

Uso do significado linguístico para suporte à comunicação da informação

Marcelo Alves dos Santos¹ , Cláudio Gottschalg Duque² 

RESUMO

Introdução: Ferdinand Saussure, linguista, semiólogo, filósofo e um dos principais fundadores da semiótica afirma que o "Significado" é uma representação de algo criado na mente, uma associação que está relacionada a um "Significante" que é a impressão psíquica do som. **Objetivo:** Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa é verificar a viabilidade de gerar comunicação baseada em imagens formadas na mente (Significado) e o que ela pode representar cognitivamente relacionado ao Significante utilizando uma interface cérebro-computador. **Metodologia:** Uma interface cérebro-computador foi desenvolvida e um usuário foi submetido a testes de modo que utilizou comandos neuromusculares e comandos mentais puros invocando Significados (associações na mente do usuário) que representam um propósito de se comunicar. **Resultados:** Os resultados permitiram avaliar a relação que une o significado ao significante extraindo informações do cérebro. Imagens psíquicas dotadas de intenção de comunicação foram vinculadas a imagens sonoras, que também são entidades mentais, e quando ativadas cerebralmente foram convertidas em "fala" (som físico) computacionalmente. **Conclusão:** Os resultados demonstram a viabilidade de comunicação nessa modalidade, o que poderia apoiar a necessidades básicas de comunicações de pessoas que não se comunicam oralmente.

PALAVRAS-CHAVE

Linguística. Informação. Comunicação. Inteligência Artificial.

Use of linguistic signified to support information communication

ABSTRACT

Introduction: Ferdinand Saussure, linguist, semiologist, philosopher and one of the main founders of semiotics, affirms that "Meaning" (significance) is a representation of something created in the mind, an association that is useful for a "Signifier" that is a psychic impression of sound. **Objective:** In this context, the objective of this research is to verify the feasibility of generating communication based on images formed in the mind (Signified) and what it can represent cognitively related to the Signifier using a brain-computer interface. **Method:** A computer brain interface has been developed and a user has been tested so that it uses neuro-muscular commands and pure mental commands that invoke Signified (records in the user's mind) that represent a goal of communicating. **Result:** The results allow to evaluate a relationship between signified and signifier of information drawing from the brain. Psychic images of a communication intent were linked to sound images that are also mental entities, when brain activated, are converted in "speech" (physical sound) computationally. **Conclusion:** The results demonstrate the feasibility of communication in this modality, which

Correspondência dos autores

¹Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil / e-mail:

alves.marcelo@gmail.com

²Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil / e-mail:

klausscherzog@gmail.com

could support the basic communication needs of people who do not communicate orally.

KEYWORDS

Linguistics. Information. Communication. Artificial Intelligence.

CRediT

- **Reconhecimentos:** Não é aplicável.
- **Financiamento:** Não é aplicável.
- **Conflitos de interesse:** Os autores certificam que não têm interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em relação ao manuscrito.
- **Aprovação ética:** Não é aplicável.
- **Disponibilidade de dados e material:** Não é aplicável.
- **Contribuições dos autores:** Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Recursos, Software, Supervisão, Validação, Visualização, Rascunho original, Redação, Revisão: SANTOS, Marcelo. A.; GOTTSCHALG-DUQUE, C.



JITA: BJ. Communication.

| 2

Artigo submetido ao sistema de similaridade



Submetido em: 25/01/2021 – Aceito em: 25/02/2022 – Publicado em: 21/03/2022

1 INTRODUÇÃO

Segundo o último censo de pessoas com deficiência realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2010), cerca de 45,6 milhões de pessoas declararam-se portadoras de alguma deficiência, isso representa 23,9% da população brasileira. Desse total, 9.717.318 são portadores de deficiência auditiva, 13.265.599 de deficiência motora e 2.611.536 de deficiência mental ou intelectual. Esses grupos de pessoas com determinados tipos de deficiência tais como surdos, mudos, deficiência motora nos grupos musculares que envolvem a fala, bem como pessoas que passaram por traqueostomia, portadores de doenças tais como Esclerose Lateral Amiotrófica–ELA¹ que no Brasil a incidência é de 1,5 casos/100.000 habitantes, totalizando 2.500 novos casos por ano (XEREZ, 2008), a Atrofia Muscular Espinhal – AMA² que atinge aproximadamente 1 em 10.000 nascimentos (ARAÚJO; RAMOS; CABELLO, 2005) e outras tendem a ter dificuldades com comunicação oral e dificuldades de interação com pessoas (SCHALK et al., 2004).

As Interfaces Cérebro Computador (ICC) ou *Brain Computer Interfaces* (BCI)³ também chamadas de Interface Cérebro Máquina (ICM), ou *Brain Machine Interfaces* (BMC) surgem como alternativa viável e uma esperança de melhorar a qualidade de vida de indivíduos que possuem alguma deficiência. A BCI é uma tecnologia que traduz os sinais cerebrais em comandos pré-definidos que podem ser utilizados para se comunicar controlar aparelhos externos tais como ligar/desligar uma televisão, mover cadeiras de rodas, por exemplo (WOLPAW et al., 2002), e mais recentemente uso de sinais cerebrais usando eletroencefalograma - EEG⁴ como um possível canal de comunicação tem apresentado um rápido avanços, e está se apresentando como um forte contribuinte no campo de tecnologias assistivas (LEEB et al., 2015).

“A Semiótica é ciência dos signos e dos processos significativos (Semiose) na natureza e na cultura” (NÖTH, 1995, p.19) ou ainda “a ciência que tem por objetivo investigar todas a linguagens possíveis” (SANTAELLA, 1983, p. 15). Sendo Charles Sanders Peirce considerado por muitos estudiosos como o mais influente criador da Semiótica moderna” (SANTAELLA, 1983; NÖTH, 2003; ALMEIDA, 2009). Almeida (2009) explica que as atividades semióticas não estão limitadas ao tratamento do que é escrito, uma vez que elas também lidam com imagens que são manipuladas na imaginação, o que quer que signifique: “Um signo está em uma relação conjunta com a coisa denotada para a mente. Se esta relação não é de uma espécie degenerada, o signo está relacionado ao seu objeto somente em consequência de uma associação mental, e depende de um hábito” (PEIRCE, 1958, CP 3.360).

Esse processo é possível, pois quando se deseja expressar, por exemplo, a palavra “casa”, temos uma imagem psíquica associada à materialização dessa imagem, o que faz com que exista uma relação intrínseca entre um signo e aquilo que ele representa, de modo que seu significado pode extrapolar um contexto limitado do objeto, o que Peirce (PEIRCE, 1958, CP 5.470) denomina de “interpretante lógico”:

O símbolo é um signo que estabelece uma relação com seu objeto por meio de uma mediação, ou seja, as ideias presentes no símbolo e em seu objeto se relacionam a ponto de fazer com que o símbolo seja interpretado como se referindo àquele objeto,

¹ELA - A esclerose lateral amiotrófica é uma doença neurodegenerativa de causa desconhecida, que afeta principalmente os neurônios motores da medula espinhal, tronco cerebral e do encéfalo (PALERMO; LIMA; ALVARENGA, 2009).

²AMA - A atrofia muscular espinhal é uma doença neurodegenerativa com herança genética autossômica recessiva (BAIONE; AMBIEL, 2010).

³BCI – Brain Computer Interface é um sistema computacional capaz de estabelecer a comunicação entre a atividade neurofisiológica humana e um computador (SCHUH, 2017).

