

COMO A NEUROCIÊNCIA DA LINGUAGEM INVESTIGA O PROCESSAMENTO DE MORFOLOGIA

Leonardo Cabral¹
Marije Soto²

RESUMO: Este artigo tem o objetivo de elucidar os métodos e as técnicas com os quais a neurociência da linguagem investiga como processamos a linguagem e, em específico, como processamos a morfologia. Inicialmente, uma reflexão é realizada acerca do que é morfologia e de como ela se representa em nosso léxico mental: inicia-se com uma exposição baseada em gramática descritiva e, posteriormente, continua-se até as hipóteses advindas de estudos

ABSTRACT: This article aims to elucidate the methods and techniques through which the neuroscience of language investigates how we process language and, in particular, how we process morphology. Initially, a reflection is made about what morphology is and how it is represented in our mental lexicon: we start with an exhibition based on a descriptive grammar followed by a brief presentation of hypotheses originated from mentalist theories, such as

¹ Discente do mestrado (Programa de Pós Graduação em Linguística, UFRJ)

² Professora adjunta (Departamento de Libras, UFRJ)

mentalistas, como por exemplo a Morfologia Distribuída (HALLE; MARANTZ, 1993). A seguir, apresenta-se o conceito de processamento lexical com base em Taft (2001) e, com base nas considerações do mesmo autor, problematiza-se o uso da expressão “acesso lexical” como terminologia que descreve os estudos da área, a partir de como a expressão é definida em estudos diferentes. Expõem-se então os modelos de processamento propostos para dar conta do percurso realizado em nosso córtex cerebral para a compreensão de palavras, que vai do significado ao sinal físico (visual ou acústico), com foco naqueles modelos que preveem o processamento morfológico como componente importante do acesso lexical: o de decomposição automática inicial (TAFT; FORSTER, 1975), o de decomposição tardia (GIRAUDO; GRAINER, 2000) e o de dupla rota, ou, ainda, de corrida (SCHREUDER; BAAYEN, 1995). Depois, descrevemos as principais técnicas da neurociência da linguagem utilizadas nas experimentações acerca de seu objeto de estudo: o eletroencefalograma (EEG), o magnetoencefalograma (MEG) e

Distributed Morphology (HALLE; MARANTZ, 1993). Following, we present the concept of lexical processing (TAFT, 2001) and, based on the considerations from the same author, we problematize the use of the expression “lexical access” used in the terminology in studies from this area, revisiting various definitions for such expression in different studies. Then, we present the models concerned with the neurofunctional implementation of the comprehension of words, involving both meaning and the physical signal (be it visual or acoustic). We focus on the models that include morphology as a necessary component for lexical access: early automatic decomposition (TAFT; FORSTER, 1975), late decomposition (GIRAUDO; GRAINER, 2000) and dual-route or, yet, race model (SCHREUDER; BAAYEN, 1995). Furthermore, we describe the main data collection techniques utilized to probe morphological processing in the neuroscience of language: electroencephalogram (EEG), magnetoencephalogram (MEG) and their respective neurophysiological signatures associated to linguistic processing;

suas respectivas assinaturas neurofisiológicas associadas ao processamento linguístico; e a ressonância magnética funcional (fMRI). Exemplificam-se as investigações da área através de alguns estudos que utilizam as principais técnicas da neurociência para testar suas hipóteses e contribuir para o debate sobre os modelos de processamento lexical. Ao final do artigo, realiza-se um debate sobre as evidências já encontradas no âmbito dos estudos sobre processamento morfológico e apontamentos sobre lacunas são deixados.

PALAVRAS - CHAVE : neurociência da linguagem; processamento lexical; morfologia.

and functional magnetic resonance imaging (fMRI). Beyond this, we exemplify these techniques and their results and explain how they contribute to the debate about the models of lexical processing. At the end of the paper, we present a brief discussion concerning already found evidence in favor of decompositional models, and, finally, we provide considerations for future studies.

KEYWORDS: neuroscience of language; lexical processing; morphology.

INTRODUÇÃO

O que você entende por morfologia? De um ponto de vista descritivo da língua, poder-se-ia dizer que se trata de um nível linguístico no qual analisamos as unidades mínimas de significado – os morfemas – e como elas compõem a estrutura das palavras. Este artigo, contudo, está preocupado com mais do que uma descrição da estrutura das palavras, e sim, com o se e como a morfologia atua no modo como nosso cérebro processa palavras.

Quando escutamos ou lemos uma palavra como, por exemplo, “golpista”, como vamos da conversão de informações físicas (*i.e.*, sinais acústicos ou características visuais) ao entendimento do significado daquilo que ouvimos/vimos? Este processo Taft (2001) chama de *processamento lexical*. Este tem início na conversão dos sinais físicos em informações linguísticas (fonologia e ortografia) e termina na recuperação do sentido da palavra observada (se estivermos falando de *compreensão*). Mas, e o que acontece no decorrer deste processo?

Essa pergunta demarca os estudos de processamento lexical. Pois, se para alguns estudiosos não é necessário acessarmos a estrutura das palavras (no caso daquelas com morfologia complexa), para outros, a recuperação do sentido de uma palavra passa (ou pode passar) pela análise de sua estrutura morfológica. A este último processo, dá-se o nome de *processamento morfológico* ou, ainda, de *processamento decomposicional*, segundo o qual uma palavra como “golpista” teria de ser decomposta em sua raiz e sufixo (“golp-“ + “-ista”) para que os sentidos de ambos sejam recuperados e combinados para entender o que a palavra significa. A primeira proposta mencionada, sendo não-decomposicional, nega que se realize essa decomposição no curso do processamento para a recuperação do sentido (ou seja, uma palavra como “golpista” seria processada pela sua forma inteira, sem a segmentação em raiz e sufixo). Estando esclarecido do que se tratam as duas propostas de estudo de processamento lexical, ressaltamos que a visão na qual focaremos é a primeira.

