



A identificação da fala interna por meio da eletromiografia de superfície e da encefalografia: uma revisão de escopo

The Identification of Internal Speech Through Surface Electromyography and Encephalography: a Scope Review

Kyvia Fernanda Tenório da Silva

Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas/Brasil

kyvia.silva@fale.ufal.br

<https://orcid.org/0000-0002-0509-3555>

Susana Carvalho

Universidade Federal de Sergipe (UFS), Aracajú, Sergipe/Brasil

susana_carvalho@uol.com.br

<https://orcid.org/0000-0001-8708-3205>

Miguel José Alves de Oliveira Júnior

Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas/Brasil

miguel@fale.ufal.br

<https://orcid.org/0000-0002-0866-0535>

Resumo: O objetivo deste artigo é apresentar uma revisão de escopo sobre a identificação da fala interna por meio da eletromiografia de superfície e da encefalografia. Foi realizada uma busca na literatura dos últimos cinco anos (2015 a 2020), utilizando-se descritores em inglês e português, organizados de acordo com a seguinte sintaxe: (“*silent speech*” OR “*inner speech*” OR “*covert speech*” OR “*self-talk*” OR “*imaginary speech*”) AND (*electromyography* OR *electromyographies* OR “*surface electromyography*” “*electromyographies, surface*” OR “*electromyography, surface*” OR “*surface electromyographies*” OR *electromyogram* OR *electromyograms* OR *electroencephalography* OR *EEG* OR *electroencephalogram* OR *electroencephalograms*), sem incluir citações e patentes em diferentes bases de dados. A conceituação de fala interna diferiu entre os estudos incluídos nesta revisão, mas teve similaridade quanto à ausência de som e movimento articulatório. O propósito

das pesquisas que analisaram os bio-sinais da eletroencefalografia e/ou eletromiografia de superfície na fala interna comparando-os ou não com a fala audível era desenvolver sistemas que sejam controlados pelo processamento mental da língua.

Palavras-chave: eletroencefalografia; eletromiografia; fala interna.

Abstract: The aim of this article is to present a scope review on the identification of internal speech through surface electromyography and encephalography. A search was performed in the literature of the last five years (2015 to 2020), using descriptors in English and Portuguese, organized according to the following syntax: (“silent speech” OR “inner speech” OR “covert speech” OR “self-talk” OR “imaginary speech”) AND (electromyography OR electromyographies OR “surface electromyography” “electromyographies, surface” OR “electromyography, surface” OR “surface electromyographies” OR electromyogram OR electromyograms OR electroencephalography OR EEG OR electroencephalogram OR electroencephalograms), not including citations and patents in different databases. The concept of internal speech differed among the studies included in this review, but it was similar in terms of the absence of sound and articulatory movement. The purpose of the research that analyzed the biosignals of electroencephalography and/or surface electromyography in internal speech, comparing them or not with audible speech, was to develop systems that are controlled by the mental processing of the language.

Keywords: surface electromyography; electroencephalography; inner speech.

Recebido em 27 de outubro de 2021

Aceito em 02 de fevereiro de 2022

1 Introdução

A fala é um ato individual da vontade do falante, isto é, o falante detém a competência de usar a língua que adquiriu (SAUSSURE, 2006, p.19). Além disso, ela acontece no aqui e agora, ou seja, é realizada no momento que é planejada (RASO, 2013, p.19). A fala pode ser caracterizada do ponto de vista fisiológico, articulatório, acústico e pragmático (RASO, 2013; SILVA *et al.*, 2019).

A produção da fala envolve os neurônios motores superiores, o trato extrapiramidal, os circuitos dos gânglios da base e de controle do cerebelo, as vias finais do sistema motor formadas pelos nervos laringeos que se conectam com os músculos da respiração, da face e da laringe às áreas cerebrais correspondentes. Tal atividade resulta da interação do sistema

nervoso central e periférico e dos receptores sensoriais que processam sinais fisiológicos (BEHLAU; AZEVEDO; MADAZIO, 2013, p. 19).

Podem ser mensurados os sinais fisiológicos provenientes do sistema nervoso central e periférico, os potenciais de ação muscular e a pressão sonora na produção da fala por meio de sensores e equipamentos especializados. As medidas desses sinais são denominadas de biossinais, que têm sido um campo de pesquisa que busca compreender os mecanismos subjacentes à produção da fala humana (SCHULTZ, 2017, p. 2257).

Segundo Schultz (2017, p. 2257), esse campo tem recebido incentivo dos avanços tecnológicos que permitem investigar os biossinais da fala em pesquisas voltadas para o desenvolvimento de sistemas de comunicação falada, abrangendo duas áreas de convergência: reconhecimento de fala e voz sintética.

Essas áreas incluem Interfaces Cérebro-Computador (*Brain-Computer Interface* - BCI), também denominadas de interface cérebro-máquina (*Brain Machine Interface* - BMI), sistemas de comunicação de hardware e software que possibilitam aos humanos interagir, usando sinais de controle gerados da atividade eletroencefalográfica (NICOLAS-ALONSO; GOMEZ-GIL, 2012, p. 1212) e a interface de fala silenciosa (*Silent-Speech Interfaces* - SSI), sistema que permite a comunicação por voz sem sinal acústico audível disponível, produzindo uma representação digital da fala que pode ser sintetizada, interpretada como dados ou encaminhada para uma rede de comunicações (DENDY *et al.*, 2010, p. 270).

As duas interfaces podem empregar a eletroencefalografia (EEG), que mede a atividade elétrica do cérebro. Com essa técnica, os sinais são registrados de forma não invasiva por meio de eletrodos colocados no couro cabeludo e a eletromiografia de superfície (EMG) registra a atividade elétrica muscular capturada por eletrodos de superfície (DENDY *et al.*, 2010, p. 278).

As pesquisas experimentais que utilizam essas técnicas adotam em suas metodologias o princípio de que os biossinais de fala sejam registrados de forma inaudível (CHUYSUD, K.; PUNSAWAD, 2019; JANKE; DIENER, 2017; SRISUWAN; PHUKPATTARANONT; LIMSAKUL, 2018). No entanto, não há um consenso entre essas pesquisas quanto à terminologia adotada para fala inaudível, que, de acordo com Schultz (2017, p. 2259), pode ser silenciosa, imaginada e interna.

Diante da falta de consenso terminológico para a fala inaudível, é necessário investigar como os estudos a conceituam, qual a natureza metodológica empregada nos estudos e identificar quais os resultados apresentados. O objetivo deste artigo é, portanto, apresentar uma revisão de escopo sobre a identificação da fala interna a partir de estudos experimentais que empregam a eletromiografia de superfície e a encefalografia.

2 Metodologia

Para a realização desta revisão, foram realizadas cinco etapas: definição da pergunta norteadora, elaboração dos critérios de inclusão e exclusão para a busca da literatura, estabelecimento das informações a serem colhidas dos estudos e apresentação da revisão, baseada na recomendação *Prisma-ScR*¹ (TRICCO *et al.*, 2018, p. 467).

Para execução da pesquisa bibliográfica e da discussão desta pesquisa, foi elaborada a questão norteadora: como os estudos experimentais que empregam a eletromiografia de superfície e a eletroencefalografia identificam a fala interna?

2.1 Estratégias de busca

Para a execução da pesquisa bibliográfica, foi feita uma busca no ano de 2021 nas seguintes bases de dados: Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), *Public Medicine Library* (PubMed), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), MEDLINE (*Medical Literature Analysis and Retrieval System on-line*), *Scopus* (Elsevier), *Google Scholar* e BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações), disponíveis no Portal do Periódico Capes, que foram escolhidas por serem bases da área da saúde ou por abrangerem áreas da tecnologia, ciências sociais, artes e humanidades, visto que a eletroencefalografia e a eletromiografia de superfície são técnicas usadas na área da saúde e em outras áreas destinadas à pesquisa. Foi realizada também uma pesquisa de descritores em inglês e português, usando a seguinte sintaxe: (“*silent speech*” OR “*inner speech*” OR “*covert speech*” OR “*self-talk*” OR “*imaginary speech*”) AND (*electromyography* OR *electromyographies* OR “*surface electromyography*” “*electromyographies, surface*” OR “*electromyography, surface*” OR “*surface electromyographies*” OR *electromyogram* OR *electromyograms* OR *electroencephalography* OR *EEG* OR *electroencephalogram* OR *electroencephalograms*), sem incluir citações e patentes nas bases de dados.