⁴EEG - Eletroencefalograma são equipamentos que registram a sincronização de milhares de sinais emitidos por neurônios (WOLPAW, 2007).

isto é, fazendo com que o símbolo represente algo que é diferente dele. Assim, o símbolo se relaciona com seu objeto devido a uma ideia presente na mente do usuário, um hábito associativo, uma lei, chamada por Peirce de “interpretante lógico”. Este, como mostra Santaella, “corresponde à lei ou regra interpretativa que guia a associação de ideias ligando o símbolo a seu objeto” (RIBEIRO, 2010, p. 51).

O conceito corrobora com Fiorin (2002) que explica que tanto conceitos, como imagens sonoras, são entidades mentais. A imagem acústica (ou sonora) “não é o som material, físico, mas a impressão psíquica dos sons, perceptível quando pensamos em uma palavra, mas não a falamos” (FIORIN, 2002, p.58).

Baseando-se na semiologia de Saussure (1916), o padrão de sinal cerebral gerado por uma imagem formada na mente de uma pessoa (significado ou conceito) pode representar qualquer coisa, objeto ou necessidade a ser expressa, uma vez que essa relação é implícita ao cognitivo do usuário e está ligada ao significante.

Figura 1. Significante e Significado por Ferdinand Saussure.

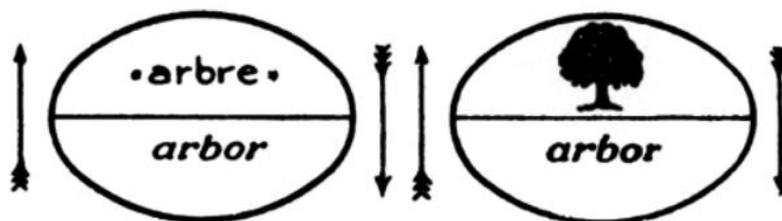


Fonte: Cours de linguistique générale (SAUSSURE, 1916, p. 111).

Saussure (1916) usa “árvore” como exemplo, em latim “arbor”. A teoria de Saussure afirma que a imagem sonora, o “arbor” é arbitrária. Isso é válido quando se olha para diferentes idiomas; para quem não fala latim, 'arbor' não significa nada. Combinado com o conceito, a imagem de uma árvore ou uma árvore à sua frente, torna-se um signo. O que ele está argumentando é que a própria linguagem é realmente arbitrária; são as associações ou conceitos que atribuímos às palavras que mantêm o significado, e formam os signos. Sem esses significados, as palavras não representariam nada, conforme Saussure (1916):

| 4

Figura 2. Signo, por Ferdinand Saussure.



Fonte: Cours de linguistique générale (SAUSSURE, 1916, p. 112).

Como essa imagem psíquica representa algo, torna-se possível atribuir esse padrão de sinal cerebral a um significante (imagem sonora), permitindo fazer uma comunicação subsidiada por uma interface cérebro-computador, e possibilitando a um usuário comunicar-se até mesmo por fala sintetizada (fala gerada por computador).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Os sinais neurais e o eletroencefalograma

Hans Berger, alemão, foi o precursor do desenvolvimento científico do eletroencefalográficos, conseguindo efetuar os primeiros registros de sinais cerebrais (BERGER, 1929). Em 1934, Hans já havia detectado que a atividade elétrica era produzida por neurônios, e não de outras estruturas intracranianas. Hans Berger cunhou a palavra eletroencefalograma - EEG, descreveu a bioeletricidade, na forma de ondas alfa, beta, teta e delta, que é mundialmente utilizada pela ciência moderna (NIEDERMEYER; SILVA, 1982).

Conforme Teplan (2002), sinais biológicos, também chamados biosinais, são sinais que podem ser medidos e monitorados a partir de seres biológicos. Os biosinais em geral são adquiridos por leituras nas variações de correntes elétricas produzidas por tecidos especializados, órgãos ou sistemas, que podem ser capturadas por eletrodos colocados em regiões previamente mapeadas. De modo geral, os sinais que o EEG capta são provenientes de correntes elétricas da atividade do córtex cerebral⁵ rica em tecido neural (neurônios).

O EEG utiliza método de registro das atividades elétricas do cérebro, capturando os sinais que dizem respeito ao fluxo de informações processadas pelo córtex cerebral. Os sinais são detectados por meio de eletrodos colocados em partes do crânio, e medem as diferenças de potenciais entre dois pontos específicos no cérebro. As técnicas de capturas de sinais EEG dividem-se em dois tipos, invasivas e não invasivas (WARD, 2010).

