribuídos as palavras, isto facilita a escrita de frases bem estruturadas do ponto de vista semântico. Cada tema é associado a cores para facilitar o entendimento de crianças que sejam aprendizes visuais. A versão mais simples do sistema permite a construção de frases com a resposta a quatro perguntas fundamentais, são elas “Quem?”, “Fazendo?”, “O quê?” e “Onde?”. As quais são, respectivamente, codificadas com as cores laranja, amarelo, verde e azul. Esse mecanismo funciona como um guia para pessoas que apresentam dificuldade na elaboração de frases.

Como mencionado no parágrafo anterior, O Colorful Semantics prega a construção de sentenças através da divisão do processo construtivo em níveis, onde, cada um deles é codificado por uma cor. Outras pesquisas, algumas até mais antigas, já propuseram métodos similares, porém, o Colorful Semantics se distingue na caracterização dos níveis de separação. A pesquisadora britânica Alison Bryan, criadora do método, buscou dividir os níveis de acordo com os papéis semânticos presentes maioritariamente em frases corretas do ponto de vista semântico e completas no tocante a transmissão de informações úteis. A Tabela 1, mostrada abaixo, apresenta a codificação do sistema criado por Bryan.

Tabela 1: Sistema de Codificação do Colorful Semantics, primeiros quatro níveis.

Pergunta	Codificação de Cor	Papel Semântico
Quem?	Laranja	Agente
O quê está fazendo?	Amarelo	Verbo
O quê?	Verde	Tema
Onde?	Azul	Localização

O mecanismo de funcionamento do Colorful Semantics aplicado com o auxílio de uma prancha de comunicação não digital pode ser explicado sucintamente de forma mais fácil, portanto, daremos um exemplo de uso em tal plataforma. Primeiramente, se faz necessário a impressão de cartas de papel que apresentem os pictogramas juntamente com os rótulos associados. Cada carta poderá ser impressa mais de uma vez, dependendo do número de perguntas que ela pode responder. Para cada pergunta que uma dada carta possa responder, ela será impressa em papel colorido de mesma cor a da codificação da pergunta que ela responde. Após a impressão de todas as cartas presentes no vocabulário do usuário, elas devem ser agrupadas por cores.

Possuindo todo o ferramental físico para a aplicação do método, a pessoa auxiliando o usuário deverá guiar o mesmo através de indagações que sigam as perguntas listadas pelo Colorful Semantics. A cada indagação, o usuário é compelido a escolher uma carta que faça parte da pilha de respostas possíveis a aquela pergunta. A quantidade de perguntas e a ordem em que elas são feitas pode variar de acordo com o desenvolvimento cognitivo e o nível de familiaridade que o usufrutuário possua com o método.

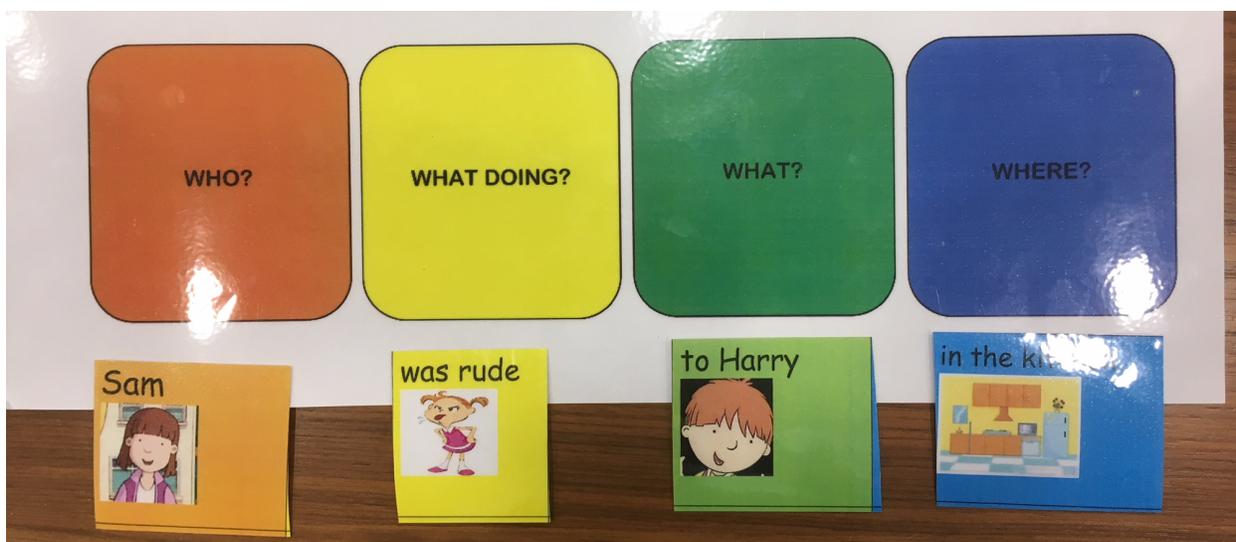


Figura 2. Exemplo de uso do Colorful Semantics com cartões de comunicação impressos. O usuário seleciona um cartão por vez, seguindo a ordem pré-estabelecida das perguntas.