¹ Protocolo internacional para realização de revisão de escopo, que serve para sintetizar evidências e avaliar o escopo da literatura sobre um tópico.

2.2 Critérios de inclusão

Foram selecionados os artigos em português e inglês publicados nos últimos cinco anos (2015 a 2020) que tratassem do tema da identificação da fala interna por meio da eletromiografia de superfície e da encefalografia. Após cinco anos da data de publicação, as pesquisas estão mais sujeitas a se tornarem obsoletas em decorrência do avanço tecnológico.

2.3 Critérios de exclusão

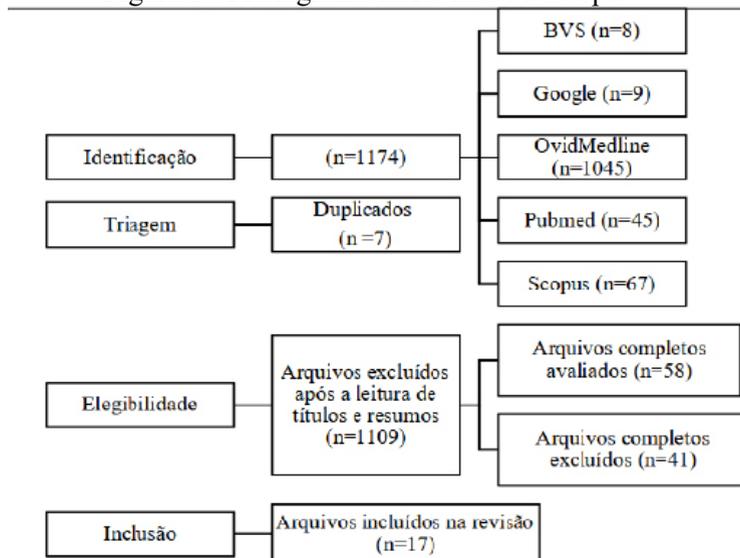
Estudos duplicados e de revisão foram descartados, bem como aqueles que tinham entre seus participantes crianças, idosos, pessoas com patologias de voz, alterações cognitivas e auditivas. Essa seleção decorre desta revisão que visa mapear pesquisas com participantes adultos saudáveis com a pretensão de avaliar como abordaram a fala interna com esse público para aplicar em futuro experimento.

2.4 Coleta e análise dos dados

Inicialmente, foram executadas a busca, a identificação dos artigos, a avaliação dos títulos e resumos, depois a leitura na íntegra e seleção final para esta revisão. Três bases de dados não apresentaram resultados para busca realizada com os descritores, sendo elas: Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações).

Foram encontrados 1174 arquivos, sendo que 1109 arquivos foram eliminados a partir dos critérios de exclusão com base no título e no resumo, restando 65 arquivos. Ao analisar os arquivos baixados, foram identificados sete arquivos duplicados que também foram descartados, sobrando 58 arquivos para serem lidos na íntegra. Desses 58 restantes, foram excluídos 41 arquivos, porque o foco de análise de tais estudos era a rede neural ou o desenvolvimento de algoritmos para os sinais da eletromiografia de superfície e/ou da eletroencefalografia, restando apenas 17 estudos que analisaram a fala interna. O fluxograma, mostrado a seguir na figura 1, descreve a seleção das publicações desta revisão, baseado na recomendação *Prisma-ScR* (TRICCO *et al.*, 2018).

Figura 1 - Fluxograma da revisão de escopo



Para sintetizar os estudos, uma análise descritiva para examinar cada artigo foi usada. Posteriormente, os artigos foram organizados e agrupados a partir da temática. Constam nos resultados desta revisão resumos narrativos.

3 Resultados

Ao realizar o levantamento bibliográfico sobre estudos que tratassem sobre a fala interna foram localizados 17 pesquisas realizadas em nove países, divididas em duas categorias: estudos envolvendo a fala interna e a fala audível (BOWERS *et al.*, 2019; BRADLEY *et al.*, 2019; TØTTRUP *et al.*, 2019; WHITFOR *et al.*, 2017) e aqueles que analisaram apenas a fala interna (ACHANCCARAY; SEPULVEDA, 2019; ARTEMIADIS, 2018; GALEGO, 2016; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2017; JAHANGIRI *et al.*, 2018; JAHANGIRI; SEPULVEDA, 2019; JAHANGIRI; NALBORCZYK *et al.*, 2020; KOIZUMI; UEDA; NAKAO, 2018; KOMEILPOOR; CESARI.; DAFFERTSHOFER, 2017; NALBORCZYK *et al.*, 2017; NGUYEN; KARAVAS; PAWAR; DHAGE, 2020; SERESHK *et al.*, 2017; YOSHIMURA *et al.*, 2016). Os trabalhos realizados nas diferentes áreas de pesquisa (Audiologia e Patologia da fala, Ciência da Computação, Engenharia, Neurociência, Neurologia, Psicologia, Tecnologia) são apresentados abaixo nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1- Síntese dos artigos que tratam dos estudos envolvendo a fala interna e a fala audível

Estudos envolvendo a fala interna e a fala audível					
Autor/Ano/ País	Objetivo	Tipo de experimento/ Técnicas	Participantes	Conceito de fala	Achados
WHITFOR <i>et al.</i> (2017) Austrália	Explorar se a supressão de N1, ² que tem sido observada consistentemente em resposta à fala audível, também ocorre em resposta à fala interna, que é uma ação puramente mental.	Experimental/ Técnica: EEG	Fala interna: 42 participantes, sendo 24 mulheres, idade média 23,4. Fala audível: 30 indivíduos participaram do experimento. A idade média dos participantes foi de 25,0 anos (desvio padrão = 6,0) e 20 eram do sexo feminino.	A fala interna refere-se à produção silenciosa de palavras na mente.	Por meio do experimento de fala interna, a produção de um fonema interno resultou na atenuação sensorial do potencial evocado auditivo eliciado por um fonema audível apresentado simultaneamente, na ausência de qualquer ação motora manifesta, ou seja, a produção da fala interna, por si só, levou à supressão de N1 para um som audível. Além disso, a atenuação sensorial era dependente do conteúdo do fonema interno correspondendo ao conteúdo do fonema audível. No experimento da fala audível, a amplitude de N1 foi menor quando os participantes produziram simultaneamente o mesmo fonema em sua fala audível (condição de correspondência), em comparação com quando produziram um fonema diferente em sua fala audível (condição de incompatibilidade). Além disso, essa amplitude foi significativamente menor na condição passiva em comparação com as duas condições ativas (ou seja, correspondência e incompatibilidade). Isso se justifica pelo fato de que os participantes foram solicitados a realizar uma ação motora audível no experimento de fala audível, mas não no experimento de fala interna.
BOWERS <i>et al.</i> (2019) EUA	Usar análise de componente independente de dados de EEG para investigar diferenças no curso de tempo de MU sensório motor e ERPs alfa do lobo temporal e IPCs (coerência de fase Inter componente) entre a produção de fala audível e encoberta com influência mínima de artefato relacionado ao movimento.	Experimental/ Técnicas: EGG e EMG.	23 falantes nativos de inglês destros, sendo 3 homens com idade média de 25,16 anos (21 a 46) e nenhum histórico de distúrbios auditivos, cognitivos, comunicativos ou de atenção.	Imagem interna da fala (ou seja, a produção de fala encoberta) com influência mínima do artefato relacionado ao movimento.	Os resultados mostraram que, em relação à produção encoberta, a produção audível foi associada a maior supressão alfa / beta em frequências <10Hz logo após a apresentação do estímulo ortográfico entre os componentes sensório motores esquerdo e direito, juntamente com melhorias significativas no intervalo teta (4-7 Hz) durante o período de planejamento e aprimoramentos delta – teta durante a produção. A coerência de fase Inter componente do hemisfério esquerdo em frequências <10Hz foi máxima durante a execução da fala na condição fala audível, enquanto um pico semelhante foi evidente na condição de fala encoberta logo após a deixa para falar com valores decrescentes depois disso. Em contraste, a coerência de fase Inter componente do hemisfério direito foi máximo em frequências <10Hz na condição de fala encoberta durante o período (500-1000 ms) associado à execução audível na condição de fala audível. Além disso, picos betas intermitentes significativamente maiores foram observados em ambos os hemisférios esquerdo e direito na condição de fala encoberta.