Assim, o presente artigo trata de uma apresentação dos modelos vigentes de processamento morfológico e sua implementação nos estudos da Neurociência da Linguagem. Dentre os objetivos específicos, estão: 1) revisar conceitos relevantes para os modelos de processamento morfológico, como acesso e processamento lexical, morfologia, flexão, derivação e composição; 2) mostrar como a neurociência da linguagem e suas técnicas investigam a organização do léxico mental e processamento morfológico e; 3) apontar as lacunas existentes a serem preenchidas.

O artigo se divide em cinco seções. Na primeira, abordamos os conceitos de morfologia e processamento. Na segunda, são detalhados os modelos de processamento morfológico existentes. A seguir, a terceira seção discorre sobre a neurociência da linguagem e como são utilizadas as principais técnicas neurofisiológicas nos estudos de processamento lexical, suas vantagens e suas desvantagens. Em seguida, a quarta seção exemplifica evidências de processamento de morfologia provenientes de experimentos neurofisiológicos (EEG, MEG e RMF). E, por fim, alguns apontamentos serão feitos com relação aos estudos já realizados e lacunas para preencher.

1. CONCEITOS-BASE: MORFOLOGIA E PROCESSAMENTO

No início da introdução, perguntamos o que é morfologia. Em linhas gerais, podemos dizer que se trata do estudo da estrutura das palavras e seus processos de formações. Mas quais processos seriam esses?

Se olharmos para uma gramática da língua portuguesa, como a de Celso Cunha e Cintra (2014), por exemplo, encontramos três tipos principais de processos morfológicos: derivação, flexão e composição. Mas, antes de falarmos destes conceitos, consideremos a seguinte palavra: “feliz”.

A palavra “feliz” possui duas sílabas. Mas, se separamos essas sílabas, elas não possuem significado isoladamente. Como essa palavra não é segmentável em morfemas, chamamos ela de monomorfêmica. Caso tal palavra passe por adições de afixos, a palavra-base que permaneceu na forma derivada/flexionada chama-se de radical.

A partir do adjetivo mencionado, podemos obter outras palavras. Pelo processo de *derivação*, é possível obter um substantivo através da adição de um sufixo, “-idade”, junto a ajustes fonológicos. Assim, surge a palavra “felicidade”. Ainda, podemos transformar a palavra em um verbo, “felicitar”.

Se queremos nos referir ao fato de que cometemos o ato de “felicitar” alguém, podemos adicionar uma desinência modo-temporal de passado ao fim do verbo, de forma que ele se torne “felicítamos”. A este processo, damos o nome de *flexão*. Por lidar com aspectos de concordância e tempo e possuir relevância para o contexto sintático, a flexão também possui relação mais direta com a estrutura sintática do que a derivação.

Por fim, é possível somarmos duas palavras de raízes distintas para formar um outro vocábulo. Um exemplo disso é a palavra “passatempo”, que provém de um processo chamado *composição*. Se o significado da palavra composta é o resultado da combinação das duas raízes, esta palavra é dita de semântica transparente. Por exemplo, um “passatempo” é uma atividade que

realizamos para “passar o tempo”. No entanto, quando não há uma relação entre o significado das raízes e o da palavra composta, diz-se que tal palavra tem semântica opaca, como no caso da palavra “bem-te-vi”, que é o nome de uma espécie de pássaro.

Até o momento, tudo pode parecer bastante simples. Mas isso é apenas se consideramos um nível descritivo da língua que não leva em conta sua representação mental ou seu processamento. Algumas perguntas que surgem disso são: nossas mentes possuem representações diferentes, de fato, para os tipos de palavra mencionados? O nosso cérebro, ao processar uma palavra, o faz de forma diferente a depender de se a palavra é monomorfêmica, derivada/composta ou flexionada?

Estudos mentalistas com objetivo de explicar a dita competência linguística vão responder de formas diferentes à primeira pergunta. Um modelo de base gerativa propõe que há um léxico mental no qual ocorrem operações de formação de palavra e que, após tais operações, as palavras são enviadas para as derivações na computação sintática (HALLE, 1973). Já outro vai diferenciar a morfologia derivacional da flexional, apontando que a primeira ocorre dentro do léxico, enquanto a segunda ocorre após a computação sintática, no caminho para a forma fonológica (ANDERSON, 1982, 2008).

Há também um outro modelo: a Morfologia Distribuída. Segundo este modelo, tanto flexões (HALLE; MARANTZ, 1993) quanto derivações (ARAD, 2003) são computações sintáticas. Já o “léxico” é separado (*i.e.* distribuído) em três listas (MARANTZ, 1997): o “léxico estrito”, que fornece os traços e raízes atômicas que serão combinados nas operações sintáticas; o “vocabulário”, onde se encontram os segmentos fonológicos que serão atribuídos aos traços morfossintáticos; e a “enciclopédia”, onde se encontra o conhecimento de sentido das raízes das palavras.

Mas estes são apenas alguns dos modelos existentes. Fica nítido, então, que a discussão acerca de morfologia e sua representação mental não é tão simples. O que dizer, então, de como o cérebro processa as palavras?

PROCESSAMENTO LEXICAL

Dentro dos estudos de processamento lexical, um dos principais objetivos é compreender o curso temporal do processamento lexical e quais componentes informacionais são essenciais a esse processo. No que tange a pesquisa sobre léxico e morfologia, há alguns termos fundamentais utilizados na literatura, sobre os quais Taft (2001) discute: acesso lexical; processamento lexical; e o que pode ser considerado pré-, pós- ou sub-lexical. É necessário esclarecer a que se refere o primeiro, para que se possa explicar os demais.