3. Algoritmo

Nesta seção trataremos dos detalhes mais técnicos da implementação do algoritmo proposto. Mas, antes de mergulharmos neles, vamos lembrar dois dos objetivos que planejávamos alcançar e que estão diretamente atrelados a forma de implementação da predição. O primeiro estabelece que o algoritmo deverá contribuir para a construção de frases corretas do ponto de vista semântico. Já o segundo, determina que o sistema de predição deverá ser capaz de introduzir diversidade ao vocabulário dos usuários de pranchas de comunicação aumentativa e alternativa que façam uso do algoritmo. Nos próximos parágrafos abordaremos como o algoritmo atinge cada meta supracitada e abordaremos as minúcias dos cálculos das probabilidades de ocorrência de cada palavra, a partir da análise das palavras precedentes.

Grande parte dos sistemas de predição de palavras incorporam análises estatísticas que estipulam os índices de ocorrência de um vocábulo dado que um ou mais termos precedentes tenham acontecido. Tal método é extensamente utilizado, pois, o custo computacional para calcular as probabilidades e determinar os resultados da predição é baixo. Além disso, os resultados obtidos podem ser satisfatórios para sistemas onde a predição não é um recurso crucial. A principal desvantagem dessa abordagem é necessidade do uso de uma grande base de textos para realizar o cálculo inicial das probabilidades, visto que, sem elas, o sistema não funciona. Também são necessárias algumas considerações especiais no tocante a quantas palavras precedentes serão consideradas e se flexões ou contrações de alguns vocábulos devem ser interpretadas como os termos originais.

No campo da computação linguística e probabilística, existe o conceito denominado de *n-gram* que especifica uma sequência contígua de n termos, onde os termos podem ser palavras de um texto. Logo, falar de um sistema de predição baseado em *unigram* (*1-gram*) significa que a probabilidade de uma palavra ocorrer depende da ocorrência do vocábulo precedente. Por conseguinte, um sistema baseado em *bigram* (*2-gram*) implicaria na ocorrência de dois termos precedentes, um *trigram* (*3-gram*) na ocorrência de três termos e assim por diante, até o n -ésimo termo precedente (*n-gram*).

O algoritmo proposto por esse trabalho realizará os cálculos probabilísticos levando em conta apenas a palavra imediatamente precedente, portanto, trata-se de um sistema de predição baseado em *unigram* (*1-gram*). A escolha desse limite se deve ao fato da produção textual dos usuários de pranchas de comunicação aumentativa e alternativa ser relativamente baixa e a qualidade da predição estar relacionada com o tamanho dos textos utilizados para treinamento, logo, trabalhar com *bigrams* ou *trigrams* poderia implicar na perda de palavras. Isso ocorreria pois nosso método realiza o particionamento de textos nos sinais de pontuação, ou seja, as duas ou três primeiras palavras subseqüentes a um sinal de pontuação seriam ignoradas pois não possuiriam o número de antecessores suficientes.

Discutidos os detalhes probabilísticos do modelo, vamos abordar como o algoritmo utiliza o conhecimento dos papéis semânticos de vocábulos para apresentar palavras que se adequem aos papéis semânticos esperados em cada etapa da construção de orações. Essa designação dos papéis semânticos esperados é feita de acordo com os primeiros cinco níveis do modelo de construção de sentenças empregado pelo Colorful Semantics. Nos primeiros quatro níveis o usuário deve responder as perguntas “Quem?”, “O que está fazendo?”, “O quê?” e “Onde?”. O quinto nível é reservado para a conjunção de múltiplas frases. Esse fluxo proposto pelo trabalho de Bryan garante ao algoritmo de predição conhecimento adicional que permite ordenar as palavras preditas por probabilidades e semântica.