² Componente N1 é uma resposta cerebral eletrofisiológica produzida a partir do estímulo auditivo. A supressão de N1 ocorre quando o cérebro processa sons de forma mais atenuada do que sons externos idênticos (WHITFORD *et al.*, 2017, p.1).

BRADLEY <i>et al.</i> (2019) Austrália	Investigar se a fala interna, como a fala audível, é acompanhada por uma descarga de corolário temporalmente precisa e de conteúdo específico.	Experimental/ Técnica: EEG.	Experimento 1:42 participantes relataram ter audição normal em ambos os ouvidos. Dados de três participantes foram excluídos. A idade média dos participantes restantes, 20 dos quais eram mulheres e 38 dos quais eram destros, foi de 20 anos. Experimento 2:61 participantes. Dados de seis participantes foram excluídos. A idade média dos demais participantes, 42 dos quais eram mulheres e 52 destros, foi de 20 anos.	A fala interna é a produção silenciosa de palavras na mente.	A produção do fonema interno atenuou o N1, mas apenas quando os fonemas interno e audível ocorreram simultaneamente e combinaram com o conteúdo. Se o fonema audível for apresentado antes ou depois da produção do fonema interno, ou se o fonema interno não correspondia ao conteúdo do fonema audível, não ocorria atenuação do N1. A fala interna exerce efeito semelhante no processamento auditivo, indicando uma equivalência funcional entre as descargas associadas à fala interna e audível, embora a fala interna não produza um som audível.
TØTTRUP <i>et al.</i> (2019) Dinamarca	Investigar a viabilidade de classificar a fala (encoberta e audível) para o controle de um dispositivo externo com base no EEG de ensaio único.	Experimental/ Técnica: EEG e EMG	Sete indivíduos destros saudáveis (cinco mulheres; 24 ± 2 anos).	Fala encoberta entendida como fala interna.	Os autores usaram os sinais do EEG e do EMG sincronizados, tornando mais eficiente a captação dos sinais. Para classificar a fala audível e encoberta, foram requeridas ações que solicitavam apenas a produção da fala (audível e encoberta), apenas a realização do movimento e a associação da fala com movimento. Os resultados mostraram que a precisão média de classificação para fala encoberta foi $67 \pm 9\%$ sendo inferior à fala audível com precisão de classificação de $75 \pm 7\%$. A precisão média de classificação para imagem motora foi $77 \pm 6\%$, sendo semelhante à precisão da classificação para a execução do movimento de $79 \pm 6\%$. A precisão média de classificação para todas as ações secretas (fala encoberta e imagem motora) foi $61 \pm 9\%$, sendo inferior à precisão de classificação média para todas as ações abertas (fala audível e execução de movimento) de $67 \pm 7\%$. Os autores sugerem que a fala encoberta poderia ser usada para o controle do BCI e uma alternativa potencial para pacientes que não podem usar imagem motora.

Quadro 2- Síntese dos artigos que tratam dos estudos que analisam a fala interna

Estudos que analisam a fala interna					
Autor/Ano/País	Objetivo	Tipo de experimento/ Técnicas	Participantes	Conceito de fala	Achados
GALEGO (2016) Brasil	Desenvolver um sistema experimental para adquirir, extrair e classificar sinais de EMG dos músculos da face que estão relacionados ao processo da fala com determinados comandos verbais, assim como, adquirir conjuntamente sinais de EEG relacionados aos eventos estudados com os mesmos comandos.	Experimental / Técnicas: EEG e EMG	Sete sujeitos saudáveis, entre 22 e 35 anos, de ambos os sexos. Sete sujeitos com sequelas de AVC, com idade entre 59 anos e 75 anos, do sexo masculino.	A fala interna consiste no ato de pensar em realizar movimento.	O autor utilizou os sinais do EMG e do EEG sincronizados, tornando mais eficiente. Além disso, ele realizou a classificação de quatro comandos verbais mediante sinal de EMG, obtendo médias de acerto entre 88,8% e 94,2% e foram alcançadas taxas de até 70% sem EMG e de até 80,8% com EEG e EMG.
YOSHIMURA <i>et al.</i> (2016) Japão	Classificar a atividade cerebral associada à articulação de vogais secretas.	Experimental/ Técnica: EEG e FMRI.	Dez participantes humanos saudáveis (um do sexo feminino e nove do sexo masculino fizeram parte do experimento; idade média \pm desvio padrão: 34,1 \pm 9,2). Todos os participantes tinham audição normal.	Articulação de vogais encobertas, ou seja, produção silenciosa da fala de vogais na mente.	O estudo demonstrou que a precisão de classificação de articulação de vogais encobertas usando correntes corticais EEG foi significativamente maior do que a que usa sinais de sensor EEG. Além disso, esse é o primeiro estudo a mostrar que é possível usar as correntes corticais da EEG em soletadores BCI, bem como as áreas anatômicas contribuintes e suas conectividades funcionais para articulação de vogais secretas. Apesar do circuito neural para articulação de vogais encobertas não ser confirmado a partir da análise, os resultados foram consistentes com outros estudos que falam sobre o processamento fonológico durante a produção da linguagem.
JAHANGIRI; SEPULVEDA (2017) Reino Unido	Investigar as diferentes bandas de frequências usando tarefas mentais de fala encoberta para BCI	Experimental/ Técnica: EEG	Dez voluntários, sendo oito participantes neurotípicos, um disléxico e um autista ao ver as abreviações imaginassem as palavras que correspondiam.	Produção de sílaba encoberta (fala que é gerada internamente, mas não articulada).	Os resultados mostraram que a precisão da classificação para todos os usuários em todos os casos é alta (72-88%). A banda Alfa tem o maior poder de classificação seguido pela banda Beta. No entanto, apenas 12% das características mais importantes (13.894 no total) estão na banda Alfa e 31% (34.654 no total) na banda Beta. Embora a banda Gama tenha menor poder de classificação, 57% das características mais importantes (63.814 no total) estão nesta banda.