De acordo com Taft (2001), o termo “acesso lexical” surgiu para se referir aos estudos que tratam da recuperação da informação lexical de uma palavra, estando as informações dessa natureza armazenadas em um léxico mental. A partir de seu surgimento, segundo o autor, o termo passou a ser usado amplamente para designar as investigações com tal temática, mas a depender do tipo de investigação, a conceituação do termo poderia se alterar. Este potencial desencontro pode ser exemplificado com dois estudos sobre o tema, um de Garcia *et al.* (2012) e um de Zauner *et al.* (2014). Ao adotar o modelo da Morfologia Distribuída para tratar dos processos envolvidos na computação de palavras derivadas, Garcia *et al.* (2012) determinam como “acesso lexical” o momento em que o sentido recuperado da enciclopédia (i.e., conhecimento de mundo) de uma palavra é pareado com uma forma derivada computacionalmente da concatenação entre uma raiz e um morfema categorizador; a partir deste ponto, demais camadas morfológicas que possam ser acrescentadas à palavra são associadas a processos sintáticos (ex. famíli-a -> família-r / familiar-izar / familiariza-ção). Já Zauner *et al.* (2014) definem acesso lexical apenas em termos formais, enquanto acesso ao código ortográfico/fonológico da palavra, sem menção à recuperação de significado, que na concepção mencionada anteriormente faz parte do acesso. É justamente este tipo de desencontro que leva Taft (2001) a sugerir o uso do termo “processamento lexical” para, de modo geral, referir-se aos estudos sobre o tema. Ademais, tal desencontro poderia levar Zauner *et al.* (2014) a chamar de pós-lexical aquilo que para Garcia *et al.* (2012) é, na realidade, o momento de acesso. E, na concepção de Garcia *et al.*, considerar-se-ia o que Zauner *et al.* chamam de acesso como, na verdade, um estágio pré-lexical.

Não adotaremos ou defenderemos aqui uma única definição de acesso lexical. A sugestão é que, ao ler-se um estudo sobre o tema, o leitor se atente no texto a como seus autores definem acesso lexical ou, se não definem explicitamente, qual é o embasamento teórico do estudo para evitar possíveis confusões conceituais.

2. MODELOS DE PROCESSAMENTO LEXICAL

Na seção anterior, foi explicado o conceito de processamento lexical e apontado o sentido de processamento morfológico. Este último também pode ser chamado de *decomposicional*, e se opõe à noção de *não-decomposicional*, a qual prevê que mesmo as palavras de morfologia complexa estão armazenadas em sua forma inteira na nossa memória, e seu processamento se dá sem que haja

decomposição em morfemas para recuperação de seu significado. Dois exemplos de modelos não-decomposicionais são os modelos conexionistas de Bybee (1995) e de Baayen *et al.* (2011). Tais modelos não negam a existência da morfologia na representação mental, mas para ambos há uma relação semântica que é formada com base em fatores diversos que levam ao surgimento do conhecimento morfológico. E tais palavras, ainda que se reconheça sua morfologia, não possuem uma representação segmentada na memória. Por exemplo, saber-se-ia da relação entre “pensei”, “pensou” e “pensado”, mas o léxico mental não teria uma raiz “pens-“ e afixos “-ei”, “-ou” e “-(a)do” cujas composições resultariam no significado dos exemplos dados.

No entanto, estes modelos não dão conta de explicar os resultados de experimentos com *priming* encoberto (*e.g.*, RASTLE; DAVIS; NEW, 2004; MORRIS; STOCKALL, 2012). De modo geral, o paradigma de *priming* se refere à exibição de um estímulo chamado *prime* anterior à exibição do estímulo alvo, no intuito de provocar a pré-ativação de alguma informação. Já o *priming* encoberto se trata de um *prime* que não é percebido conscientemente e é associado à ativação apenas de estágios iniciais do reconhecimento de palavras. Sua facilitação ocorre de forma mais significativa quando há uma relação morfo-ortográfica entre *prime* e alvo. Assim, os estudos com o paradigma de *priming* encoberto mostram a segmentação com base em informação morfo-ortográfica que não envolve informações semânticas, que são preconizadas nos modelos conexionistas citados.

Tais resultados dialogam com outros modelos de processamento. Embora exista o modelo segundo o qual nunca há essa decomposição, sendo o processamento sempre pela forma inteira sem análise da estrutura interna das palavras (modelo não-decomposicional), há os modelos decomposicionais. São os mais conhecidos: decomposição precoce automática, decomposição tardia ou supraléxica e dupla rota.

O modelo decomposicional inicial prevê que ocorra sempre decomposição completa da palavra de morfologia complexa já no início do processamento (TAFT; FORSTER, 1980; TAFT, 2004; MORRIS; STOCKALL; MARANTZ, 2006). O modelo decomposicional tardio trata da existência de segmentação da palavra, mas apenas após que seu processamento já tenha ocorrido pela forma inteira (GIRAUDO; GRAINER, 2000). Os modelos de dupla rota consideram tanto o processamento decomposicional quanto o não-decomposicional. No entanto, os dois modelos mais influentes – Pinker (1991) e Schreuder & Baayen (1995) - centralizam fatores distintos na escolha

por uma outra via. Para o modelo de dupla rota de Pinker (1991), a palavra ter uma morfologia regular (ex.: “comprado”) a leva a ser computada via um sistema de regras e processada decomposicionalmente, enquanto palavras irregulares são armazenadas em forma inteira na memória (ex.: “visto”). Já para Scheuder e Baayen (1995), mesmo palavras regulares podem ser armazenadas em forma inteira, caso sua frequência de ocorrência na língua seja alta.