O outro grande objetivo do nosso sistema de predição é introduzir diversidade no vocabulário dos usuários, para isso, temos de explorar a possibilidade de introduzir palavras na lista de predição mesmo que elas não estejam entre as que possuam maior probabilidade de serem selecionadas. Para alcançar isso, propomos o uso de bases de treinamento não convencionais. Tais bases adviriam da literatura, por meio do uso de livros, revistas e quaisquer outras fontes textuais adequadas as limitações e ao tratamento do usufruário. Por exemplo, um livro que seja utilizado no tratamento de um paciente poderá ser adicionado ao sistema para que o conteúdo presente nele possa aparecer entre as palavras preditas, quando desejado. Mas, só isso, não é suficiente. O sistema precisa fornecer meios para que os responsáveis ou profissionais de saúde especifiquem qual fonte deve ser priorizada em um dado momento.

Além da categoria de fontes textuais provenientes da literatura, o algoritmo utiliza mais três categorias de fontes. A primeira, e também a maior, é composta por frases de propósito geral utilizadas para garantir uma variedade, inerente da linguagem, nos resultados preditos. A segunda é construída incrementalmente a medida que o usuário faz uso da aplicação, ou seja, as sentenças geradas são salvas nesta base para que as probabilidades possam ser atualizadas posteriormente. Por fim, a terceira base é atualizada pelos responsáveis do usuário ou pelos profissionais de saúde que atuem em seu tratamento, contendo frases que se espera que o usuário passa a trabalhar com maior frequência.

Agora, que o contexto de funcionamento do algoritmo foi posto, podemos descrever as principais etapas dele. O primeiro passo consiste em realizar um pré-processamento das bases de texto, separando o conteúdo pelos sinais de pontuação e substituindo algumas expressões por outras equivalentes. A partir das bases, calculamos as probabilidades de ocorrência de cada palavra dado que uma antecessora ocorreu e, também, determinamos a que parte do discurso cada uma adere. Todas essas informações são escritas em arquivos utilizando a codificação JSON, para que possam ser interpretadas pelo algoritmo que computa as predições. Existindo tais arquivos, o preditor por ser executado sem a necessidade de realizar os passos supramencionados mais uma vez. Por fim, é necessário atualizar a base que armazena entradas criadas pelo usuário para refletir as estatísticas de uso mais recentes.

a. Preparação dos Dados

A primeira etapa do algoritmo consiste no tratamento dos dados inseridos nas bases de dados fornecidas. O responsável pela aplicação do algoritmo poderá prover quantas bases desejar para as categorias de fontes literárias, frases desejadas e também para o conteúdo textual que possa já ter sido produzido pelo usuário da prancha de comunicação assistiva. Todas as orações presentes nas bases de texto são separadas pelos sinais de pontuação, caracteres especiais são removidos e também são convertidos para caixa baixa.

b. Cálculo das Probabilidades

É calculada a probabilidade da ocorrência de uma palavra dado que outra esteja na posição imediatamente anterior. Este cálculo é realizado para todas as palavras das bases e para todos os termos antecedentes que cada uma possa ter.

Os dados obtidos desses cálculos são armazenados de forma separada para cada base de dados. São utilizados dicionários para facilitar a busca e acesso as palavras analisadas, onde, cada chave é uma palavra e os valores são dicionários. Por sua vez, esses dicionários possuem duas chaves. Uma para acesso ao número de ocorrências da palavra e a outra para acessar uma lista com todas as sucedentes e o número de

vezes que cada uma delas ocorreu. O pseudo-código abaixo ilustra uma função que realiza as operações mencionadas acima.

```
algorithm compute_probabilities is

    input: Text file F

    output: Dictionary D containing successors and their statistics

    unigrams := compute_ngrams(F, 1)
    bigrams := compute_ngrams(F, 2)

    unigrams_count := sum_and_merge_repetitions(unigrams)
    bigrams_count := sum_and_merge_repetitions(bigrams)

    for each bigram in bigrams do

        successor := last_word(bigram)
        predecessors := remove_last_word(bigram)
        predecessors_occurrences := unigrams_count[predecessors]
        bigram_occurrences := bigrams_count[bigram]

        probability := bigram_occurrences / predecessors_occurrences
        statistics := [successor, probability, bigram_occurrences]

        add_key_value(D, predecessors, statistics)

    return D
```

Código 1. Pseudo-código que implementa o método responsável por calcular as estatísticas de ocorrência de cada palavra presente nas bases de dados.