KOMEILIPOOR; CESARI; DAFFERTSHOFER (2017) Holanda	Usar a competição entre as entradas auditivas e visuais, bem como entre as entradas auditivas e sensorio-motoras, para sondar como as oscilações corticais contribuem para a integração multis sensorial.	Experimental/ Técnica: EEG	12 voluntários, sendo cinco mulheres, participaram de um experimento usando o EEG com o intuito de identificar a influência dos correlatos neurais na observação e / ou articulação silenciosa de sílabas congruentes / incongruentes na percepção auditiva.	Fala silenciosa é articular as sílabas com o mínimo de vocalização possível.	A percepção auditiva de sílabas é degradada quando os participantes observaram e, em menor grau, a articulação silenciosa das sílabas incongruentes. Há um maior envolvimento do sistema auditivo, em vez do motor, na interação áudio articulatória e que o giro superior temporal direito desempenha um papel central tanto para a convergência audiovisual quanto audiomotora.
NALBORCZYK <i>et al.</i> (2017) França	Examinar os correlatos fisiológicos de ruminação verbal na tentativa de fornecer novos dados no debate entre simulação motora e abstração.	Experimental/ Técnica: EMG	72 participantes iniciais com exclusão de um, , restando 71 com idade média 20,58 anos. Os participantes relataram não ter nenhuma doença neurológica ou histórico médico psiquiátrico, nem distúrbio de linguagem ou deficiência auditiva, além de não tomarem nenhum medicamento.	A ruminação verbal é um caso particular de fala interna, que é definida como produção verbal silenciosa na mente ou a atividade de falar silenciosamente consigo mesmo.	O aumento da atividade muscular da face registrada pelo EMG confirma a hipótese de que a ruminação é uma instância de discurso interno articulatório especificado. Além disso, o aumento da atividade orbicular da boca pode estar relacionado ao aumento na verbalização encoberta, enquanto o aumento na atividade frontal pode estar relacionado ao aumento da tensão facial devido ao efeito negativo. Os autores mostraram o envolvimento dos músculos da fala durante a ruminação. Isso está de acordo com a visão de simulação motora, na qual a fala interna é totalmente especificada no nível da articulação, não apenas no nível léxico. Além disso, os resultados mostraram que o relaxamento provocou uma diminuição na atividade muscular dos músculos envolvidos na fala, indicando que a redução na atividade muscular da produção da fala pode dificultar a simulação articulatória e limitar produção de fala interior, reduzindo, assim, a ruminação.
SERESHK <i>et al.</i> (2017) EUA	Investigar a classificação online alcançável de fala encoberta com base em sinais de eletroencefalografia (EEG).	Experimental/ Técnica: EEG	12 participantes, sendo seis homens e seis mulheres com idade entre 25 e 33.	Fala encoberta é a produção mental, sem qualquer vocalização ou movimento motor.	Para a discriminação entre o ensaio mental da palavra “não” versus o descanso, uma precisão média da sessão online de $75,9 \pm 11,4\%$ foi alcançada através de acertos de nível de acaso de passagem com 10 dos 12 participantes. Os participantes estavam mais engajados durante as sessões online em comparação com as sessões offline devido à presença de feedback após cada tentativa. Os resultados sugeriram que a fala encoberta pode ser adequada para usuários selecionados de BCI.
JAHANGIRI <i>et al.</i> (2018) Reino Unido	Analisar o desempenho do sistema BCI para tarefas de imagens motoras e para tarefas de fala encoberta.	Experimental/ Técnica: EEG	Quatro participantes neurologicamente saudáveis.	Fala encoberta (fala que é gerada internamente, mas não articulada).	Para tarefas de imagens motoras, 15,1% de todos os recursos estão concentrados na faixa de segundos (0,73-0,875), correspondendo à realização de movimentos imaginários e à interrupção dos movimentos reais por meio do controle executivo orientado por objetivos. Esse controle envolve atividade cognitiva de alta frequência em regiões do cérebro, como o córtex parietal superior e o córtex pré-frontal. 23,2% de todos os recursos mais valiosos estão dentro das bandas alfa e beta relacionadas às imagens motoras. Os outros 76,8% dos recursos estão nas bandas gama e gama alta (funções cognitivas), sugerindo que, em tarefas motoras de imaginação, as funções cognitivas geram uma quantidade significativamente maior de atividade dependente de classe em comparação com o movimento de execução. 48,8% dessas características estão acima de 70 Hz, que correspondem às funções de processamento linguístico não existindo sem a imaginação motora, podendo fornecer uma possível explicação para a maior precisão de classificação de tarefas de fala encoberta (82,5%) em comparação com tarefas de imagens motoras (77,2%) em um ambiente idêntico, considerando que há uma correlação direta positiva (com $R = 0,8822$ e $P = 0$) entre suas performances.

<p>KOIZUM; UEDA; NAKAO (2018) Japão</p>	<p>Planejar um modelo de imagem visual envolvendo a visualização da operação alvo e, em seguida, examinar a possibilidade de distinguir as imagens visuais. Investigar um modelo de fala interna previamente aplicado, que compreende a pronúncia interna de palavras sem emitir sons, e fala interna + imagens visuais, que combina as duas técnicas.</p>	<p>Experimental/ Técnica: EEG</p>	<p>15 indivíduos saudáveis do sexo masculino participaram dos experimentos. 14 dos 15 participantes eram destros. A idade média dos 15 participantes era de 22,9 anos (desvio padrão, 2,3, variação, 20-29 anos). Todos os participantes tinham visão normal ou corrigida para normal.</p>	<p>Fala interna compreende a pronúncia interna de palavras sem emissão de sons.</p>	<p>Os autores constataram que o efeito da frequência foi significativo (com a correção Greenhouse-Geisser, $F(3,27, 45,72) = 37,90$; $p < 0,001$ na tarefa de fala interna, $F(4,42, 61,84) = 27,23$; $p < 0,001$ na tarefa de imagem visual, $F(3,46, 48,47) = 24,80$; $p < 0,001$ na tarefa de fala interna + imagens visuais). Na tarefa de fala interna e na tarefa de imagem visual, a banda gama alta rendeu melhor precisão do que qualquer uma das bandas de frequência mais baixa ($p < 0,05$). Quando apenas a banda gama alta foi usada, a precisão média entre os 15 participantes foi de 82,9% para a fala interna, 82,6% para imagens visuais e 82,7% para a fala interna e imagens visuais. Além disso, a precisão para o córtex pré-frontal foi a maior em todas as tarefas (81,3% para fala interna, 84,6% para imagens visuais e 83,2% para fala interna e imagens visuais e a precisão média foi mais alta para o polo frontal 75,0% para fala interna, 75,9% para imagens visuais e 78,7% para fala interna e imagens visuais).</p>
<p>NGUYEN; KARAVAS; ARTEMIADIS (2018) EUA</p>	<p>Investigar os mecanismos da fala imaginada e avaliar a adequação de cada grupo para as aplicações do BCI.</p>	<p>Experimental/ Técnica: EEG</p>	<p>15 sujeitos saudáveis, sendo 11 homens e quatro mulheres, com idade entre 22 e 32 anos.</p>	<p>Três tipos diferentes de fala imaginada, a saber, fala imaginada de palavras curtas (<i>in, out e up</i>), palavras longas (<i>cooperate e independent</i>) e vogais (<i>/a/, /i/ e /u/</i>). Fala imaginada é entendida como a produção interna, ou seja, na mente sem qualquer vocalização ou movimento muscular.</p>	<p>Os autores constataram que a atividade cerebral durante o experimento foi concentrada quase exclusivamente nos lados frontais esquerdo, médio e parietal do cérebro que se encontram sobre a área de Broca, o córtex motor e a área de Wernicke, responsáveis pela produção e pelo reconhecimento da fala. O padrão espacial comum binário forneceu a maior precisão de classificação e é bastante consistente na maioria dos casos. Esse padrão é um método mais simples em que todas as tarefas mentais são consideradas como uma classe. O padrão espacial comum multiclasse produziu resultados melhores do que o binário, dependendo dos assuntos e das condições. Finalmente, a seleção de canais com base na técnica de autocorrelação produziu a menor precisão de classificação no experimento. O desempenho da classificação entre três palavras curtas (<i>in, out e up</i>) e três vogais (<i>/a/, /i/ e /u/</i>) apresentou desempenho semelhante, sugerindo que a classificação das imagens da fala ocorreu com base no som e não no significado. Ao comparar o desempenho entre a classificação de três palavras curtas (<i>in, out e up</i>) e duas palavras longas (<i>cooperate e independent</i>), com base nos valores de K, autores indicaram que a classificação de palavras longas forneceu resultados melhores. Isso sugere que as palavras com maior complexidade podem ser mais facilmente discriminadas usando sinais de EEG. Além disso, a classificação entre uma palavra curta e uma palavra longa também rendeu o valor de k mais alto, sugerindo a complexidade diferente das palavras adicionadas um grau extra para discriminar as imagens da fala.</p>
<p>JAHANGIRI; ACHANCCARAY; SEPULVEDA (2019) Reino Unido</p>	<p>Apresentar uma nova BCI linguística baseada em EEG, que usa as quatro estruturas fonêmicas «BA», «FO», «LE» e «RY» como classes de tarefas de fala encoberta.</p>	<p>Experimental/ Técnica: EEG</p>	<p>Seis voluntários neurologicamente saudáveis na faixa etária de 21 a 33 anos.</p>	<p>Fala encoberta (fala que é gerada internamente, mas não articulada).</p>	<p>Em média, todos os usuários obtiveram mais de 16 das 20 previsões corretas (desempenho médio de 82,5). De 6 usuários e 4000 recursos / usuário, um total de 24 mil recursos mais valiosos foram identificados. A atividade mais importante começa ~ 100ms após o início, conforme o reconhecimento da sugestão auditiva e está concentrada na faixa de frequência de 70-128 Hz correspondente às funções linguísticas. Além disso, identificaram as regiões mais importantes: córtex pré-frontal, STG esquerdo (área de Wernicke), IFG direito e esquerdo (área de Broca) que correspondem à atividade fonética linguística anterior à articulação.</p>