3. NEUROCIÊNCIA DA LINGUAGEM E TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO

Há duas áreas que investigam o processamento lexical: a psicolinguística e a neurociência da linguagem. Ambas compartilham objetos de estudos e seus dados podem ter caráter complementar. Os paradigmas experimentais que são utilizados na neurociência da linguagem se originaram (como priming, por exemplo), na grande maioria, na psicolinguística. Neste trabalho, relatamos de que forma os dados neurofisiológicos coletados nos estudos com tais paradigmas têm sido interpretados.

Através de exames neurofisiológicos, a neurociência da linguagem consegue estudar as distribuições temporal e espacial das etapas do processamento. Isso é possível graças a testes que registram a atividade elétrica, eletromagnética e o fluxo sanguíneo no cérebro, que se direciona a regiões do córtex ativadas para o processamento. Serão apresentadas abaixo as principais técnicas da neurociência – eletroencefalograma (EEG), magnetoencefalograma (MEG) e ressonância magnética funcional (RMF) – e como elas contribuem para os estudos de processamento lexical.

EEG - ELETROENCEFALOGRAMA

O EEG é uma técnica que mede a atividade dos neurônios com base em impulsos elétricos. Rodden e Stemmer (2008) explicam que a atividade cortical é observada através da emissão de sinais elétricos mínimos no córtex, que são gerados durante e após a atividade sináptica das populações neuronais. É a soma destes sinais que o EEG capta e registra. Para registrar a atividade cortical, são colocados eletrodos no escalpo do indivíduo. Estes conduzem os sinais elétricos para que eles possam ser registrados por um amplificador que filtra e aumenta os sinais para que esses possam ser digitalizados e processados por *softwares*.

Contudo, o cérebro está em atividade a todo momento. Então, como fazer para investigar processos específicos? Os autores explicam que, para se certificar de que a atividade captada se refere à atividade de interesse do

experimento, utiliza-se a técnica de extração de potenciais relacionados ao evento, ou ERP (*i.e.*, *event-related potentials*). Os ERP são *time locked* à estimulação. Isto é, no registro dos sinais, uma marcação digital chamada *trigger* indica o início da exibição do estímulo, que é enviado para o amplificador do EEG pelo computador responsável pela apresentação dos estímulos, e fica gravado junto ao sinal de EEG. É possível, então, analisar os segmentos de EEG relativos a cada evento dentro do experimento, e os sinais que geram os ERP são extraídos em cada eletrodo colocado no escalpo. Como os efeitos experimentais observáveis nesses sinais são muito pequenos, é necessário utilizar um alto número de estímulos para que seja calculada sua média, a qual indicará o registro de atividade cortical a ser analisada em relação a determinada condição experimental.

O EEG tem uma grande vantagem e uma grande limitação. A vantagem está relacionada à sua alta precisão temporal, em milissegundos, permitindo analisar em detalhes os processos cognitivos envolvidos no processamento. Mas há uma desvantagem: a natureza e arranjo dos tecidos neuronais do córtex e o escalpo distorcem a passagem da eletricidade, de forma que se capta a exatidão temporal e grau de atividade do córtex, mas não com precisão espacial da fonte, ou seja, o local exato onde a atividade ocorre. Há também uma outra vantagem de ordem mais pragmática: o EEG é consideravelmente mais barato do que outras tecnologias e demanda estrutura de laboratório mais simples, fazendo com que ele seja mais acessível.

Quanto aos estudos de linguagem, a metodologia de ERP permitiu que se consolidassem algumas relações entre certas assinaturas neurofisiológicas e o processo cognitivo elicitado via experimento, as quais chamamos de componentes. Esses componentes são potenciais evocados que ocorrem em determinadas circunstâncias durante o processamento. Apresentar-se-ão aqueles que são utilizados nos estudos de processamento lexical morfológico: o N250, o N400 e o MMN (*mismatch negativity*, negatividade de incompatibilidade)³.

O MMN é um componente pré-atencional que pode ocorrer mesmo quando o indivíduo está com sua atenção voltada para outro evento, enquanto os estímulos estão sendo apresentados. Esse componente é eliciado em um paradigma experimental bem controlado conhecido como *oddball*, no qual o participante é exposto, por exemplo, a uma série de estímulos que

³ Há outros componentes linguísticos que estão relacionados à morfologia, mas que surgem em estudos morfossintáticos: o LAN (*left anterior negativity*, negatividade anterior esquerda) e o ELAN (*early left anterior negativity*, negatividade anterior esquerda precoce).

possuem um padrão. Quando há um estímulo desviante (isto é, um estímulo que desvia desse padrão), ocorre uma onda com pico de amplitude negativa. O MMN pode ser usado para investigar processamento linguístico. Embora se suponha que o MMN reflita um processo bastante automático de comparar traços sensoriais de estímulos apresentados com o apresentado anteriormente, esse processo pode ser influenciado pela familiaridade de informações (fonológicas, ortográficas, morfológicas, entre outras) representadas na memória de longo prazo. Pulvmuller e Shtyrov (2006), por exemplo, sugerem que o MMN pode indexar: *status* lexical, que se refere a um estímulo ser ou não uma palavra; gramaticalidade em pequenos sintagmas, especificamente de concordância (como, por exemplo, *we come* vs. *we comes**, “nós vimos” vs. “nós vem*”); e processos morfológicos, como a distinção entre derivação e flexão.