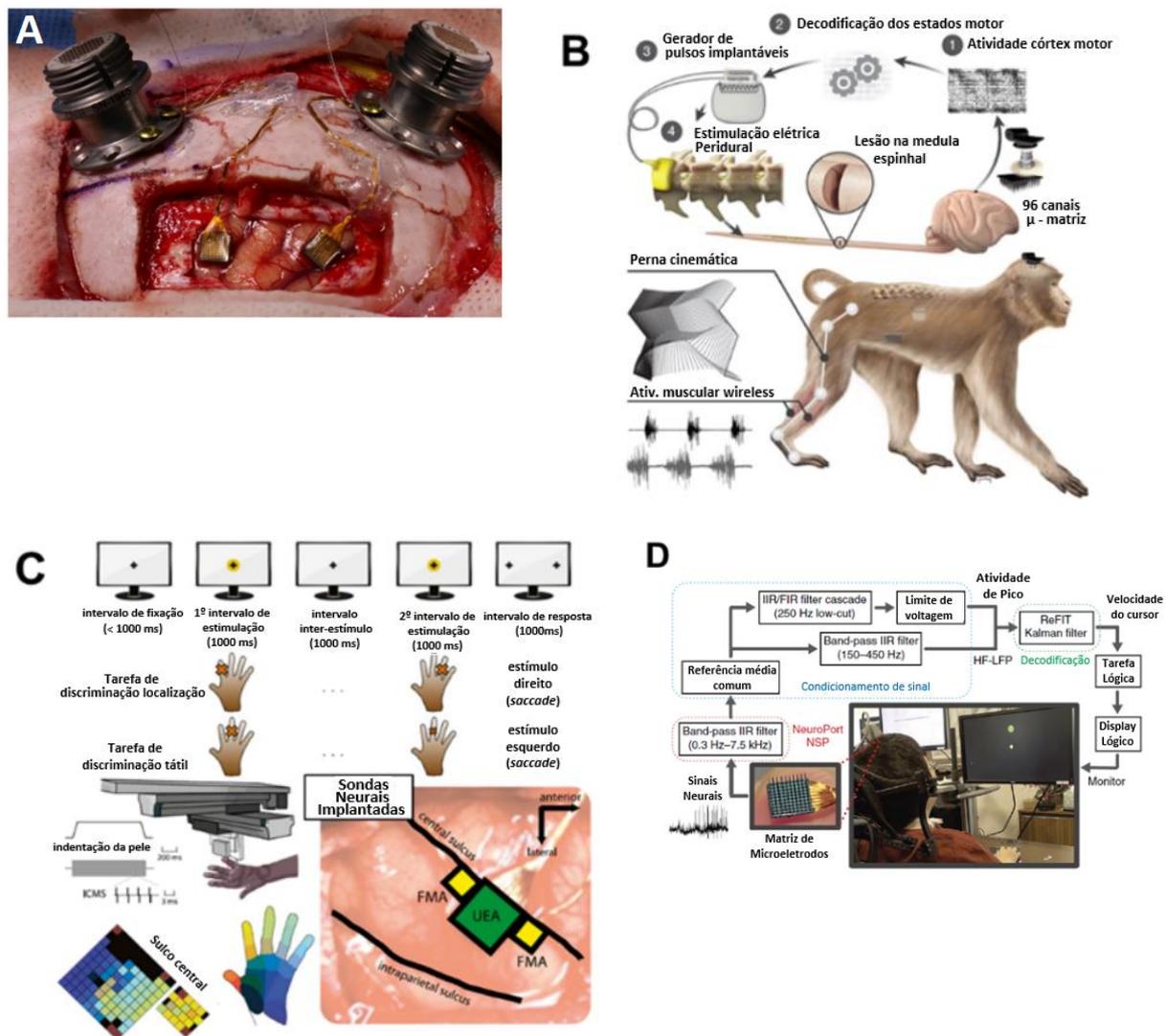
2.1.1 EEG's invasivas

Conforme Wolpaw (2007), o EEG teve os primeiros registros de estudos utilizando a técnica de EEG invasiva em meados dos anos 60. O precursor dessa técnica foi o cientista alemão Eberhard Fetz. Acessando o córtex cerebral, foi possível analisar neurônios localizados no córtex cerebral e associá-los a movimentos motores primários do corpo. O objetivo era capturar comandos cerebrais e enviá-los a dispositivos eletrônicos. Macacos treinados para reagir com movimentos específicos frente a determinados estímulos visuais, sendo possível identificar o intervalo entre o início das atividades das células do córtex e dos músculos envolvidos na reação. Ademais, os estudos também possibilitaram analisar a relação das regiões cerebrais com as áreas do corpo relativas às posições dos membros do corpo que reagiam com força motora.

Essa técnica permitiu a evolução da ciência no que diz respeito a saúde, tecnologia e comunicação em inúmeros trabalhos (O'DOHERTY et al., 2009; FONG et al., 2012; TABOT et al., 2013; ARYA et al., 2013; BUSCH et al., 2015; PANDARINATH et al., 2015; JAROSIEWICZ, 2015; WALDERT, 2016; OPIE et al., 2016; BOUTTE et al., 2017; CHOI et al., 2018; HASSAN et al., 2019).

⁵O córtex cerebral, representa a camada exterior de tecido neural do cérebro do cérebro em seres humanos e outros mamíferos. É também o maior local de integração neural no sistema nervoso central e desempenha um papel fundamental na atenção, percepção, pensamento, memória, linguagem e consciência (SALADIN, 2011).

Figura 3. EEG invasiva (2018).

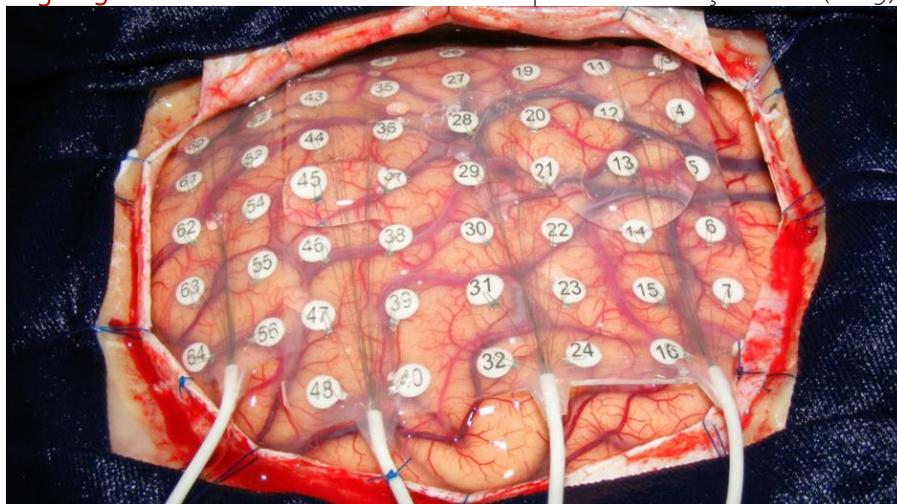


6

Fonte: (CHOI et al., 2018, p.456) – Adaptado.

O estado da arte no que diz respeito ao processo de comunicação e síntese de voz usando BCI invasivas, foi publicado recentemente na revista Science:

Figura 3. O estado da arte em BCIs invasivas para comunicação e fala (2019)



Fonte: (SERVICK, 2019, online).

A equipe de Mesgarani⁶ se baseou em dados de cinco pessoas com epilepsia. Sua rede analisou gravações do córtex auditivo (que está ativo durante a fala e a escuta), pois esses pacientes ouviram gravações de histórias e pessoas nomeando dígitos de zero a nove. O computador então reconstruiu os números falados apenas a partir de dados neurais; quando o computador "falou" os números, um grupo de ouvintes os chamou com 75% de precisão⁷. (SERVICK, 2019).

Outra equipe, liderada pela cientista da computação Tanja Schultz⁸, da Universidade de Bremen, na Alemanha, baseou-se em dados de seis pessoas submetidas a cirurgias de tumores cerebrais. Um microfone capturou suas vozes enquanto liam em voz alta palavras monossilábicas. Enquanto isso, eletrodos registrados a partir das áreas de planejamento de fala do cérebro e áreas motoras, que enviam comandos ao trato vocal para articular palavras. Os cientistas da computação Miguel Angrick⁹ e Christian Herff¹⁰, agora na Universidade de Maastricht, treinaram uma rede que mapeou leituras de eletrodos para as gravações de áudio e depois reconstruiu palavras de dados do cérebro inéditos. De acordo com um sistema de pontuação informatizado, cerca de 40% das palavras geradas por computador eram compreensíveis¹¹, (SERVICK, 2019).

2.1.2 EEG's não Invasivas

Choi et al. (2018), explica que a eletroencefalografia é amplamente utilizada em sistemas BCI não invasivos por ser muito útil para mapear associações entre os sinais do EEG e a função cognitiva (CHOI et al., 2018). No entanto, os métodos neurais não invasivos são limitados porque os sinais neurais de sondas não invasivas são tipicamente insuficientes para tarefas complicadas que exigem alto grau de precisão, como o controle do robô. Por esta razão, as sondas neurais implantáveis¹² são preferidas para sistemas BCI que exigem controles e ajustes precisos, tais como dispositivos neuro próstéticos¹³.

A modalidade não invasiva comumente usada para registrar sinais cerebrais é a eletroencefalografia. Sinais EEG são decifrados para controlar comandos de modo a restabelecer a comunicação entre o cérebro e o dispositivo de saída (WALDERT, 2016). Em que os registros não invasivos de EEG obtidos de eletrodos ligados à superfície do couro cabeludo.

Os estudos mais recentes no que diz respeito a comunicação usando BCI não invasivas estão direcionadas às pesquisas de com usuários *complete locked-in state* - CLIS ou usuários completamente paralisados (CHAUDHARY et al., 2018; GUGER et al., 2017; SHEHIEB; ALANSARI; JADALLAH, 2017; HAN; IM, 2018) e direcionados para a geração de fala/texto (SPÜLER, 2017; NGUYEN; KARAVAS; ARTEMIADIS, 2017) e processamento de fala (SAKTHI, DESAI, HAMILTON e TEWFIK, 2021).

⁶ Nima Mesgarani, cientista da computação da Universidade de Columbia.