<p>JAHANGIRI; SEPULVEDA (2019) Reino Unido</p>	<p>Buscar novidades com uma abordagem exploratória usando EEG. Criar um espaço de recursos detalhado, de forma que pouca ou nenhuma informação relevante fosse perdida ou excluída.</p>	<p>Experimental/ Técnica: EEG</p>	<p>Dez voluntários sem alterações neurológicas com idade entre 21 e 33 anos.</p>	<p>Fala encoberta (fala que é gerada internamente, mas não articulada).</p>	<p>Ao eliminar as imagens motoras, a precisão da classificação da grande média caiu de 96,4% para 94,5%. A contribuição da imagem motora da articulação na separabilidade da classe de tarefas de fala encoberta é insignificante quando comparada com os estágios de processamento linguístico de alta gama da produção de palavras. No entanto, usando tentativas de 312 milissegundos em vez de tentativas de 1 segundo, o custo computacional é reduzido significativamente. As tentativas de 312 milissegundos usadas no trabalho contiveram apenas atividade de processamento linguístico fonético. O processamento linguístico fonético antes da articulação elicia um padrão único e específico da palavra de alta atividade gama. Durante a fala encoberta, as regiões motoras da linguagem são suprimidas, mas não completamente desativadas, pois há a presença de movimentos musculares involuntários minúsculos relacionados a cada estrutura fonêmica, que criam artefatos mioelétricos de gama alta relacionados à classe. As regiões mais significativas são o córtex pré-frontal (controle executivo impulsionado pelo estímulo), o giro temporal superior esquerdo (área de Wernicke, recuperação do código fonológico), o giro frontal inferior direito e esquerdo (área de Broca, silabificação).</p>
<p>NALBORCZYK <i>et al.</i> (2020) França</p>	<p>Trazar novas informações para o debate entre a visão da simulação motora e a visão da abstração da fala interna, focalizando uma forma expandida de fala interna: a produção intencional não-verbal.</p>	<p>Experimental/ Técnica: EMG</p>	<p>25 alunas francófonas (idade média = 19,57, desvio padrão = 1,1).</p>	<p>A visão da abstração da fala interna, focalizando uma forma expandida de fala interna: a produção intencional não-verbal.</p>	<p>Embora a eletromiografia de superfície possa levar a uma precisão razoável na discriminação de classes de não palavras durante a produção da fala audível (usando sinais gravados em apenas dois músculos relacionados à fala), ela não permite discriminar essas duas classes durante a produção da fala interna em todos os participantes (apenas para dois participantes).</p>
<p>PAWAR; DHAGE (2020) Índia</p>	<p>Classificar dados de eletroencefalografia (EEG) de palavras de fala encoberta.</p>	<p>Experimental/ Técnica: EEG</p>	<p>Seis indivíduos saudáveis e falantes fluentes de inglês foram recrutados (duas mulheres e quatro homens), com idade média: 27,6 ± 3,2; 5 destros). Todos os participantes relataram visão e função auditiva normais. Nenhum dos participantes tinha histórico de distúrbios neurológicos ou problemas graves de saúde.</p>	<p>Fala encoberta, entendida como produção mental.</p>	<p>Resultados experimentais mostraram que, com os recursos baseados em Daubechies-dwt, o algoritmo de aprendizagem profunda kernel supera os classificadores mais comuns em BCI em termos de precisão de classificação e eficiência computacional. É evidente a partir dos resultados que a classificação de sinais de voz encobertos baseados em EEG é possível usando ELM kernel para os usuários BCI selecionados. Autores sugerem que o córtex pré-frontal, o giro temporal superior esquerdo (área de Wernicke), o giro frontal direito e esquerdo inferior (área de Broca) e o córtex motor primário são as regiões cerebrais mais proeminentes para o reconhecimento oculto da fala. Além disso, o córtex motor primário pode ser atenuado, uma vez que tem uma penalidade marginal na precisão da classificação.</p>

As Figuras 2 e 3, abaixo, contêm informações quanto ao país, ano, língua, periódico, quantidade de experimentos, de participantes no geral, de participantes feminino e masculino, de idade, de técnicas e de eletrodos do EMG. Além disso, são especificados o tipo de sistema de EEG, o tipo de estímulo, tarefa e quais as produções requeridas.

Figura 2 – Síntese das características metodológicas dos estudos que analisam fala interna e audível

Fala audível e interna																
Autores	Ano	País	Língua	Periódico	Quantidade de experimento	Número geral de participantes	Feminino	Masculino	Idade	Quantidade de técnica	Tipo de técnica	Quantidade de eletrodos empregados no EMG	Tipo de sistema do EEG	Tipo de Estímulo	Tarefa de produção	Quais produções solicitadas (Estímulos ou Comandos)
WHITFOR <i>et al.</i>	2017	Austrália	Inglês	<i>sLife</i>	2	72	44	28	24,20	1	EEG	-	10/20	Auditivo	Sílaba	/ba/
BOWERS <i>et al.</i>	2019	EUA	Inglês	<i>Experimental Brain Research</i>	1	23	20	3	25,16	2	EEG/EMG	2	10/10	Visual	Pares de sílabas	/ba da/, /da ba/
BRADLEY <i>et al.</i>	2019	Austrália	Inglês	<i>NeuroImage</i>	2	94	62	32	20,00	1	EEG	-	10/20	Auditivo	Sílabas	/ba/, /bi/
TØTTRUP <i>et al.</i>	2019	Dinamarca	Dinamarquês	IEEE	1	7	5	2	24,00	2	EEG/EMG	1	10/20	Visual	Palavras	/Go/, /Step/, /Viborg/

Fonte: Elaboração própria.

Figura 3. Síntese das características metodológicas dos estudos que analisam a fala interna

Fala interna																
Autores	Ano	País	Língua	Periódico	Quantidade de experimento	Número geral de participantes	Feminino	Masculino	Idade	Quantidade de técnica	Tipo de técnica	Quantidade de eletrodos empregados no EMG	Tipo de sistema do EEG	Tipo de Estímulo	Tarefa de produção	Quais produções solicitadas (Estímulos ou comandos)
GALEGO	2016	Brasil	Português	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul	1	14	7	7	47,7	2	EEG/EMG	7	10/20	Auditivo	Palavras	/Direita/ /esquerda/ /para Trás/ /para Frente/
YOSHIMURA <i>et al.</i>	2016	Japão	Japonês	<i>Frontiers in Neuroscience</i>	1	10	1	9	34,1	2	EEG/FMRI	-	10/20	Auditivo	Vogais: /e/ /a/ /i/ /o/ (i.e.)	/a/ /i/
JAHANGIRI; SEPULVEDA	2017	Reino Unido	Inglês	IEEE	1	10	0	0	46	1	EEG	-	10/10	Visual	Sílabas das palavras: /back/ /forward/left /right/	/BA-FO/ /BA-LE/ /BA-RV/ /LE-FO/ /LE-RV/ /RV-FO/
KOMELIPOOR; CESARI; DAFFERTSHOFER.	2017	Holanda	Holandês	<i>Neuroscience</i>	1	12	5	7	26,1	2	EEG/EMG	2	10/20	Visual Auditivo	Sílabas	/pa/ /ta/
NALBORCZYK <i>et al.</i>	2017	França	Francês	<i>Biological psychology</i>	2	71	71	0	20,58	1	EMG	3 e 4	0	Visual	Quatro ocultas	Sentimento a, Problemas, criação e foco.
SERESHK <i>et al.</i>	2017	Canadá	Inglês	<i>International journal of neuropsychology</i>	1	12	6	6	27,6	1	EEG	-	10/10	Visual	Palavras	/yes/ /no/

JAHANGIRI <i>et al.</i>	2018	Reino Unido	Inglês	IEEE	1	4	0	0	0	1	EEG	-	10/10	Auditivo	Sílabas: BA (back arrow), FO (forward arrow), LE (left arrow), and RT (right arrow)	/BA/ /FO/ /LE/ /RY/
KOIZUMI, UEDA, NAKAO	2018	Japão	Japonês	IEEE	1	15	0	15	22,9	1	EEG	-	10/20	Visual	Palavras	/au/ /hau/ /atacari/ /imigi/ /imoi/ /ashiro/ /api/dawoi/ /ieft/ /rieft/ /forward/ /backward/
NGUYEN, KARAVAS, ARTEMIAIDIS	2018	EUA	Inglês	<i>Journal of Neural Engineering</i>	1	15	4	11	26,4	1	EEG	-	10/20	Visual	Palavras e vogais	/Cooperate/ /independe nt/ /up/ /out/ /in/ /hi/ /li/ /u/
JAHANGIRI, ACHANCCARA Y, SEPULVEDA	2019	Reino Unido	Inglês	IEEE	1	6	0	0	27	1	EEG	-	10/10	Auditivo	Sílabas	/BA/ /FO/ /LE/ /RY/
JAHANGIRI, SEPULVEDA	2019	Reino Unido	Inglês	<i>Journal of Medical Systems</i>	1	10	0	0	27	1	EEG	-	10/10	Auditivo	Sílabas	/BA/ /FO/ /LE/ /RY/
NALBORCZYK <i>et al.</i>	2020	França	Francês	<i>Journal PLoS ONE</i>	1	25	25	0	19,37	1	EMG	5	0	Auditivo	Palavras	/manas/ /pugas/ /fofo/ /momo/ /popy/ /boby/ /nava/ /papa/ /baba/
																/mômô/ /gigi/ /sesô/ /lalo/ /titi/ /didi/ /mimi/ /titi/ /titi/ /titi/ /titi/
PAWAR, DHAE	2020	Índia	Inglês	<i>Biomedical Engineering Letters</i>	1	6	4	2	27,6	1	EEG	-	10/20	Auditivo	Palavras	/Left/ /right/ /up/ /down/