O MMN apenas ocorre após o estímulo auditivo chegar no ponto em que se distingue do padrão. Por exemplo: para eliminar um possível efeito de diferença de sinais acústicos, Pulvmuller e Shtyrov (2003) gravaram uma pessoa falando o sintagma “*we come*”, que é o estímulo padrão, e a mesma pessoa falando “*we comes**”, de cujo sintagma extraiu-se apenas o som do último segmento, o “-s”, que seria adicionado ao estímulo padrão gravado. Assim, a diferença no sinal físico entre o estímulo padrão e o desviante se daria somente no ponto de distinção, que é a presença sonora da desinência. É após sua reprodução que o MMN ocorre. O estudo de Pulvmuller e Shtyrov exemplifica, portanto, como o MMN pode indexar gramaticalidade, e mostra que alguns aspectos do processamento gramatical ocorrem de forma inicial e inconsciente.

Uma ressalva é necessária com relação ao MMN. Como o componente decorre da repetição de estímulos padrão, interrompidas por desviantes com características fonológicas próximas, isso limita o teste ao uso de poucos estímulos que precisam ser muito rigidamente controlados em relação a suas características sensoriais. Dessa forma, não é possível realizar generalizações a partir de um único teste de MMN, já que existe a possibilidade de os resultados dele serem restritos ao pequeno grupo de estímulos utilizados.

MEG – MAGNETOENCEFALOGRAMA

Enquanto o EEG mede os sinais elétricos do cérebro, o MEG registra a atividade cortical através do campo magnético que o córtex gera durante a comunicação dos neurônios, sendo os campos magnéticos gerados a partir da atividade elétrica. Assim como no EEG, é possível fazer com que o registro

do campo magnético seja *time locked* ao início da estimulação, para que se registre a atividade relacionada ao teste, que no caso do MEG é chamada de ERF (*event related fields*, campos relacionados a evento), como explicado por Dikker *et al.* (2019).

O MEG também possui vantagens e desvantagens. Garcia (2013) explicita que ele possui alta precisão temporal, da mesma forma que o EEG; mas ao contrário deste último, ele também possui precisão espacial, pois o escalpo e camadas mais externas corticais não distorcem o campo magnético, o que possibilita que a análise estatística aponte as fontes. Em contrapartida, o tecido orgânico neurológico nas camadas mais internas gera distorção no campo magnético; logo, atividades de fontes profundas do cérebro não são detectadas.

Da mesma forma que o EEG, há componentes do MEG que são associados a processos linguísticos. Dentre os componentes observados em estudos de processamento lexical, encontram-se o M100, M170, M250 e M350. A letra “M” se refere ao tipo de dado neurofisiológico, que, neste caso, é magnético, enquanto o número é o ponto no curso temporal aproximado, em milissegundos, em que o pico da onda ocorre (*e.g.*, o pico do M350 ocorre aproximadamente aos 350 ms após apresentação do estímulo). Todos os picos dos componentes mencionados possuem amplitude negativa.

O primeiro, M100, se refere ao processamento visual pré-lexical de fonte e luminância do estímulo visual. O M170 foi atribuído inicialmente ao que foi mais recentemente associado ao M100. No entanto, em um trabalho de Zweig e Pylkkanen (2009), as autoras demonstraram que o componente é sensível a se um estímulo pode ser exaustivamente segmentado em constituintes (como no exemplo *print-er* – impressora) e, por isso, indexa segmentação inicial de morfemas com base em forma, para palavras de morfologia complexa visualmente apresentadas. Com relação ao terceiro, o M250, não há consenso quanto ao que ele representa no curso temporal do processamento, contudo um estudo de Pylkkanen *et al.* (2002) mostra que o componente parece ser sensível a probabilidade fonotática (por exemplo em inglês, a sequência de fones [bɛl] é mais provável que a sequência [dɪʃ]). Por fim, o M350 representa um ponto do processamento lexical em que há ativação de possíveis candidatos (*i.e.*, palavras que possuem semelhança com o estímulo, como a palavra *teacher*/professor ativaria também *tea*/chá no início da exibição da primeira) e que competem no processamento de reconhecimento de uma palavra ouvida (PYLKKANEN *et al.*, 2002). Contudo, no caso de palavras exibidas visualmente e de morfologia complexa, o M350 pode indexar também a etapa de competição de

candidatos, quando várias palavras candidatas ativadas no léxico mental concorrem pela melhor compatibilidade com o estímulo exibido (PYLKKANEN *et al.*, 2004). De todo modo, o M350 é um componente de interesse para estudos de processamento e acesso lexical.

fMRI– FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING/RMF - RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL

O RMF é um tipo de exame que registra a atividade hemodinâmica do cérebro: quando uma região do cérebro realiza uma atividade, logo em seguida, há fluxo de sangue oxigenado para reestabelecer o metabolismo da população neuronal em direção a esta região (HASSON; SMALL, 2008). Assim como no MEG, ocorrem várias estimulações para que uma análise estatística determine quais regiões corticais receberam o fluxo sanguíneo durante as estimulações. A metodologia que usa comparação de níveis de oxigênio no sangue relativos a condições experimentais contrastadas se chama BOLD (*blood-oxygen-level dependent*, ou dependência de nível de oxigênio no sangue), e é o campo magnético gerado pela ressonância que permite captar as diferenças sutis em níveis de oxigenação durante um experimento. Apesar de ser altamente preciso no quesito espacial, ou seja, na precisão da localização, o fluxo sanguíneo atinge a região cortical ativada após a atividade ter sido realizada, com um atraso de segundos. Por isso, o RMF não tem precisão temporal acurada, especialmente ao levar-se em conta que os processos cognitivos ocorrem em milissegundos (HASSON; SMALL, 2008). Ainda assim, especificação metodológicas auxiliam a RMF a prover dados sobre processos linguísticos. Alguns estudos sobre processamento morfológico que utilizaram a RMF serão abordados na próxima sessão.