⁷ Áudio disponível em: <https://www.sciencemag.org/sites/default/files/audio/Mesgarani-1.mp3>

⁸ Tanja Schultz, cientista da computação da Universidade de Bremen, na Alemanha.

⁹ Miguel Angrick, cientista da computação da Universidade de Maastricht na Holanda.

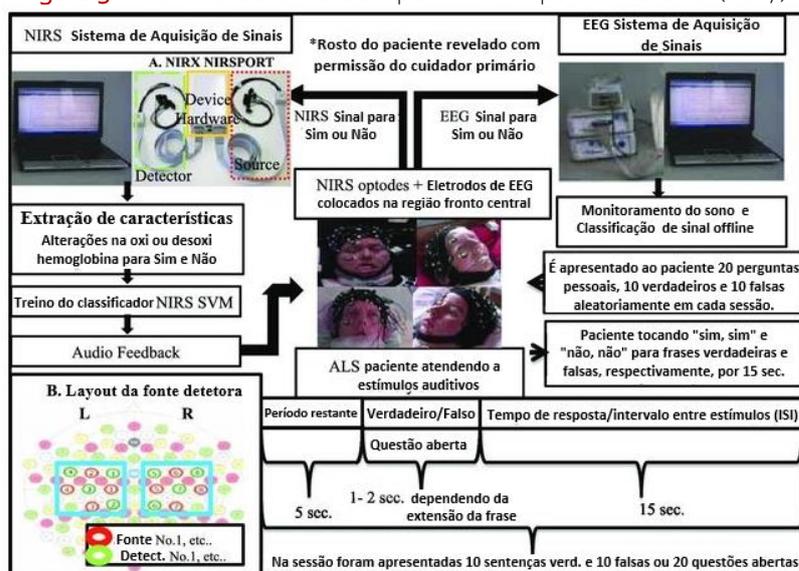
¹⁰ Christian Herff, cientista da computação da Universidade de Maastricht na Holanda.

¹¹ Áudio disponível em: <https://www.sciencemag.org/sites/default/files/audio/Herff-1.mp3>

¹² Sondas Neurais - são microdispositivos implantáveis capazes de estabelecer uma conexão entre o tecido nervoso e sistemas externos, permitindo tanto o registro quanto estímulo da atividade neuronal (MALAVAZI, 2016).

¹³ Neuroprótese ou Próteses Neurais - abrangem uma variedade de dispositivos ou sistemas artificiais que podem ser usados para melhorar os déficits motores, sensoriais, cognitivos, visuais, auditivos e comunicativos que surgem de lesões cerebrais adquiridas por acidente ou por doenças (BAVISHI; ROSENTHAL; BOCKBRADER, 2019).

Figura 5. Interface Cérebro-Computador em pacientes CLIS (2017).



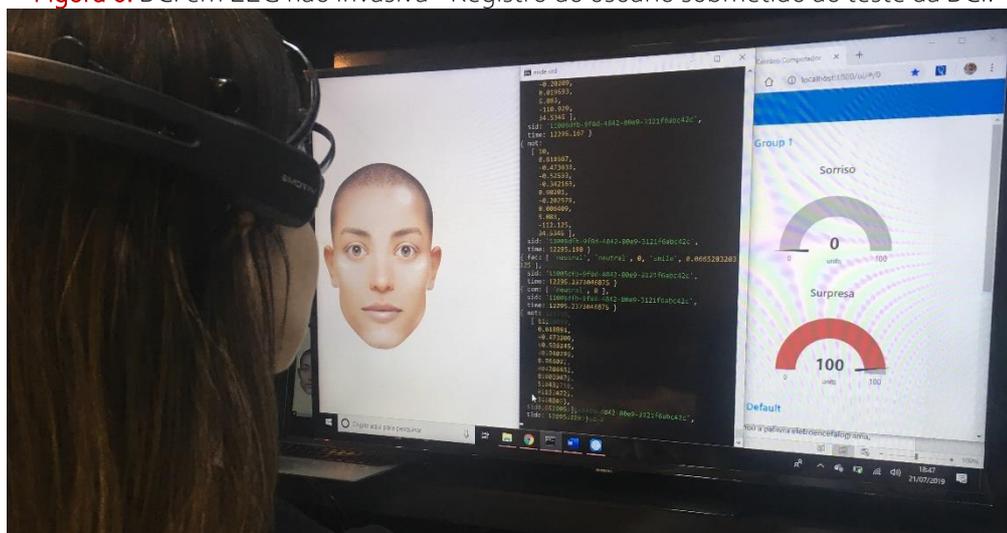
Fonte: (CHAUDHARY et al., 2018, online) – Adaptado.

O Estudo de Han e Im (2018) foi avaliado em uma paciente do sexo feminino no CLIS, que não se comunicou nem mesmo com a família por mais de um ano. Uma acurácia média de classificação online de 87,5% foi obtida usando dados de EEG registrados apenas por 5 segundos. Segundo os autores, este é o primeiro relato de aplicação bem-sucedida da BCI baseada em EEG à comunicação online sim/não de pacientes CLIS (HAN ; IM, 2018). Os pesquisadores Shehieb, Alansari e Jadallah em 2017 utilizaram dispositivos EEG comerciais portáteis de 14 canais (SHEHIEB; ALANSARI; JADALLAH, 2017) e Spüler, geração de letras e fala imaginada (SPÜLER, 2017), apresentado conforme estudo de Nguyen, Karavas e Artemiadis (2017).

Mais recentemente o estado da arte utilizando BCI não invasiva SINGH & GUMASTE (2021) pôde decodificar o sinal de *Imagined Speech* -IS com uma precisão média de classificação de 85% ao classificar uma palavra longa vs. curta. Nossa abordagem proposta também pode diferenciar entre sinais cerebrais em estado de repouso e IS com uma precisão de classificação média de 94%.

O estudo apresentado nesse artigo, a exemplo de SHEHIEB, ALANSARI E JADALLAH (2017) também utiliza EEG comercial portátil de 14 canais com comunicação e online a exemplo de CHAUDHARY et al., (2018), porém usando interface de voz e texto para o receptor usando hardware portátil de 14 canais, e usuário da BCI com capacidade cognitiva e de comunicação normais.

Figura 6. BCI em EEG não invasiva - Registro do usuário submetido ao teste da BCI.



Fonte: Produzido pelos autores.

Estudos afirmam que embora o EEG não invasivo seja menos preciso em comparação com o EEG invasivo, ele ainda contém informações em tempo real suficientes para ser usado como fonte para diferentes aplicações e até mesmo em máquinas de BCI em tempo real e que os métodos de captura de sinais cerebrais não invasivos de EEG podem servir como base para dispositivos de comunicação e controle (WOLPAW; MCFARLAND, 2004; MÜLLER; BLANKERTZ, 2006; CITI et al., 2008; AHMADIAN; CAGNOCI; ASCARI, 2013; SHARMA, JAIN, KAUR e SINGHOBTEVE, 2020).