4 Discussão

Observou-se que, dos 17 estudos incluídos nesta revisão, há quatro que analisaram a correlação da fala interna e da fala audível (BOWERS *et al.*, 2019; BRADLEY *et al.*, 2019; TØTTRUP *et al.*, 2019; WHITFOR *et al.*, 2017), sendo três estudos realizados em língua inglesa (BOWERS *et al.*, 2019; BRADLEY *et al.*, 2019; WHITFOR *et al.*, 2017) e um em dinamarquês (TØTTRUP *et al.*, 2019).

Dos 13 trabalhos que tratavam apenas da fala interna, existem sete estudos feitos em língua inglesa (ARTEMIADIS, 2018; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2017; JAHANGIRI *et al.*, 2018; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2019; JAHANGIRI.; ACHANCCARAY.; SEPULVEDA, 2019; NGUYEN.; KARAVAS.; PAWAR.; DHAGE, 2020; SERESHK *et al.*, 2017), dois em japonês (KOIZUMI.; UEDA.; NAKAO, 2018; YOSHIMURA *et al.*, 2016), dois no francês (NALBORCZYK *et al.*, 2017; NALBORCZYK *et al.*, 2020), um em português (GALEGO, 2016) e um em holandês (KOMEILIPOOR.; CESARI.; DAFFERTSHOFER, 2017).

Quanto à idade dos participantes das 17 pesquisas, a média geral foi de 26,23 anos, sendo a média geral por gênero de 14,9 mulheres e 7,2 homens. Com relação ao número total de participantes em relação à quantidade de experimentos, a média foi de 32,6 nos quatro estudos que correlacionaram fala audível e fala interna, enquanto a média foi de 16,1 para os 13 estudos que avaliaram apenas a fala interna.

No que diz respeito à técnica empregada para analisar a fala interna, dos quatro estudos sobre fala audível e interna dois utilizaram EEG e EMG (BOWERS *et al.*, 2019; TØTTRUP *et al.*, 2019) e outros dois apenas EGG (BRADLEY *et al.*, 2019; WHITFOR *et al.*, 2017).

Já dos 13 trabalhos que tratavam da fala interna, nove usaram apenas o EGG (ARTEMIADIS, 2018; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2017; JAHANGIRI *et al.*, 2018; JAHANGIRI.; ACHANCCARAY.; SEPULVEDA, 2019; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2019; KOIZUMI.; UEDA.; NAKAO, 2018; KOMEILIPOOR.; CESARI.; DAFFERTSHOFER, 2017; NGUYEN.; KARAVAS.; PAWAR.; DHAGE, 2020; SERESHK *et al.*, 2017), sendo que cinco adotaram o sistema 10/10 e quatro o 10/20, que se diferenciam quanto ao número de eletrodos para coletar os sinais corticais. Três outras pesquisas empregaram o EMG, sendo duas em conjunto com EEG, a saber: EGG (sistema 10/20) e EMG (7 eletrodos) (GALEGO, 2016), EGG (sistema 10/20) e EMG (2 eletrodos) (KOMEILIPOOR.; CESARI.; DAFFERTSHOFER, 2017),

e uma apenas emprega o EMG (3 e 4 eletrodos) (NALBORCZYK *et al.*, 2017). Apenas um fez uso do EEG (sistema 10/20) e FMRI (YOSHIMURA *et al.*, 2016).

Em relação ao tipo de estímulo para produção da fala interna, dez pesquisas apresentaram para os participantes um estímulo auditivo (BRADLEY *et al.* 2019; GALEGO, 2016; JAHANGIRI *et al.*, 2018; JAHANGIRI; SEPULVEDA, 2019; KOIZUMI; UEDA; NAKAO, 2018; KOMEILIPOR; CESARI; DAFFERTSHOFER, 2017; NALBORCZYK *et al.*, 2020; PAWAR; DHAGE, 2020; WHITFOR *et al.*, 2017; YOSHIMURA *et al.*, 2016) e oito, um estímulo visual (BOWERS *et al.*, 2019; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2017; KOIZUMI; UEDA; NAKAO, 2018; KOMEILIPOR; CESARI.; DAFFERTSHOFER, 2017; NALBORCZYK *et al.*, 2017; NGUYEN; KARAVAS; ARTEMIADIS, 2018; SERESHK *et al.*, 2017; TØTTRUP *et al.*, 2019).

No que diz respeito à tarefa empregada para produção da fala interna, foram solicitados em sete estudos que os participantes produzissem a fala interna de palavras (ARTEMIADIS, 2018; GALEGO, 2016; KOIZUMI; UEDA; NAKAO, 2018; NALBORCZYK *et al.*, 2020; NGUYEN; KARAVAS; PAWAR; DHAGE, 2020; SERESHK *et al.*, 2017; TØTTRUP *et al.*, 2019), em mais sete pesquisas se pediu que expressassem mentalmente sílabas (BOWERS *et al.* 2019; BRADLEY *et al.* 2019; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2017; JAHANGIRI *et al.*, 2018; JAHANGIRI; SEPULVEDA, 2019; JAHANGIRI; ACHANCCARAY; SEPULVEDA, 2019; KOMEILIPOR; CESARI; DAFFERTSHOFER, 2017) e em dois requereram vogais (NGUYEN; KARAVAS; ARTEMIADIS, 2018; YOSHIMURA *et al.*, 2016).

Essas tarefas solicitadas pelos estudos desta revisão em sua maioria são artificiais, por exigir produção de sílabas sem significado associado, vogais e pseudopalavras (KENT, 2015, p.768).

A conceituação de fala variou nos estudos, mas teve similaridade quanto à ausência de som e movimento articulatório, a saber: dez trabalhos conceituaram a fala encoberta como produção mental, sem qualquer vocalização ou movimento motor (BOWERS *et al.* 2019; JAHANGIRI.; SEPULVEDA, 2017; JAHANGIRI *et al.*, 2018; JAHANGIRI; SEPULVEDA, 2019; JAHANGIRI; ACHANCCARAY; SEPULVEDA, 2019; PAWAR; DHAGE, 2020; SERESHK *et al.*, 2017; TØTTRUP *et al.* 2019; YOSHIMURA *et al.*, 2016), cinco estudos definiram a fala interna como a pronúncia interna/silenciosa sem emissão de sons (BRADLEY *et al.* 2019; KOIZUMI; UEDA; NAKAO, 2018; NALBORCZYK *et al.*, 2017; NALBORCZYK *et al.*, 2020; WHITFOR *et al.*, 2017), um conceituou como fala silenciosa (KOMEILIPOR; CESARI.;

DAFFERTSHOFER, 2017) e um delimitou a fala imaginada como a produção interna sem qualquer vocalização ou movimento muscular (NGUYEN; KARAVAS; ARTEMIADIS, 2018).

A constatação feita neste trabalho quanto à variação terminológica e à similaridade conceitual assemelham-se à apresentada por Kent (2015, p. 788), revelando que fala silenciosa, encoberta, interna e imaginada diferiram quanto à nomenclatura, mas apresentaram o mesmo conceito, que é a fala realizada mentalmente sem saída audível ou ações motoras visíveis da fala e pronunciada sem fonação ou outras fontes sonoras audíveis, como sussurro.