4. INVESTIGAÇÕES DE PROCESSAMENTO MORFOLÓGICO: EEG, MEG E RMF

EEG

Há estudos de EEG que embasam ambos os modelos decomposicional precoce automático quanto de dupla rota. Evidências a favor do modelo de decomposição precoce automática são encontradas em Smolka et al. (2007), França et al. (2008), Lavric, Rastle e Clapp (2010), Morris e Stockall (2012) e Coch, Bares e Landers (2012). Já estudos que evidenciam o modelo de dupla rota, alguns destes são: Münte et al. (1999), Leminen, Leminen e Krause (2010), Leminen et al. (2013) e MacGregor e Shtyrov (2013). Abaixo,

apresentam-se alguns estudos significativos da área em mais detalhes e mostra-se como a manipulação das respostas neurofisiológicas no EEG é utilizada para estudar o processamento morfológico.

Em um estudo que utilizou palavras flexionadas e derivadas em finlandês, com falantes nativos, Leminen *et al.* (2013) se propuseram a evidenciar a diferença de processamento entre estes dois tipos de processos morfológicos. Para fazer isso, utilizaram as palavras base com duração e propriedades acústicas similares que seriam, então, acrescidas do afixo “-ja”, que, a depender da raiz à qual se concatena, pode ser um sufixo nominalizador ou uma desinência de número. Assim, dentro da sequência de estímulos que caracteriza o paradigma de MMN, as palavras (ex.: *laulu*, “canção”) figuravam ora como padrão (eram repetidas várias vezes na sequência), ora como “desviante” (interrompiam a sequência de repetições pelo acréscimo do afixo, “-ja”, tornando-se, por exemplo, *lauluja*, “canções”). Assim, quaisquer diferenças observadas no processamento das flexões e derivações não poderiam ser associadas à diferença acústica do afixo.

Para observar efeitos de frequência – e o que eles podem sugerir acerca da forma como se processa flexão e derivação – as palavras foram controladas quanto a esta variável. Foram utilizadas palavras derivadas divididas em alta/baixa frequência, e o mesmo para palavras flexionadas. Por fim, para distinguir os efeitos que se objetiva investigar do efeito de *status* de lexicalidade, que o MMN também indexa, os autores usaram pseudopalavras derivadas e flexionadas (ou seja, compostas de uma pseudoraiz com sufixo existente, como por exemplo “*raulu-ja*”).

O efeito obtido demonstrou que havia uma diferença nítida de processamento dos processos morfológicos estudados. Enquanto a palavra derivada de alta frequência possuía pico de MMN maior que a de baixa frequência, os picos relativos às palavras flexionadas de alta e baixa frequência não se distinguiram significativamente. Ademais, no que tange a comparação entre palavras e pseudopalavras, ressalta-se que a palavra derivada de alta frequência obteve pico de negatividade maior que sua pseudopalavra derivada correlata (em termos de semelhança fonológica). Um padrão oposto foi observado no caso das pseudopalavras flexionadas, que tiveram pico de negatividade maior que as palavras flexionadas, o que sugere a natureza lexicalizada da palavra derivada de alta frequência (ou seja, ela seria armazenada na forma inteira e não derivada no seu processamento lexical).

Outro fato que se observou foi que tanto as palavras flexionadas quanto as derivadas de baixa frequência tiveram picos de MMN pequenos quando

comparados com as palavras derivadas de alta frequência. Segundo os autores, isso confirmaria a ideia de que palavras derivadas de alta frequência sejam processadas pela forma inteira, pois a alta amplitude negativa de seu MMN indica forte atividade cortical, indicando uma conexão rápida e forte dos neurônios utilizados no processamento, o que, por sua vez, favoreceria o processamento de forma inteira, o que também foi apontado pela palavra derivada de alta frequência ter maior pico que sua contraparte com similaridade fonológica. Em contrapartida, a amplitude relativamente menor de palavras derivadas de baixa frequência seria um indicativo de decomposição da palavra em morfemas. E com relação às flexões, que obtiveram amplitude relativamente menor nas condições de baixa e alta frequência comparadas à derivada de alta frequência, os autores citam o fato de que existe um número muito alto de flexões em comparação ao número de derivações de uma raiz para justificar o argumento de que a decomposição é o meio mais eficiente de processar palavras flexionadas. De outra forma, o armazenamento de formas inteiras de muitas flexões de raízes seria custoso à memória, o que também favorece a sugestão de que a baixa amplitude do MMN indica a segmentação de palavras de morfologia complexa, pois a ativação de morfemas seria menos custosa em termos de gastos de memória com armazenagem de muitas palavras flexionadas, cujas conexões neuronais seriam mais fracas. Contudo, dada as limitações de estudos de MMN, reforçamos que mais evidências seriam necessárias para tal sugestão, ainda que esta consideração dos autores indique a ocorrência de processamento decomposicional e seja favorável ao modelo decomposicional de dupla rota.

Um exemplo no português é o estudo de França *et al.* (2008). Os autores investigaram, através de medidas de latência (duração do pico) e amplitude do N400, a diferença de processamento de dois grupos de palavras, divididas em: grupo fonológico (GF) e grupo morfológico (GM). O objetivo do experimento foi investigar se o processamento do alvo no par relacionado morfológicamente se distinguia do alvo no par relacionado fonologicamente, para evidenciar o modelo computacional da Morfologia Distribuída. Os estímulos eram precedidos por um *prime* que, no caso do GF, possuía relação fonológica com o estímulo-alvo (ex.: barata-BATATA) e, no caso do GM, possuía relação morfológica (ex.: globo-GLOBALIZAÇÃO). Os grupos eram internamente divididos conforme a quantidade de camadas. O GF era dividido em três conforme o número de camadas fonológicas (5-6, 7-8 e 9-10), como, por exemplo, a palavra “barata”, do subgrupo F5-6 (“F” por ser do grupo “fonológico”), cujo *prime* foi a palavra “batata”. O GM se

organizava de acordo com o número de camadas morfológicas, indo de 2 a 4 camadas; por exemplo, há o alvo “pureza”, que compartilhou o primeiro morfema categorizador de seu *prime* (“puro”, com o morfema adjetivizador), acrescido de mais uma camada morfológica, a do morfema nominalizador.