c. Classificação das Palavras

Uma vez que as probabilidades foram computadas, a outra tarefa principal restante é a análise semântica. Para realizar tal atividade, utilizamos as bibliotecas NLTK e NLPNET, ambas disponíveis como pacotes públicos para a linguagem Python. Elas provêm o serviço de etiquetagem morfo-sintática de palavras, ou seja, classificação palavras de acordo com a parte do discurso que elas representam. A mesma palavra pode ter classificações diferentes dependendo do papel que desempenhe em cada amostra do discurso que aparecem. Logo, para garantir que a maior parte dos papéis sejam identificados a partir das bases de texto analisadas, as classificações são compartilhadas entre as diferentes bases. O algoritmo que realiza as operações desta etapa retorna um dicionário onde as chaves são as palavras analisadas e os valores são listas contendo as classificações atribuídas, tal algoritmo é retratado no quadro Código 2.

```

algorithm tag_words is

  input: Set of text files S

  output: Dictionary D containing the tags for each word

  for each F in S do

    for each line in F do

      tokens := tokenize(line)
      results := pos_tags(tokens)

      for each word, tag in results do

        add_key_value(D, word, tag)

  remove_duplicates(D)

  return D

```

Código 2. Pseudo-código que implementa a classificação de palavras de acordo com a parte do discurso que estando associadas.

d. Predição

Este estágio é o coração do nosso algoritmo de predição, ele combina as informações das probabilidades, os papéis semânticos e o conhecimento dos processos do Colorful Semantics para realizar a predição de palavras. A função espera todos os dados computados anteriormente, um vetor de parâmetros booleanos especificando quais bases textuais deverão ser utilizadas, o estágio do Colorful Semantics que deverá ser considerado e a última palavra escolhida pelo usuário. O resultado produzido é uma lista de palavras ordenadas por relevância que especificam os vocábulos com maiores chances de serem escolhidos para suceder a o último termo selecionado na prancha. O quadro 3 retrata uma implementação em pseudo-código desta etapa.

```

algorithm predict is

  input: Set of probabilities files F,
           Dictionary containing the pos tags for each word T,
           Set of booleans specifying which sources to use B,
           Integer specifying the current colorful semantics stage C,
           The last selected word W

  output: Set of words P returning the predictions

  for each file in F do

    if use_source(B, file) = true

      append_set(P, get_predictions(W, file))

  for each word, probability, occurrences in P do

    word_tags := T[word]
    cs_tags := pos_tags_for_colorful_semantics_stage(c)
    tags_intersection := sets_intersection(word_tags, cs_tags)

    if tags_intersection empty do

      remove_prediction(P, word)

  sort_set(P, "occurrences", "descending")

  return P

```

Código 3. Pseudo-código que representa uma implementação da função responsável por determinar as palavras com maior probabilidade de serem escolhidas pelo usuário e que mantenham a estrutura semântica correta.

e. Aprendizagem

A última etapa consiste em executar os passos a, b e c para as entradas inseridas pelo usuário em um sessão de uso da prancha de comunicação aumentativa e alternativa. Feito isso, os arquivos que armazenam as probabilidades e os papéis semânticos podem ser atualizados com os novos dados. Dessa forma os dados da predição estarão sempre atualizados de acordo com a produção textual recente do usufruário.

4. Experimentos e Resultados

A avaliação do método proposto pode ser conduzida de várias formas diferentes e analisada sob diversas variáveis. Algumas das métricas propostas por [17] são o ritmo da escolha de cartas da prancha, o ritmo da inserção de palavras, o número de cliques executados, o tempo para finalizar a criação de sentenças e, conseqüentemente, os ganhos advindos do uso da predição. Esses resultados podem ser obtidos através da avaliação de grupos de usuários submetidos a experimentos controlados com duração de algumas semanas, como os feitos em [9]. Dessa forma, é possível avaliar a qualidade das soluções em cenários de uso reais. Como não dispostos dos recursos necessários para a realização de testes com usuários reais, iremos nos limitar a testar nossa solução por meio de simulações computacionais executadas sobre uma prancha de comunicação assistiva.

As etapas de preparação dos dados, cálculo das probabilidades e classificação de palavras foram implementadas em Python, devido aos inúmeros recursos providos pela linguagem que agilizam o desenvolvimento de aplicações. Todos os resultados gerados por essas etapas foram armazenados em arquivos utilizando a codificação JSON, para que pudessem ser importados e interpretados com facilidade pela prancha de comunicação aumentativa e alternativa desenvolvida para a realização dos testes. O desenvolvimento da prancha de comunicação foi realizado para o ecossistema iOS, utilizando-se a linguagem Objective-C. A escolha do ecossistema foi feita devido a familiaridade dos autores com o tal e, também, pelo grande número de aplicações de comunicação alternativa publicadas para ele, indicando grande aderência com o ferramental necessário para o desenvolvimento de aplicações voltadas para a comunicação assistiva.