Segundo Kent (2015, p. 767), há estudos que apresentam diferenças entre a produção de fala e da não fala, mostrando que, do ponto de vista cortical, a produção da fala ocorre na região esquerda, envolvendo processos motores, fonológicos e fonéticos, podendo assumir uma variedade de formas, dependendo da tarefa, diferindo da não-fala, que são atos motores realizados por várias partes da musculatura da fala para realizar o movimento especificado ou objetivos posturais que não são suficientes por si próprios para ter identidade fonética, ausente de significado, estando sob controle dos indivíduos, sendo eles: movimento dos lábios, mandíbula, língua ou bochechas, fonação sustentada, zumbido, grunhido, assobio, sopro, entonação de som simples e expiração prolongada.

Os estudos avaliados nesta revisão abordaram a fala de um ponto de vista orgânico e fisiológico. A fala é vista como o resultado do ato programado e coordenado dos músculos estriados localizados na laringe realizada pelo sistema motor, que é constituído por vias, estruturas e nervos presentes no sistema nervoso central e periférico, sendo incumbidos da produção motora da voz. O comando intencional da voz começa no sistema nervoso central, sobretudo, no córtex cerebral, sendo a região que conceitua, planeja e executa a ação da fala, o que inclui a fonação (BEHLAU; AZEVEDO; MADAZIO, 2013, p. 19).

Os quatro trabalhos que relacionaram a fala interna e a audível mostraram que há relação entre a fala interna e audível associadas aos componentes auditivo e sensorio motores. WHITFOR *et al.* (2017, p. 2) expuseram que o cérebro transmite comandos para os músculos dos lábios, da língua e das pregas vocais executarem movimento e fazerem uma cópia de eferência que possibilita a previsão do que está prestes a ouvir pelas regiões do cérebro encarregadas de processar os sons. Se ocorrer a correspondência entre o que foi ouvido e previsto, essas regiões que processam o som diminuem suas respostas.

Ao analisarem a existência da cópia de eferência na fala interna, BRADLEY *et al.* (2019, p. 175) e WHITFOR *et al.* (2017, p. 9) descobriram que a produção do fonema interno na língua inglesa australiana atenuou o N1, sendo este um componente da resposta

eletrofisiológica do cérebro em resposta ao estímulo auditivo. Essa atenuação apenas ocorreu quando a produção da fala interna e audível ocorreram simultaneamente e combinaram com o conteúdo (WHITFOR *et al.*, 2017, p. 11; BRADLEY *et al.*, 2019, p. 175). Bradley *et al.* (2019, p. 175) mostraram que a fala interna exerce efeito semelhante no processamento auditivo, indicando uma equivalência funcional entre a percepção externa das ações, sendo os sinais internos responsáveis de conduzir esses sinais do sistema motor para o sistema perceptual, associados à fala interna e audível, embora a fala interna não produza um som audível.

Outro estudo analisou a diferença das respostas cerebrais a partir de estímulos visuais na produção da fala audível e interna. Bowers *et al.* (2019, p. 718,719) expuseram que há ativação cerebral do fluxo sensorio-motor dorsal envolvido na preparação e na execução da fala, mas há diferença nas respostas sensoriais entre a fala audível e a interna, estando ausente na produção da fala interna. Ao analisar essas diferenças, os autores identificaram que há coerência sensorio-motora de baixa frequência e do lobo temporal posterior na integração de feedback somatossensorial e acústico na fala audível em relação à execução da fala interna.

De acordo com Tøttrup *et al.* (2019, p. 689), as respostas cerebrais foram analisadas na produção da fala audível e interna com o intuito de verificar a viabilidade de empregar os biosinais de fala para controlar sistemas de interface cérebro-computador (BCI), comparar e combinar com imagem motora. A interface, combinando movimento-fala, apresentou desempenho de $61 \pm 9\%$ e $67 \pm 7\%$ para fala interna e audível, mostrando a possibilidade do desenvolvimento de um sistema BCI multimodal (TØTTRUP *et al.*, 2019, p. 691,692).

Dentre os 13 trabalhos, nove estudos mostraram que há maior precisão da fala interna em relação à imagem motora além de identificar as regiões mais importantes: córtex pré-frontal, giro temporal superior esquerdo (área de Wernicke - compreensão da linguagem), giro frontal inferior direito e esquerdo (área de Broca - planejamento motor da linguagem, na articulação e no ritmo da fala), responsáveis pela atividade linguística. Empregando a técnica EEG, Komeilipoor, Cesari e Daffertshofer (2017, p. 281) mostraram que, na produção da fala interna, há um maior envolvimento do sistema auditivo, em vez do motor, na interação audioarticulatória e que o giro superior temporal direito desempenha um papel central para a convergência audiovisual e audiomotora.

Apenas uma pesquisa correlacionou os bio-sinais da eletroencefalografia (EEG) e da eletromiografia de superfície (EMG) na fala interna, mostrando a precisão da classificação de quatro comandos verbais - direita, esquerda, para frente e para trás - de até 80,8% entre a eletroencefalografia e a eletromiografia de superfície (GALEGO, 2016, p. 121).

Outros dois trabalhos utilizaram apenas a técnica da eletromiografia de superfície para analisar a produção da fala interna. NALBORCZYK *et al.* (2017, p. 61) mostraram o envolvimento dos músculos da fala durante a fala interna, ou seja, há simulação motora na fala interna. No entanto, a eletromiografia não conseguiu discriminar duas classes de não palavras por meio dos sensores localizados nos músculos zigomático maior e orbicular da boca inferior durante a produção da fala interna em todos os participantes, mas apenas para dois participantes (NALBORCZYK *et al.*, 2020, p. 22).

A fala interna foi analisada pelas técnicas de EEG e EMG em sua maioria a partir de sistemas de interface cérebro-computador com o intuito de prever a classificação, a melhor captação do sinal, identificar as áreas corticais e ver a correlação entre as regiões cerebrais. No entanto, nenhum desses estudos apresentou embasamento teórico linguístico, sendo essa uma limitação importante, visto que o conceito de fala interna apresentado pelos estudos é do ponto de vista orgânico e fisiológico, que de forma geral não apresentam teorias linguísticas no delineamento metodológico.

5 Conclusão

A terminologia para fala interna diferiu entre os estudos incluídos nesta revisão, mas a conceituação se assemelha, tratando do processamento mental da fala interna de forma inaudível e sem movimento articulatório.

Apesar da distinção terminológica, os estudos revelaram que a existência da correlação entre a fala audível e a interna e que é possível captar respostas dos movimentos dos músculos orais e da atenuação auditiva no processamento mental da fala inaudível e sem movimento articulatório – chamada de fala interna.

O processamento mental da língua lida com a percepção e a produção e, apesar de serem estudadas de forma separada há interligação, por dependerem dos mesmos sistemas neurais, auditivos, motores, sensoriais e perceptuais. Esses sistemas fornecem respostas neurofisiológicas que os pesquisadores ainda possuem dificuldade de

relacionar as teorias sobre mente e com os estados e propriedades do cérebro (CHOMSKY, 1997, p. 208,209).

As respostas neurofisiológicas da eletroencefalografia e/ou eletromiografia de superfície na fala interna foram analisadas pelos estudos desta revisão do ponto de vista biológico. Essas pesquisas não apresentaram um embasamento teórico linguístico para conceituar fala interna e houve ausência de uma justificativa para escolha das palavras, sílabas e vogais nas tarefas de produção requeridas aos participantes.

Apenas um trabalho, uma dissertação de Mestrado feita no Brasil, realizou experimento em língua portuguesa. Esse trabalho se preocupou em analisar a fala interna do ponto de vista biológico e as tarefas de fala requeridas eram comandos verbais (direita, esquerda, frente e atrás) que estão relacionados às habilidades visuoespaciais.

Faz-se necessário estudo com aporte teórico linguístico que apresente justificativa para seleção das tarefas de produção da fala interna, considerando os aspectos segmentais e prosódicos no processamento mental, visto que esses aspectos concedem à fala naturalidade, inteligibilidade e a modulação entoacional que permite distinguir significados.

Declaração de autoria

Este artigo “A identificação da fala interna por meio da eletromiografia de superfície e da encefalografia: uma revisão de escopo” decorre do projeto de pesquisa da doutoranda Kyvia Fernanda Tenório da Silva, sob orientação dos professores doutores Susana Carvalho e Miguel José Alves de Oliveira Júnior. A primeira autora foi responsável pela investigação, metodologia, escrita – rascunho original. A segunda autora contribuiu com a conceptualização e supervisão. A conceptualização, administração do projeto e supervisão foi de responsabilidade do terceiro autor. Todos os autores participaram da escrita – análise e edição.