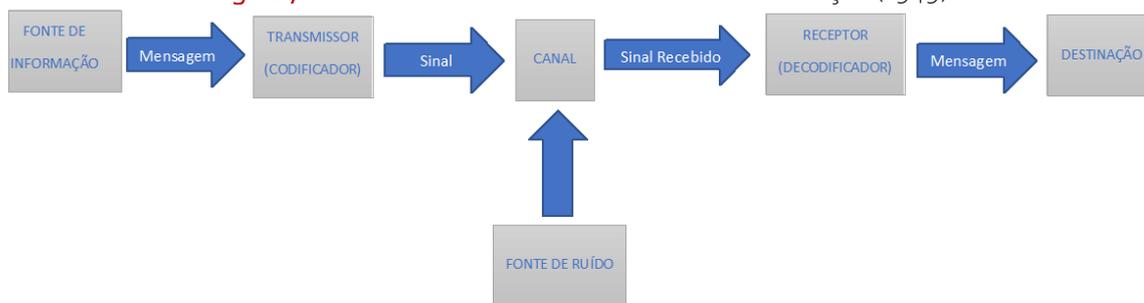
Eletrodos não-invasivos de EEG requerem algum nível de habilidade na pessoa que os coloca na identificação da posição correta, assim como em manutenção periódica para assegurar um contato suficientemente bom com a pele. Métodos aprimorados para extrair os principais recursos do EEG e convertê-los para controlar de dispositivos, bem como treinamento do usuário que utiliza a interface, ajudam a melhorar o desempenho da BCI (MCFARLAND; WOLPAW, 2011).

2.2 O processo de comunicação e a fala sintetizada

O presente estudo não tem nenhuma intenção de criar definições, porém é importante salientar que existe uma certa indefinição, ou mesmo certa confusão na definição do termo comunicação para a Ciência da Informação. Inazawa e Baptista (2012) explicam que assim como Capurro e Hjørland (2005) afirmaram que Ciência da Informação vive um caos conceitual, talvez o um estudo sobre o termo “comunicação” teria como resultado o mesmo caos. Ainda, segundo Inazawa e Baptista (2012), o modelo da Teoria Matemática da Comunicação de Shannon e Weaver (1949), parece ser o esquema mais uniforme entre os autores que tratam sobre as bases epistemológicas que envolvem a ciência da informação (INAZAWA; BAPTISTA, 2012). “Como exemplo de alguns trabalhos que mencionam a Teoria Matemática da Comunicação, tem-se Buckland (1991), Ingwersen (1992), Pinheiro e Loureiro (1995), Bates (1999), Capurro (2003), Araújo (2003), Matheus (2005) e Zins (2007)” (INAZAWA; BAPTISTA, 2012, p.172).

Para esse trabalho, o modelo da Teoria Matemática da Comunicação guia conceitualmente a definição de comunicação. Conforme Eco (1972) apud Wolf (1999) o modelo de Shannon e *Weaver* é muito flexível atendendo as necessidades dos processos de comunicação entre duas máquinas, entre dois seres humanos e entre uma máquina e um ser humano.

Figura 7. Modelo da Teoria Matemática da Comunicação (1949).



Fonte: (Adaptado pelos autores de Shannon e Weaver, 1949, p.7).

Segundo Santos (2013), percebe-se que há tempos o homem tem o desejo interagir com máquinas de uma maneira natural e sabe-se que a fala é a principal maneira de comunicação entre as pessoas, e que a síntese da fala (geração automática da fala pelo computador) tem recebido atenção da comunidade acadêmica e profissional por várias décadas.

Santos e Duque (2011), em um estudo sobre interfaces computacionais multimodais, abordam muitos benefícios neste modo de interação com a informação. Santos (2013) demonstrou que 94% do universo amostral testado compreenderam o texto narrado por voz artificial (sintetizador de voz humana) e Santos e Duque (2011) concluem em seu experimento que 100% dos usuários afirmaram terem compreendido o texto em sua totalidade e 87% dos usuários classificaram o uso da narração de voz por computador como ótimo, muito bom e bom.

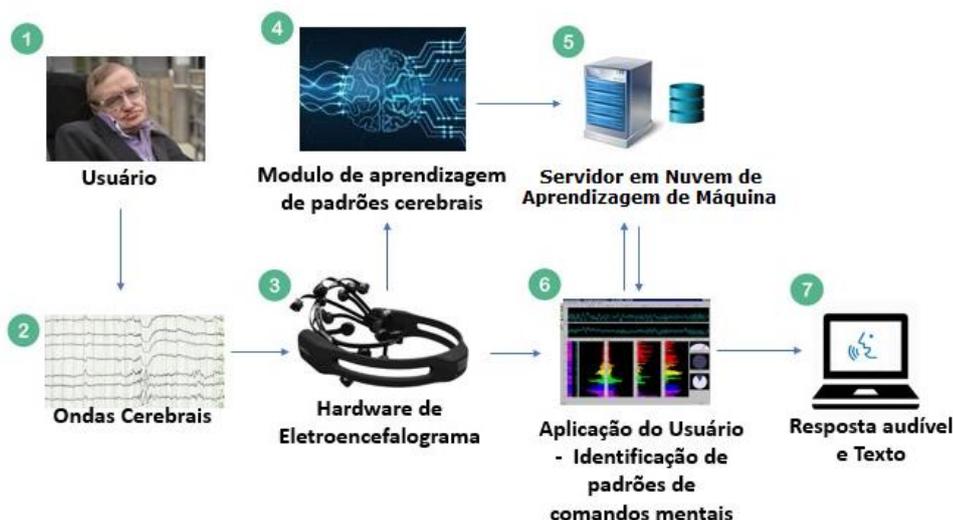
3 METODOLOGIA

3.1 O software

Para a execução da pesquisa, foi desenvolvido o protótipo funcional de um software, uma Interface Cérebro-Computador que trabalha com reconhecimento de padrões de ondas cerebrais usando eletroencefalograma, módulos de aprendizagem para reconhecimento de padrões usando Inteligência Artificial e que capaz emitir mensagens audíveis para dispositivos computacionais, com base em uma intenção de comunicação na mente do emissor, de modo a permitir uma comunicação audível.

| 10

Figura 8. Arquitetura do software.



Fonte: Produzido pelos autores.

Detalhando a figura 8:

Nº 1- Usuário com necessidade de comunicação. Ex.: Portadores de Esclerose Lateral Amiotrófica – ELA, Atrofia Muscular Espinhal – AME, sequelados por AVC ou traumas crânio encefálicos, síndrome do encarceramento, entre outros.

Nº 2- Primordial que usuário possua capacidade gerar atividade cortical com base em movimentos faciais e/ou comando mentais.

Nº 3 – Hardware de eletroencefalograma Emotiv Epoc+ de 14 canais envia sinais cerebrais para módulo de treinamento.

Nº 4 – Reconhece padrões e realiza a conversão de modalidade ondas cerebrais para padrão de comandos. Analisa todos os dados de ondas cerebrais gerados no cérebro em busca de algum padrão já aprendido e envia para armazenamento de informações.

Nº 5 – Servidor que armazena em nuvem os dados de aprendizagem dos padrões de ondas cerebrais do usuário.

Nº 6 – Recebe atividade cortical, ou seja, comandos (ondas) cerebrais (ex.: “Empurrar um objeto”) e/ou gestos faciais (ex.: “Sorrir”), gerada por atividade neuromuscular e atividade gerada por comando mental e busca padrões para identificar comando já aprendido.

Os comandos são transcritos em de informação inteligível, retornada pela base de dados da inteligência artificial, tornando possível atribuir de significado de forma configurável de acordo com a necessidade de comunicação (Ex.: “Sim”, “Não”, “Estou com Sede”, “Estou com Fome”, “Estou com dor” etc.).

Nº 7 –Aplicação que faz a o Processamento de Linguagem Natural - PLN e para gerar a saída do processamento dos sinais mentais em forma de voz sintetizada, e funciona como servidor de aplicação.