A aplicação possui, primariamente, três seções principais. Um campo de texto para apresentar as palavras selecionadas pelo usuário, uma lista com o vocabulário do usuário e uma lista com as palavras preditas por nosso algoritmo. Devido as restrições presentes em dispositivos com telas pequenas, o aplicativo apresenta uma única lista por vez. Quando o vocabulário do usuário está visível, as predições são escondidas, e vice versa. É importante especificar que o vocabulário do usuário pode agrupar palavras com alguma classificação hierárquica semelhante em pastas, assim, a lista de palavras do vocabulário é substituída com a lista de palavras pertencentes a uma pasta quando tal é selecionada. O aninhamento de pastas é permitido. A Figura 3 mostra quatro visualizações de telas do aplicativo.

Outra questão importante concernente aos experimentos é a escolha das bases de dados, tanto a do vocabulário como as bases utilizadas no treinamento do algoritmo. As palavras do vocabulário e as hierarquias existentes entre elas foram replicadas da prancha de comunicação assistiva Avaz [21] disponível na Apple App Store para dispositivos rodando o sistema operacional iOS. Essa replicação foi realizada devido ao desconhecimento dos autores de estudos científicos que trouxessem tais bases ou instruções para a criação delas em tempo factível com o cronograma de trabalhos do presente estudo.

Em relação as bases utilizadas no treinamento do algoritmo predição, utilizamos transcrições das seções de tratamento de um mesmo paciente para simular o componente de produção textual prévia de um usuário. As transcrições foram obtidas do banco CHILDES [22], recordadas para uma criança inglesa chamada Fletcher quando tinha 3, 5 e 7 anos de idade. Foram escolhidos cinco livros infantis adequados as idades do Fletcher para simular o componente literário. Por fim, foram criados três arquivos com frases que são utilizadas comumente por crianças em centros comerciais, na praia e durante momentos de alimentação para o componente de construções desejáveis. Veja a Tabela 2 para maiores detalhes.

Tabela 2: Bases textuais utilizados nos experimentos.

Categoria	Comentário	Número de Palavras
Vocabulário	Replicado da aplicação Avaz para iOS.	1.564
Corpus	Produção textual prévia do usuário.	36.651
Literatura	Livro infantil intitulado <i>Circles</i> .	327
Literatura	Livro infantil intitulado <i>Let's Go Seed Collecting</i> .	1.300
Literatura	Livro infantil intitulado <i>My Inside Weather</i> .	190
Literatura	Livro infantil intitulado <i>The Jealousy Germ</i> .	1.363
Literatura	Livro infantil intitulado <i>The Magic Mango</i> .	1.630
Desejáveis	Falas criadas pelos pais para uso no ambiente de praia.	17
Desejáveis	Falas criadas pelos pais para uso no ambiente de centros comerciais.	29
Desejáveis	Falas criadas pelos pais para uso durante momentos de alimentação.	17