Para eliminar a possibilidade de um *priming* por semelhança apenas ortográfica, o paradigma experimental foi de *priming* transmodal: um *prime* auditivo com estímulos-alvo exibidos visualmente. No caso do GF, o *prime* possuía primeiras sílabas iguais às do alvo. Quanto ao GM, o *prime* compartilhava a primeira camada morfológica com o alvo, tendo o alvo mais camadas morfológicas que o *prime*.

As latências e amplitudes mostraram que a diferença no número de camadas só impactava o processamento do GF e não o do GM, o que demonstra a distinção de processamento baseado em fonologia do baseado em morfologia, de forma também a indicar a existência de representação mental morfológica nos moldes da Morfologia Distribuída, já que esta corrente prevê que o acesso lexical se dá na concatenação entre raiz e primeiro morfema categorizador. No caso do GF, o número maior de camadas implicava em latências maiores e amplitude maior para as latências mais curtas. Já o número de camadas do GM não impactou as latências nem as amplitudes, que se mantiveram em nível parecido aos dos GF de uma e duas camadas fonológicas. Isto indica que, quando o *prime* e o alvo compartilham a mesma raiz, há facilitação de acesso à palavra pela sua pré-ativação, independentemente da carga fonológica no processamento que é acarretada pelo maior número de camadas morfológicas no estímulo-alvo, pois este se aproveita do acesso lexical da raiz compartilhada que já havia sido ativada pelo *prime*. Portanto, concluem os autores, esses dados evidenciarão o modelo da Morfologia Distribuída. Também pode ser considerado que, em termos de modelo de processamento, esses resultados trazem argumentos a favor de que há decomposição no processamento de palavras.

É possível observar, tanto no estudo de Leminen *et al.* (2013) quanto no de França *et al.* (2008), como a manipulação de variáveis e o impacto na amplitude das ondas do EEG informaram acerca da hipótese investigada. A semelhança ou diferença na amplitude das ondas entre as condições controladas nos respectivos estudos foram usadas para que se testassem as hipóteses e fossem realizadas inferências sobre vias de processamento lexical e organização do léxico mental. Leminen *et al.* (2013) e França *et al.* (2008), exemplos de estudos detalhados, apresentam resultados conflitantes, por um lado, já que o primeiro evidencia um modelo de dupla rota e o segundo de

decomposição automática, mas o que se nota é que ambos apontam para a existência de processamento a nível morfológico.

A seguir, aborda-se uma outra técnica de investigação neurocientífica.

MEG

Os estudos de MEG, assim como de EEG, parecem divergir sobre qual modelo de processamento morfológico representa os processos cognitivos envolvidos no reconhecimento de palavras de morfologia complexa. Ao lado do modelo de decomposição precoce, estão os estudos de Pylkkanen *et al.* (2004), Stockall e Marantz (2006), Zweig e Pylkkanen (2009), Stockall *et al.* (2019) e Pylkkanen *et al.* (2020). Evidências a favor de modelos de dupla rota são encontradas em Whiting, Marslen-Wilson e Shtyrov (2013) e Bakker *et al.* (2013).

Assim como na seção anterior, apresentam-se alguns estudos em mais detalhe para que se observe como os experimentos são utilizados nas investigações sobre morfologia complexa.

Pylkkanen *et al.* (2004) investigaram a relação de duas condições com o processamento de itens lexicais de morfologia complexa: tamanho da família morfológica e frequência cumulativa da raiz. Conforme explicado pelos autores, o primeiro conceito se refere a quantas palavras derivadas uma raiz possui, enquanto o segundo é a frequência de uma raiz, obtida a partir da ocorrência tanto dela sem afixos quanto de suas formas derivadas e compostas. Destaca-se aqui que não há um parâmetro claro para o que cada investigação considera critério para incluir na família morfológica. Menciona-se o exemplo de Jong *et al.* (2000) que inclui todas as formas flexionadas para verificar o tamanho de uma família morfológica também, ao contrário do que é feito por Pylkkänen *et al.* (2004).

Os estímulos, retirados de um estudo de Baayen *et al.* (1997 *apud* Pylkkanen *et al.*, 2004), foram distribuídos em quatro condições: alta/baixa frequência cumulativa da raiz e grande/pequena família morfológica. O teste foi feito na modalidade de leitura, com teste de decisão lexical, e buscou observar se as condições morfológicas citadas afetam o processamento de palavras derivadas, o que demonstraria que o cérebro processa informações de natureza morfológica e, deste modo, evidenciar-se-ia o modelo decomposicional. A expectativa era de que a alta frequência da família morfológica afetasse o componente M350, refletindo uma facilitação no momento da ativação de candidatos para seleção no momento de acesso lexical. Tal facilitação se observaria por uma aceleração do M350. Já no caso da variável tamanho da família, se o M350 de fato indexasse estágios iniciais

do processamento lexical, este componente não deveria ser afetado pelo tamanho da família morfológica do estímulo, baseando-se na proposta de Schreuder e Baayen (1997) de que tal variável apenas afeta estágios tardios do processamento lexical.