3.2 Relação Significado e Significante

Foram mapeados 5 comandos, sendo 2 neuromusculares (expressões de “Sorrir” e “Surpresa”) e 3 comandos mentais puros (“Puxar um objeto”, “Erguer um objeto”, “Empurrar um Objeto”). Cada comando representa uma intenção de comunicação, uma vez que aquilo que se imagina trata-se apenas de uma representação de algo concreto por uma associação mental. O que se cria é uma relação com uma ideia presente na mente do usuário vinculado a um significante. Os comandos mentais e as intenções de comunicação previamente mapeadas estão representados na tabela abaixo:

Tabela 1. Mapeamento Comando/ Intenção.

COMANDOS MENTAIS	INTENÇÃO DE COMUNICAÇÃO
Sorrir	Sim
Surpreso	Não
Puxar objeto	Estou com Sede
Erguer objeto	Estou com Fome
Empurrar objeto	Estou com dor

Fonte: Produzido pelos autores.

3.3 Treinamento do usuário

Para realização do experimento, os critérios para seleção do usuário foram os seguintes: uma pessoa com plenas capacidades de (i) comunicação; (ii) intelectual; (iii) motora; e (iv) visual. Nesse contexto, foi selecionada uma mulher com 37 anos de idade, graduação completa e dotada de todos os pré-requisitos listados.

- a) Os comandos mentais e associações mentais foram passadas e avaliadas para garantir que foram compreendidas pelo usuário.
- b) A usuária respondeu a todas as associações respondidas com 100% de precisão.

Para gerar aprendizagem do modelo de inteligência artificial para reconhecimento dos padrões cerebrais que são individuais, o usuário foi submetido a repetir 5 vezes cada comando neuromuscular e 5 vezes cada comando mental puro.

4 APLICAÇÃO DOS TESTES E RESULTADOS

4.1 Testes com sinais neuromusculares

Com a interface configurada e EEG instalado com qualidade de precisão aferida na cabeça usuário, iniciou-se os testes.

A usuária foi orientada a não dialogar com o interlocutor do experimento durante a aplicação do teste e responder “sim” ou “não” usando os comandos conforme tabela 1.

O primeiro teste foi realizado após o treinamento dos intensões de comunicação relacionadas as respostas audíveis “Sim” e “Não”.

Foram feitas 6 perguntas a seguir e registrada as respectivas respostas para cada pergunta:

Tabela 2. Resultados com respostas SIM / NÃO.

PERGUNTAS	RESPOSTA AUDÍVEL
O ser humano precisa de água para viver?	Sim
A capital do Brasil é Brasília?	Sim
Você está sentada em uma cadeira?	Sim
A cor do céu é verde?	Não
Neste momento você está correndo na rua?	Não
Você mora na Itália?	Não

Fonte: Produzido pelos autores.

As perguntas foram feitas uma por vez com objeto de diminuir os falsos-positivos gerados pela interface. Ainda assim, foi possível detectar a ocorrência alguns falsos-positivos gerados pela BCI no momento que o movimento facial do usuário é neutro. Logo, os registros passavam a ser computados imediatamente depois da realização da pergunta ao usuário.

4.2 Testes com sinais neurais puros

Na segunda parte do teste, o usuário deveria comunicar 3 necessidades de distintas, obedecendo a seguinte ordem: 1) Estou com sede; 2) Estou com fome 3) Estou com dor. Repetindo o processo por 3 vezes, consecutivas em um total de 3 séries.

Tabela 3. Resultados dos comandos mentais por série.

MENSAGEM AUDÍVEL	SÉRIE 1	SÉRIE 2	SÉRIE 3
Tenho sede	OK	OK	OK
Tenho fome	OK	OK	OK
Estou com dor	OK	OK	OK

Fonte: Produzido pelos autores.

O usuário desse estudo apresentou uma excelente habilidade com a BCI, existem casos em que usuários que não conseguem repetir um padrão de ativação cerebral várias vezes seguidas para uma mesma atividade, o que influencia no algoritmo que trabalha com reconhecimento de padrões para aprendizagem. Segundo Vidaurre e Blankertz (2010) esse número varia, entre 15% até 30% dos usuários podem apresentar esse comportamento. Maskeliunas et al. (2016) afirmam que esses números podem chegar a 50% dos usuários, quando utilizam equipamentos de baixo custo.

4.3 Questionário

Após aplicação do teste na BCI, o usuário respondeu as seguintes perguntas emitindo as respectivas respostas:

Tabela 4. Questionário estruturado.

PERGUNTAS	RESPOSTAS DO USUÁRIO
Em que você pensa para gerar a resposta "Sim" (Sorriso)?	"Primeiramente eu me vejo sorrindo, depois executo o gesto de sorrir."
Em que você pensa para gerar a resposta "Não" (Surpresa)?	"Eu me imagino assustada e faço o gesto de surpresa com o rosto."
Em que você pensa para gerar o comando "Estou com sede" (Puxar objeto)?	"Eu imagino um copo com água distante. E eu me concentro para trazê-lo para perto de mim, usando o poder da mente, como se fosse alcançar o copo para beber a água dele."
Em que você pensa para gerar o comando "Estou com fome" (Erguer ou levantar objeto)?	"Eu penso em um prato de comida, e vou levantado o prato (com a mente) como se pudesse fazer o prato flutuar no ar."
Em que você pensa para gerar o comando "Estou com dor" (Empurrar objeto)?	"Eu vejo a imagem de uma coisa ruim! É uma coisa que só existe na minha cabeça. Eu não sei o que é, mas é como se fosse uma espécie de nuvem preta, e ela contém alguns pontos vermelhos e verdes. Eu vejo a dor como algo coisa ruim, então eu acho que essa coisa ("nuvem") que eu vejo na minha cabeça é ruim. Então com a mente eu empurro ela para longe."

Fonte: Produzido pelos autores.

4.4 Discussão e conclusões

Os resultados indicam que é possível estabelecer uma relação de significado e significante para gerar comunicação. Capturando sinais cerebrais com o uso de um EEG, é possível concluir que imagens psíquicas são formadas na mente do usuário e trata-se realmente uma associação cognitiva, uma representação imaginária cujo significado pode ser qualquer coisa e relacionado ao seu significante. Depende simplesmente da associação que o usuário faz em sua mente. No relatado na tabela 4, ao atribuir a imagem mental de erguer um prato de comida ao significado "estou com fome", fica claro que se trata puramente de uma associação criada pelo usuário, pois no lugar do prato de comida poderia ter sido qualquer coisa que

represente “Estou fome com fome” na mente do usuário, como uma fruta, um garfo, um hambúrguer, um animal, ou mesmo uma pedra. O mesmo acontece ações neuromusculares, onde o gesto de positivo que normalmente fazemos movimentando a cabeça de cima para baixo e vice-versa, passa ter uma nova ação, sorrir. Bem como o movimento de negativo, movimentando a cabeça da esquerda para a direita e vice-versa, passa a ser utilizado como uma expressão de surpresa.

De maneira geral, essas representações mentais podem ser qualquer coisa, pois absolutamente tudo de alguma forma pode ser representado por significado, desde que exista alguma relação na mente de uma pessoa. É uma equivalência criada na mente do usuário que substitui algo concreto, um processo de significação. Interessante notar sobre a teoria é o fato de que o estudo demonstra a partir de conceito formado no cérebro, é possível atribuir um significante qualquer, ainda que não faça nenhum sentido para pessoas externas ao contexto. Como o é o caso da comunicação “Estou com dor” da tabela 4, representado por uma espécie de nuvem, como relata o usuário. É uma associação em que é possível perceber a representação de um objeto que não é a coisa propriamente dita, mas tem por objetivo ser uma representação dessa coisa.