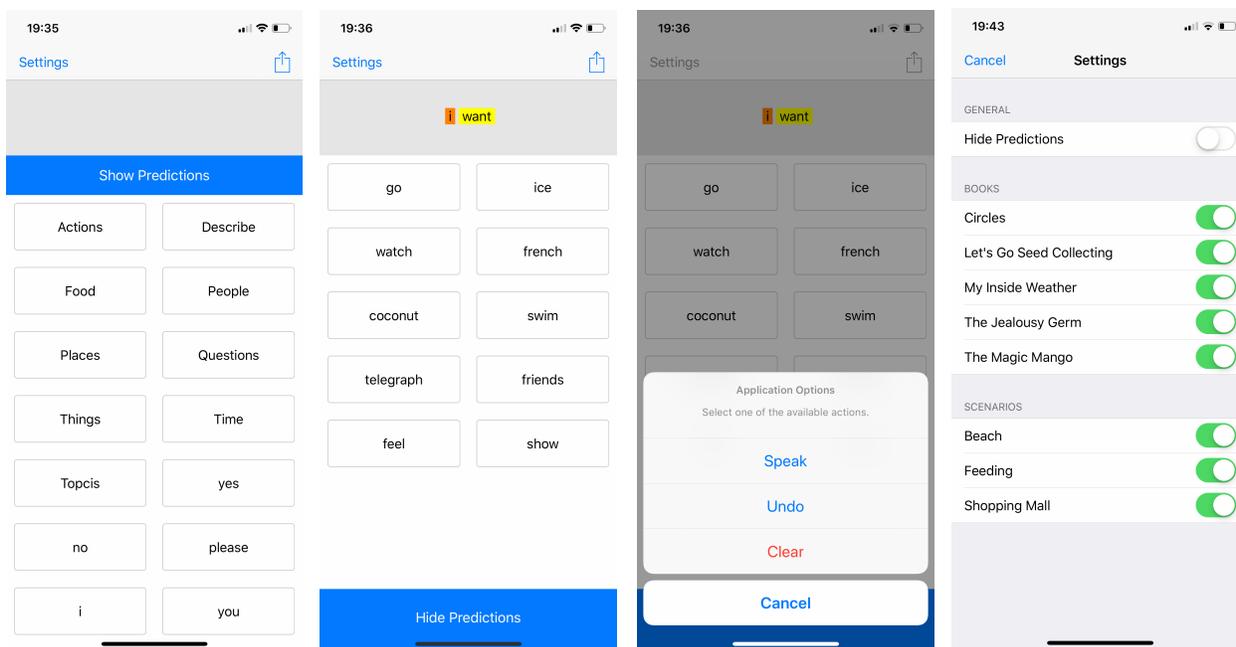


Figura 3. Quatro telas da prancha de comunicação assistiva desenvolvida, da esquerda para a direita: Lista com o vocabulário do usuário, lista de predições, opções de manipulação do texto e opções de controle do algoritmo (quais fontes incluir na predição).

Os testes foram realizados sobre um conjunto de doze frases, das quais, nove foram retiradas das fontes de texto utilizadas e três foram construídas utilizando palavras presentes no vocabulário montado. O objetivo dos testes era avaliar se a predição proporcionou uma redução no tempo gasto e uma redução do número de cliques necessários para a construção das frases na prancha de comunicação desenvolvida por nós. Para eliminar o componente humano dos testes, que poderia adicionar imprecisão entre testes diferentes, elaboramos um programa para simular a escolha das palavras. O programa recebe a frase desejada e simula a escolha de palavra por palavra, ele realiza a navegação entre diferentes pastas e a mudança entre a visualização do vocabulário e das palavras preditas. Por fim, é aferido o tempo gasto e o número de cliques utilizados para a composição da frase. A Tabela 3 apresenta as frases utilizadas e a Tabela 4 os primeiros resultados obtidos.

Tabela 3: Frases selecionadas para a realização dos testes e em quais fontes estão presentes.

Frases	Vocabulário	Corpus	Literatura	Desejáveis
It can park there.	Sim	Sim	Não	Não
I play lego.	Sim	Sim	Não	Não
The little girl with her pram.	Sim	Sim	Não	Não
I want to show.	Sim	Não	Sim	Não
The butter answered.	Sim	Não	Sim	Não
I feel like I can do anything.	Sim	Não	Sim	Não
I want to swim.	Sim	Não	Não	Sim
I want to go home.	Sim	Não	Não	Sim
Give me a spoon.	Sim	Não	Não	Sim
I lick ice cream Disneyland.	Sim	Não	Não	Não
You want go swimming pool.	Sim	Não	Não	Não
It ran away dog.	Sim	Não	Não	Não

Os resultados obtidos nos primeiros experimentos, listados na Tabela 4, não apontam diminuições significativas no tempo e no número de cliques necessários para a composição das frases com auxílio do sistema de predição. Apenas em seis casos, dos doze, ocorreram melhoras. Era esperado que a predição fosse pior em alguns casos mas não tanto quanto o observado. Portanto, formulamos a hipótese de que isso tenha ocorrido devido ao tempo adicional gasto na seleção de palavras que não eram encontradas na lista de predições.

A segunda etapa de experimentação utilizou a mesma lista de frases da primeira mas com a adição de penalidades de tempo em algumas situações especiais cujas probabilidades de ocorrência em cenários de uso real não podem ser ignoradas. Essas situações são o tempo perdido na busca por palavras que se encontram no final das listas, o tempo gasto na transição entre pastas e o tempo necessário para buscar uma palavra quando a lista exceder os limites da tela. As novas mensurações apresentaram melhoras consideráveis quando a predição foi utilizada, esses resultados podem ser visualizados na Tabela 5. Das doze frases testadas, os resultados com a predição foram melhores em dez delas. Inclusive, é interessante notar que a maior diferença positiva obtida foi observada para uma frase fora das bases de treinamento, criada a partir de palavras escolhidas do vocabulário.