Referências

BEHLAU, M.; AZEVEDO, R.; MADAZIO, G. Anatomia da Laringe e Fisiologia da Produção da Vocal. In: BEHLAU, M (org.). *Voz: o livro do especialista*. vol. 1. 3º ed. Rio de Janeiro: Livraria e Editora Revinter, 2013, p. 1-42.

BOWERS, A. *et al.* Power and phase coherence in sensorimotor mu and temporal lobe alpha components during covert and overt syllable production. *Experimental Brain Research*, Alemanha, v. 237, n.3, p. 705–721, 2019. DOI: 10.1007/s00221-018-5447-4

BRADLEY, Jack N. *et al.* Inner speech is accompanied by a temporally-precise and content-specific corollary discharge. *NeuroImage*, Estados Unidos, v. 198, p. 170-180, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.04.038>

CHOMSKY, N. Novos Horizontes no Estudo da Linguagem. *DELTA: Documentação de Estudos em Lingüística Teórica e Aplicada* [online]. 1997, v. 13, n. spe, p. 51-74. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-44501997000300002>. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-44501997000300002>>. Acesso em: 18 agosto 2021.

CHUYSUD, K.; PUNSAWAD, Y. Hybrid EEG-fEMG based Human-Machine Interface for Communication and Control Applications. *16th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*, vol. 62, n. 3, p. 1-5, 2019. DOI: 10.1109/JCSSE.2019.8864195

DENBY, B. *et al.* Silent speech interfaces. *Speech Communication*, Amsterdã, v. 52, n. 4, p. 270-287, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.specom.2009.08.002>

GALEGO, J. S. *Aquisição e processamento de biossinais de eletromiografia de superfície e eletroencefalografia para caracterização de comandos verbais ou intenção de fala mediante seu processamento matemático em pacientes com disartria*. 2016. 159f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

JAHANGIRI, A.; SEPULVEDA, F. The contribution of different frequency bands in class separability of covert speech tasks for BCIs. *IEEE*, p. 2093-2096, 2017. DOI: 10.1109/EMBC.2017.8037266

JAHANGIRI, A. *et al.* Covert Speech vs. Motor Imagery: a comparative study of class separability in identical environments. *IEEE*, p. 2020-2023, 2018. DOI: 10.1109/EMBC.2018.8512724

JAHANGIRI, A.; ACHANCCARAY, D.; SEPULVEDA, F. A Novel EEG-Based Four-Class Linguistic BCI. *IEEE*, p. 3050-3053, 2019. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8856644

JAHANGIRI, A.; SEPULVEDA, F. The Relative Contribution of High-Gamma Linguistic Processing Stages of Word Production, and Motor Imagery of Articulation in Class Separability of Covert Speech Tasks in EEG Data. *Journal of Medical Systems*, Nova Iorque, v. 43, n. 20, 2019. DOI: 10.1007/s10916-018-1137-9. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-018-1137-9>>. Acesso em: 17 de mai. 2021.

JANKE, M.; DIENER, L. EMG-to-Speech: Direct Generation of Speech From Facial Electromyographic Signals. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, v. 25, n. 12, p. 2375-2385, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1109/TASLP.2017.2738568>

KENT, R. D. Nonspeech Oral Movements and Oral Motor Disorders: A Narrative Review. *Am J Speech Lang Pathol*. v. 4, n. 24, p. 763-89, 2015. DOI: 10.1044/2015_AJSLP-14-0179. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4698470/#A1>>. Acesso em: 25 de ago. 2021.

KOIZUMI, K.; UEDA, K.; NAKAO, M. Development of a Cognitive Brain-Machine Interface Based on a Visual Imagery Method. *IEEE*, p. 1062-1065. 2018, DOI: 10.1109/EMBC.2018.8512520

KOMEILIPOOR, N.; CESARI, P.; DAFFERTSHOFER, A. Involvement of superior temporal areas in audiovisual and audiomotor speech integration. *Neuroscience*, v. 343, p. 276-283, 2017. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2016.03.047

NALBORCZYK, L. *et al.* Can we decode phonetic features in inner speech using surface electromyography? *Journal PLoS ONE*, v. 15, n. 5, p. 1-27, 2020. DOI: 10.1371/journal.pone.0233282 Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article/authors?id=10.1371/journal.pone.0233282>>. Acesso em: 05 de jun. 2021.

NALBORCZYK, L. *et al.* Orofacial electromyographic correlates of induced verbal rumination. *Biological psychology*, Amsterdã, vol. 127, ISSN 0301-0511, p. 53-63, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.04.013>

NICOLAS-ALONSO, L. F.; GOMEZ-GIL, Jaime. Brain computer interfaces, a review. *Sensores Basel*, v. 12, n. 2, p. 1211-1279, 2012. DOI: 10.3390/s120201211. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1211/htm>>. Acesso em: 11 de jun. 2021.

NGUYEN, C. H.; KARAVAS, G. K.; ARTEMIADIS, P. Inferring imagined speech using EEG signals: a new approach using Riemannian Manifold features. *Journal of Neural Engineering*, v.15, n. 016002, p. 11-14, 2018. DOI: 10.1088/1741-2552/aa8235

PAWAR, D.; DHAGE, S. Multiclass covert speech classification using extreme learning machine. *Biomed. Eng. Lett*, v. 10, n. 2, p. 217-226, 2020. DOI: 10.1007/s13534-020-00152-x. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7235109/>>. Acesso em: 31 de maio 2021.

RASO, T. Fala e escrita: meio, canal, consequências pragmáticas e linguísticas. *Domínios de Lingu@gem*, Uberlândia, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 12–46, 2013. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/dominiosdelinguagem/article/view/23730>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SAUSSURE, F. *Curso de linguística geral*. Organização de Charles Bally e Albert Sechehaye com a colaboração de Albert Riedlinger. Trad. de Antônio Chelini, José Paulo Paes e Izidoro Blikstein. 27^a ed. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 2006.

SRISUWAN, N.; PHUKPATTARANONT, P.; LIMSAKUL, C. Comparison of feature evaluation criteria for speech recognition based on electromyography. *Med Biol Eng Comput*, v. 56, n.6, p.1041-1051, 2018. DOI: 10.1007/s11517-017-1723-x

SERESHKEH, A. R. et al. Online EEG Classification of Covert Speech for Brain-Computer Interfacing. *International Journal of Neural Systems*, Cingapura, vol. 27, n. 8, 1750033, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0129065717500332>. Disponível em: https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0129065717500332?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 20 de abr. 2021.

SCHULTZ, Tanja et al. Biosignal-Based Spoken Communication: A Survey. *IEEE/ACM Trans. Audio, Speech and Lang. Proc*, v. 25, n. 12, p. 2257–2271, 2017. DOI: 10.1109/TASLP.2017.2752365

STEPHAN, F.; SAALBACH, H.; ROSSI, S. Inner versus Overt Speech Production: Does This Make a Difference in the Developing Brain? *Brain Sciences*, v. 10, n. 12, p. 939, 2020. DOI: 10.3390/brainsci10120939

SILVA, T. C. et al. *Fonética Acústica: os sons do português brasileiro*. 1. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2019.

TØTTRUP, L. et al. Decoding covert speech for intuitive control of brain-computer interfaces based on single-trial EEG: a feasibility study. *IEEE*, p. 689-693, 2019. DOI: 10.1109/ICORR.2019.8779499

TRICCO, A. C. et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, v.169, n.7, p. 467–473, 2018. DOI: 10.7326/M18-0850. Disponível em: <https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/M18-0850?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org>. Acesso em: 11 de out. 2021.

WHITFORD, T. J. *et al.* Neurophysiological evidence of efference copies to inner speech. *eLife*, Cambridge, v. 6, ed. 28197, p.1-23, 2017. DOI: 10.7554/eLife.28197. Disponível em: <<https://elifesciences.org/articles/28197#s4>>. Acesso em: 23 de abr. 2021.

YOSHIMURA, N. *et al.* Decoding of Covert Vowel Articulation Using Electroencephalography Cortical Currents. *Frontiers in Neuroscience*, v.10, p.175, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00175>. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2016.00175>>. Acesso em 13 abr. 2021.