O estudo aponta que é possível utilizar a relação dos significados com os significantes como forma comunicação. Aparentemente tanto sinais gerados por movimentos neuromusculares como comandos mentais puros apresentam um grande potencial de comunicação.

A respeito da tecnologia empregada, os comandos na interface possuem a tendência de gerar falsos positivos à medida que o número de comandos disponíveis aumenta, o que pode limitar, de certa forma, a sua utilização de múltiplos intensões de comunicação.

REFERÊNCIAS

AHMADIAN, Pouya; CAGNOCI, Stefano; ASCARI, Luca. How capable is non-invasive EEG data of predicting the next movement? A mini review. **Front. Hum. Neurosci**, 8, 7, 124, Apr. 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23579176>. Acesso em: 01 ago. 2021.

ALMEIDA, Carlos Cândido de. **Peirce e a organização da informação**: contribuições teóricas da semiótica e do pragmatismo. 2009. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Marília, SP, 2009. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/103380/almeida_cc_dr_mar.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 01 ago. 2021.

ARAÚJO, Alexandra Pruber de Q-C; RAMOS, Vivianne Galante; CABELLO, Pedro Hérnan. Dificuldades diagnósticas na atrofia muscular espinhal. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, São Paulo, v. 63, n. 1, mar. 2005, p. 145-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-282X2005000100026>. Acesso em: 01 ago. 2021.

ARYA, Ravindra. *et al.* Adverse events related to extraoperative invasive EEG monitoring with subdural grid electrodes: A systematic review and meta-analysis. **Epilepsia**, v. 54, n. 5, p. 828–39, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23294329>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BAIONE, Mariana C. B.; AMBIEL, Celia R. Atrofia muscular espinhal: diagnóstico, tratamento e perspectivas futuras. **Jornal de Pediatria**, 86, 4, Jul/Ago 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jped/a/wfPCsMcS4z6xcRVNxt8btf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BAVISHI, Sheital; ROSENTHAL, Joseph; BOCKBRADER, Marcia. Rehabilitation After Traumatic Brain Injury. In: EAPEN, Blessen C.; CIFU, David X. (org.). **Science Direct**, Chapter 17 – Neuroprosthetics, p. 241-253, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-54456-6.00017-7>. Acesso em: 21 jan. 2022.

BERGER, H. Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. XIV [The electro-encephalogram of man. XIV]. **Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten**. v. 108, p. 407-431, 1929. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01835097>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BOUTTE, Ronald. W. *et al.* Utah optrode array customization using stereotactic brain atlases and 3-D CAD modeling for optogenetic neocortical interrogation in small rodents and nonhuman primates. **Neurophotonics**, v. 4, n.4, 041502, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28721358>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BUSCH, Robyn. M. *et al.* Effect of invasive EEG monitoring on cognitive outcome after left temporal lobe epilepsy surgery. **Neurology**, v. 85, n. 17, p. 1475–1481, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4631071/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

CAPURRO, Rafael; HJØRLAND, Birger. The concept of information. **Annual review of information science and technology**, Wiley Company, v. 37, p. 343-411, jan. 2005.

CHAUDHARY, Ujwal. *et al.* Correction: Brain-Computer Interface-Based Communication in the Completely Locked-In State. **PLOS Biology**. v. 16, n. 12, e3000089, Dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002593>. Acesso em: 01 ago. 2021.

CHOI, Jong-ryul. *et al.* Implantable Neural Probes for Brain-Machine Interfaces : Current Developments and Future Prospects. **Exp Neurobiol**, v. 27, n. 6, p.453-471, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.5607%2Fen.2018.27.6.453>. Acesso em: 01 ago. 2021.

| 15

CITI, Luca. *et al.* P300-based BCI mouse with genetically-optimized analogue control. **IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.**, 16, p. 51–61, Fev 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18303806>. Acesso em: 01 ago. 2021.

FIORIN, José Luiz. **Introdução à linguística I: objetos teóricos**. 6 ed. São Paulo: Contexto, 2002.

FONG, J S. *et al.* Pathologic findings associated with invasive EEG monitoring for medically intractable epilepsy. **American Journal of Clinical Pathology**, n. 138, p. 506–510, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1309/AJCPGSNL9VDVNJMX>. Acesso em: 01 ago. 2021.

GUGER, C. *et al.* Complete Locked-in and Locked-in Patients: Command Following Assessment and Communication with Vibro-Tactile P300 and Motor Imagery Brain-Computer Interface Tools. **Frontiers in Neuroscience**, 5 Mai 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00251>. Acesso em: 01 ago. 2021

HAN, Chang-Hee; IM, Chang-Hwan. EEG-based brain-computer interface for real-time communication of patients in completely locked-in state. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BRAIN AND COMPUTER INTERFACE (BCI), 6th, 2018. **Proceedings**. Gangwon: IEEE, 2018 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8311509>. Acesso em: 01 ago. 2021.

HASSAN, Akbari. *et al.* Towards reconstructing intelligible speech from the human auditory cortex. **Nature international Journal of Science**, Jan 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-37359-z>. Acesso em: 01 ago. 2021.

INAZAWA, Fernandez K.; BAPTISTA, Sofia G. Modelo conceitual de comunicação da informação para estudos de interação informacional baseado em competências conversacionais em serviço de referência. **Perspectivas em Ciência da Informação**, 17, 1, p. 169-184, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/view/1352>. Acesso em: 01 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS – IBGE. Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência. **Censo demográfico**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf. Acesso em: 01 ago. 2021.

JAROSIEWICZ, Beata. *et al.* Virtual typing by people with tetraplegia using a self-calibrating intracortical brain-computer interface. **Sci Transl Med**, v. 7, n. 313, p. 313ra179, Nov. 2015. Disponível em: doi: <https://dx.doi.org/10.1126%2Fscitranslmed.aac7328>. Acesso em: 01 ago. 2021.

LEEB, R., *et al.* Towards independence: A BCI telepresence robot for people with severe motor disabilities. **Proceedings of the IEEE**, v. 103, i. 6, p. 969–982, jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/jproc.2015.2419736>. Acesso em: 01 ago. 2021.

MALAVAZI, André Hernandes Alves. **Projeto e fabricação de sondas neurais baseadas em MEMS**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP. 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/276895>. Acesso em: 21 jan. 2022.

MASKELIUNAS, Rytis. *et al.* Consumer grade EEG devices: are they usable for control tasks? **PeerJ**, 4, 1746, Mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7717%2Fpeerj.1746>. Acesso em: 01 ago. 2021.

MCFARLAND, Dennis J. ; WOLPAW, Jonathan R. Brain-computer interfaces for communication and control. **Communications of the ACM**, 54, 5, p. 60-66, Mai 2011. Disponível em: <https://cacm.acm.org/magazines/2011/5/107704-brain-computer-interfaces-for-communication-and-control/fulltext#R21>. Acesso em: 01 ago. 2021.

MÜLLER, K. R.; BLANKERTZ, B. Towards non-invasive brain-computer interfaces. **IEEE Signal Process. Mag.**, 23, p. 125–128, 2006. Disponível em: <http://www.academia.edu/download/46069185/msp.2006.170842620160530-12982-19vap8l.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.