Tabela 4: Comparativo dos resultados obtidos pelo aplicativo, com e sem predição.

Frase	Tempo Gasto (s)		Número de Cliques	
	Com Predição	Sem Predição	Com Predição	Sem Predição
It can park there.	16	23	6	8
I play lego.	13	20	5	7
The little girl with her pram.	32	44	11	15
I want to show.	31	27	11	9
The butter answered.	33	33	11	11
I feel like I can do anything.	30	41	11	14
I want to swim.	31	27	11	9
I want to go home.	30	32	11	11
Give me a spoon.	34	39	12	13
I lick ice cream Disneyland.	33	33	11	11
You want go swimming pool.	37	36	13	12
It ran away dog.	36	36	12	12

Tabela 5: Comparativo dos resultados obtidos quando consideradas as penalidades de tempo.

Frase	Tempo Gasto (s)		Diferença (s)
	Com Predição	Sem Predição	
It can park there.	116	114	-2
I play lego.	87	87	0
The little girl with her pram.	199	224	25
I want to show.	99	108	9
The butter answered.	113	156	43
I feel like I can do anything.	79	145	66
I want to swim.	108	117	9
I want to go home.	85	112	17
Give me a spoon.	136	182	46
I lick ice cream Disneyland.	121	138	17
You want go swimming pool.	165	169	4
It ran away dog.	84	183	99

5. Conclusão

5.1. Considerações Finais

No presente estudo, apresentamos um algoritmo baseado em papéis semânticos para a predição de palavras no contexto de comunicação aumentativa e alternativa. Introduzimos algumas bases teóricas relativas ao campo de pesquisa, comentando sobre as considerações especiais do uso de predição em aplicações de comunicação assistiva e exploramos como conectar diferentes frentes de pesquisa a fim de melhorar expressivamente a vida de pessoas que possuam deficiências de comunicação, garantindo-lhes oportunidade de se comunicar com mais facilidade e naturalidade.

Implementamos nossa própria prancha de comunicação aumentativa e alternativa para a avaliação do algoritmo proposto. Realizamos experimentos e simulações automatizadas do uso da aplicação, avaliando o tempo gasto e o número de cliques necessários para a geração de frases extraídas das fontes textuais utilizadas no treinamento do algoritmo e de três frases construídas com palavras presentes no vocabulário do usuário. A primeira avaliação realizada apresentou resultados não muito animadores, pois, não conseguimos observar melhoras expressivas com o uso da predição. Na metade dos casos avaliados, os resultados obtidos sem predição foram melhores do que os com uso da predição. Argumentamos que isso tenha ocorrido devido ao tempo adicional gasto na seleção de palavras que não eram encontradas na lista de predições.

A segunda rodada de experimentos foi realizada com a mesma lista de frases porém adicionou uma complexidade extra aos casos em que o usuário precisava deslizar a tabela para visualizar a palavra desejada, as palavras encontradas nas partes mais inferiores da tela e aos casos em que era necessário substituir toda a lista de palavras visíveis quando uma pasta era selecionada. Foram adicionadas penalidades de tempo a tais casos para simular as situações de uso real, onde o usuário necessitaria processar mais palavras e realizar passos adicionais antes de fazer sua escolha. Com as penalidades, os resultados obtidos com o uso da predição foram muito melhores, visto que, as palavras preditas eram retornadas sempre pela ordem de relevância e isso eliminava a necessidade do usuário escanear conjuntos maiores de cartões da prancha de comunicação.

Assim, com os resultados obtidos por este estudo e pelos demais vistos na literatura científica, concluímos que os mecanismos de predição tem potencial para melhorar a experiência de uso das pranchas de comunicação assistiva mas existem muitas considerações adicionais que precisam ser levadas em conta no projeto de tais sistemas, fazendo-se necessário o desenvolvimento de trabalhos mais longos e testes mais rígidos.

5.2. Trabalhos Futuros

Severas modificações poderiam ser investigadas a fim de aprimorar a qualidade dos resultados apresentados neste estudo. Elas poderiam ser incorporadas em todos os estágios do algoritmo proposto e também se fazer presentes nas etapas de experimentação. Acreditamos que a mais importante delas, concernente ao algoritmo, precisa ser a melhoria na classificação das palavras de acordo com os níveis do Colorful Semantics. Observamos que muitas palavras eram colocadas em duas ou até três categorias do Colorful Semantics, logo, o algoritmo de predição não conseguia estratificar de forma satisfatória os vocábulos. Isso ocasionava o retorno de grandes listas a cada termo cuja predição era almejada.