NGUYEN, Chuong H.; KARAVAS, George K.; ARTEMIADIS, Panagiotis. Inferring imagined speech using EEG signals: a new approach using Riemannian manifold features. **Journal of Neural Engineering**, n. 15, v. 1, Dez. 2017. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-2552/aa8235>. Acesso em: 01 ago. 2021.

NIEDERMEYER, Ernst., SILVA, Fernando Lopes da. **Electroencephalography: electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields**. Baltimore-Munich: U&S, 1982.

NÖTH, Winfried. **Panorama da semiótica**: de Platão a Peirce. São Paulo: Annablume, 1995.

NÖTH, Winfried. **Panorama da semiótica de Platão a Peirce**. 4. ed. São Paulo: Annablume, 2003.

O'DOHERTY, Joseph E. *et al.* A brain-machine interface instructed by direct intracortical microstimulation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 3, Article ID 20, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/neuro.07.020.2009>. Acesso em: 01 ago. 2021.

OPIE, Nicholas L. *et al.* Feasibility of a chronic, minimally invasive endovascular neural interface. *In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY*, 38th, 2016, Orlando, FL. **Proceedings**. Orlando, FL: IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), p. 4455–4458, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7591716>. Acesso em: 01 ago. 2021.

PALERMO, Simone Fga.; LIMA, José Mauro Braz de; ALVARENGA, Regina Papais. Epidemiologia da Esclerose Lateral Amiotrófica: Europa/América do Norte/América do Sul/Ásia: discrepâncias e similaridades: revisão sistemática da literatura. **Rev. Bras. Neurol**, 45, 2, p. 5-10, 2009. Disponível em: <http://files.bvs.br/upload/S/0101-8469/2009/v45n2/a5-10.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.

PANDARINATH, Chethan. *et al.* Neural population dynamics in human motor cortex during movements in people with ALS. **Elife**, v. 23, n.4, e07436, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26099302>. Acesso em: 01 ago. 2021.

PEIRCE, Charles Sanders. CP - The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Reproducing Vols. I-VI ed. Charles Hartshorne and Paul Weiss. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1931-1935, Vols. VII-VIII ed. Arthur W. Burks (same publisher, 1958). Acesso em: <https://colorysemiotica.files.wordpress.com/2014/08/peirce-collectedpapers.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.

RIBEIRO, Emílio Soares. Um estudo sobre o símbolo, com base na semiótica de Peirce. **Estudos Semióticos**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 46-53, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.1980-4016.esse.2010.49258>. Acesso em: 01 ago. 2021.

SALADIN, Kenneth. **Human anatomy**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2011. p. 416–422.

SANTAELLA, Lúcia. **O que é semiótica**. São Paulo: Brasiliense, 1983. (Coleção Primeiros Passos, v. 103).

SANTOS, Marcelo Alves dos. **Interface multimodal de interação humano-computador em sistema de recuperação de informação baseado em voz e texto em português**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) –Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SANTOS, Marcelo Alves dos; DUQUE, Cláudio Gottschalg. **Ciência da informação estudos e práticas**. Brasília: Thesaurus, 2011. p. 251-265.

SAUSSURE, Ferdinand de. **Cours de Linguistique Générale (1916)**. Publicado por Charles Bally e Albert Sechehaye. Maison d'édition: Payot, Paris, Boulevard Saint-Germain 1971. Disponível em:

https://philosophie.ac-creteil.fr/docrestreint.api/1568/9c8f8295a448df75e861e1116d061b2d2d941c16/pdf/c/0/a/cours_de_linguistique_generale_texte_entier.pdf. Acesso em: 01 ago. 2021.

SCHALK, Gerwin. et al. BCI2000: A general-purpose brain-computer interface (BCI) system. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, Chicago, v. 51, i.6, p. 1034–1043, jun. 2004. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1300799>. Acesso em: 01 ago. 2021.

SCHUH, Anderson Rodrigo. **Interface cérebro-computador híbrida e colaborativa no processo de tomada de decisão**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, 2017. Disponível em: <http://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/7711>. Acesso em: 01 ago. 2021.

SERVICK, Kelly. Artificial intelligence turns brain activity into speech. **Science Magazine**, 2, Jan. 2019. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2019/01/artificial-intelligence-turns-brain-activity-speech>. Acesso em: 01 ago. 2021.

SHANNON, Claude E; WEAVER, Warren. **The Mathematical Theory of Communication**. Urbana: University of Illinois, 1949. Disponível em: https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164/component/file_2383163/content. Acesso em: 01 ago. 2021.

SHARMA, Venkatesh; JAIN, Kumar; KAUR, Amrita; Singh, Ashima. Human-Computer Interaction with Special Emphasis on Converting Brain Signals to Speech. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* ISSN: 2278-3075, Volume-9 Issue-6, April 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341071073_Human-Computer_Interaction_with_Special_Emphasis_on_Converting_Brain_Signals_to_Speech Acesso em: 01 ago. 2021.

| 18

SHEHIEB, Wessam; ALANSARI, Sara; JADALLAH, Nada. EEG-based communication system for patients with locked-in syndrome using fuzzy logic. *In: BIOMEDICAL ENGINEERING INTERNATIONAL CONFERENCE (BMEICON)*, 10th. **Proceedings**. Hokkaido: IEEE, 20017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8229168>. Acesso em: 01 ago. 2021.

SPÜLER, Martin. A high-speed brain-computer interface (BCI) using dry EEG electrodes. **Plos One**, 12, 2, e0172400, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172400>. Acesso em: 01 ago. 2021.

TABOT, Gregg. A. *et al.* The sense of touch with a prosthetic hand through a brain interface. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, n. 110, p. 18279–18284, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3831459/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

TEPLAN, Micha. Fundamentals of EEG measurement. **Measurement science review**, v.2, n.2, p. 1–11. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228599963_Fundamental_of_EEG_Measurement. Acesso em: 01 ago. 2021.

VIDAURRE, Carmem., BLANKERTZ, Benjamin. Towards a cure for bci illiteracy. **Brain Topography**, 3, 2, p. 194–198, Jun. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10548-009-0121-6>. Acesso em: 01 ago. 2021.

WALDERT, Stephan. Invasive vs. non-invasive neuronal signals for brain-machine interfaces: will one prevail? **Front Neurosci**, n. 27, v. 10, 295, 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27445666>. Acesso em: 01 ago. 2021.

WARD, Jamie. **The student's guide to cognitive neuroscience**. London: Psychology Press, 2010.

WOLF, Mauro. **Teorias da comunicação**. Lisboa: Presença, 1999.

WOLPAW, Jonathan R. *et al.* Brain–computer interfaces for communication and control. **Clinical Neurophysiology**, v. 113, n. 6, p. 767–79, jun. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1388245702000573?via%3Dihub>. Acesso em: 01 ago. 2021.

WOLPAW, Jonathan R. Brain–computer interfaces as new brain output pathways. **The Journal of Physiology**, n. 579, p. 613–619, 2007. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2151370/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

WOLPAW, Jonathan R.; MCFARLAND, Dennis J. Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, 101, 51, p. 17849–17854, 2004. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC535103/>. Acesso em: 01 ago. 2021.

XEREZ, Denise Rodrigues. Reabilitação na Esclerose Lateral Amiotrófica: revisão da literatura. **Acta Fisiátrica**, São Paulo, v. 15, n. 3, 2008. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/actafisiatrica/article/view/102947>. Acesso em: 01 ago. 2021.