6. Bibliografia

1. American Speech-Language-Hearing Association <<http://www.asha.org/>> Acesso em 16 de Setembro de 2018, às 23h.
2. Communication Disabilities Access Canada <<http://www.communication-access.org/communication-access/people-with-communication-disabilities/>> Acesso em 11 de Novembro de 2018, às 22h.
3. MentalHelp: A subsidiary of American Addiction Centers, Inc. <<https://www.mentalhelp.net/articles/treatment-of-communication-disorders-and-recommended-reading/>> Acesso em 11 de Novembro de 2018, às 23h.
4. Top Alternative and Augmentative Communication (AAC) Apps for iPad <<https://www.lifewire.com/top-alternative-and-augmentative-communication-198828>> Acesso em 16 de Setembro de 2018, às 22h.
5. Communication Apps: The Best AAC Apps for Kids <<https://www.speechandlanguagekids.com/aac-apps-review/>> Acesso em 16 de Setembro de 2018, as 22h.
6. Keith Trnka, Debra Yarrington, John McCaw, and Kathleen F. McCoy, Christopher Pennington “The Effects of Word Prediction on Communication Rate for AAC” Proceedings of NAACL HLT 2007, Companion Volume, pages 173–176.
7. TRNKA, K., YARRINGTON, D. MCCOY, K. F., and PENNINGTON, C. 2006. Topic Modeling in Fringe Word Prediction for AAC. In Proceedings of the 2006 International Conference on Intelligent User Interfaces., Sydney, Australia, 276-278.
8. WANDMACHER, T., ANTOINE, J.-Y., POIRIER, F., AND DEPART, J.-P. 2008. Sibylle, An assistive communication system adapting to the context and its user. ACM Trans. Access. Comput. 1, 1–30.
9. Bolderson S, Dosanjh C, Milligan C, Pring T, and Chiat S (2011) Colourful semantics: A clinical investigation. Child Language Teaching and Therapy 27: 344–53.
10. Bryan A (1997) Colourful semantics. In: Chiat S, Law J, and Marshall J (eds) Language disorders in children and adults: psycholinguistic approaches to therapy. London: Whurr, 143–61.
11. Everyone Communicates < <http://www.everyonecommunicates.org/why.html> > Acesso em 27 de Novembro de 2018, às 22h.
12. Fuller, D., & Lloyd, L. (1991). Toward a common usage of iconicity terminology. Augmentative and Alternative Communication, 7, 215-220.
13. Adham Atyabi, Beibin Li, Yeojin Amy Ahn, Minah Kim, Erin Barney, Frederick Shic (2017) An exploratory analysis targeting diagnostic classification of AAC app usage patterns. International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN).

14. Copestake, A. 1997. Augmented and alternative NLP techniques for augmentative and alternative communication. In *ACL-97 workshop on Natural Language Processing for Communication Aids*. Madrid, 37–42.
15. Venkatagiri, H. S. 1993. Efficiency of lexical prediction as a communication acceleration technique. *Augmentative and Alternative Communication* 9, 161–167.
16. Koester, H. H. and Levine, S. P. 1994b. Modeling the speed of text entry with a word prediction interface. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* 2, 3, 177–187.
17. Keith Trnka, John McCaw, Debra Yarrington, Kathleen F. McCoy, Christopher Pennington (2009). User interaction with word prediction: the effects of prediction quality. *ACM Transactions on Accessible Computing*, Vol. V, No. N, March 2009.
18. Garay-Vitoria, N., & Abascal, J. (2006). Text prediction systems: A survey. *Universal Access in the Information Society*, 4, 20.
19. Russell Thomas Cross, Dr. Bob Segalman (2016). The Realize Language System: An Online SGD Data Log Analysis Tool. *Assistive Technology Outcomes and Benefits*, Volume 10, summer 2016, Volume 1 pp 74-93.
20. Lesh, G. W., Moulton, B. J., Rinkus, G., & Higginbotham, D. J. (2000). A universal logging format for augmentative communication. Paper presented at the 2000 CSUN Conference, Los Angeles.
21. Avaz Communication Board <<https://www.avazapp.com>> Acesso em 20 de Novembro de 2018, às 20h.
22. Child Language Data Exchange System - CHILDES <<https://childes.talkbank.org/access/>> Acesso em 18 de Setembro de 2018, às 21h.