Mas o que ocorreu com o M350 foi o oposto do esperado pelos autores – como declarado pelos próprios – e isto resultou em evidência favorável ao modelo que buscavam apoiar. Pylkkanen *et al.* (2004) explicam que estudos anteriores apontam que o M350 indexa ativação de candidatos, conforme já explicado, e não a competição entre eles (que indexaria um momento posterior no processamento lexical), como mostrado em Pylkkanen *et al.* (2002). O que ocorreu no experimento foi que o M350 das famílias com maior frequência exibiu maior latência, demonstrando inibição ao invés de facilitação. Contudo, os testes comportamentais com os mesmos estímulos usados por Baayen *et al.* (1997 *apud* Pylkkanen *et al.* 2004) não apresentaram custo de processamento adicional, já que não obtiveram tempos de resposta maiores para este tipo de estímulo. Os autores argumentaram que a explicação é que os estímulos de alta frequência da família eram segmentados mais cedo, então o M350 indexou já a etapa de *competição* entre candidatos em vez de ativação; ou seja, a facilitação da frequência alta se deu por uma antecipação da fase de competição, e não por uma redução da latência da onda. Desta forma, os autores concluíram que os resultados favoreceram o modelo decomposicional.

Por fim, as palavras com família grande aceleraram o M350, conforme esperado pelos autores, demonstrando que esta variável morfológica facilita o processamento lexical. Pylkkanen *et al.* (2004) afirmam que isso explica os resultados mais rápidos dos estímulos com essa condição no teste comportamental. Isso se contrapõe à proposta de Schreuder e Bayen (1997 *apud* Pylkkanen *et al.* 2004), que argumentaram que o tamanho da família afeta apenas processos pós-lexicais. Pylkkanen *et al.* (2004) não dão uma explicação para este efeito, indicando que mais experimentos seriam necessários para compreender a natureza da facilitação. Observe-se que, neste estudo, além da análise das latências e amplitudes das ondas, a janela temporal em que os picos de ondas ocorreram também foi levada em consideração na testagem das hipóteses e aferições sobre o processamento morfológico. Por fim, segundo os autores, seu estudo dialoga com o modelo de decomposição precoce automática.

Stockall *et al.* (2019) revisitaram o debate sobre processamento morfológico de palavras prefixadas. Os autores apontam que trabalho recente sobre processamento de palavras sufixadas visualmente exibidas mostra como

ocorre todo o processo, desde a decomposição baseada na forma até os estágios pós decomposição, através do uso de MEG. Para investigar se há diferença de processamento entre as palavras prefixadas e sufixadas, os autores buscaram observar se há diferenças na decomposição inicial e nos estágios pós-decomposição.

Os autores citam quatro estágios no processamento lexical: (i) decomposição inicial da palavra em morfemas; (ii) *lexeme lookup*; (iii) licenciamento gramatical da combinação afixo+raiz baseado na subcategorização e (iv) avaliação de boa formação semântica das combinações. A primeira etapa se refere à segmentação em estágio inicial, com base na forma ortográfica/fonológica da palavra. A segunda, *lexeme lookup*, consiste na recuperação dos constituintes e seus traços do léxico mental. A terceira, de licenciamento gramatical, verifica se os elementos podem ser combinados com base em suas propriedades subcategoriais. A última diz respeito à combinação dos constituintes, avaliação de sua boa formação semântica e computação da representação lexical da palavra inteira.

Os resultados apontaram um comportamento majoritariamente similar do processamento de palavras prefixadas ao de palavras sufixadas, estando a diferença no primeiro estágio. Durante a decomposição, foi observado que há uma lateralização para o hemisfério direito, o que pode ser explicado pelo fato de que as informações visuais obtidas pelo olho esquerdo são predominantemente processadas no lobo occipital direito; ainda, este estágio teve um atraso de 50 ms em comparação com a decomposição de palavras sufixadas. Com relação ao estágio de *lexeme look up*, foi encontrado um efeito relativo à frequência da raiz da palavra, mas não à da forma inteira, entre 225-305 ms, no córtex temporal inferior esquerdo. Segundo os autores, isso é consistente com modelos de extração de afixos que defendem que raízes e afixos são armazenados no léxico separadamente. Sobre os efeitos de recomposição, no estágio de licenciamento baseado em categoria, foi encontrada uma resposta sensível a desencontro entre a categoria gramatical requerida pelo afixo e a categoria da raiz na mesma janela temporal e na mesma região que ocorrem no processamento de sufixação (200-300 ms e lobo temporal posterior esquerdo, respectivamente). Por fim, também foi encontrada atividade na região orbital frontal (OF) no hemisfério esquerdo na janela entre 300-500 ms, relacionada ao estágio de avaliação de boa formação da composição da palavra. Tal atividade foi evocada nas palavras derivadas cujas restrições semânticas da raiz e do prefixo não eram compatíveis. Assim, a resposta no OF poderia estar associada à

agramaticalidade. Os autores explicam que, no caso do último estágio, a resposta encontrada foi mais variável e menos estatisticamente robusta que no estudo com palavras sufixadas com o qual comparam seu experimento, de Neophytou *et al.* (2018 *apud* Stockall *et al.*, 2019); contudo, os autores afirmam que isso pode não estar relacionado a uma distinção entre prefixos e sufixos, mas com o fato de que os prefixos utilizados no experimento “*un-*” e “*out-*” são homófonos a outros morfemas da língua, o que levanta a possibilidade de uma análise alternativa destes.

Em um experimento como o de MEG, que permite tanto uma análise temporal quanto espacial precisas, os autores puderam definir regiões de interesse e a ativação ao longo do curso temporal do processamento para investigar os estágios envolvidos no processamento morfológico. O estudo de Stockall *et al.* (2019), em particular, mostra como uma técnica como o MEG, que permite análise de processos cognitivos ao longo do curso temporal em regiões específicas, pode ser informativo sobre estudos de processamento linguístico, os quais buscam determinar estágios envolvidos no processamento. Ambos os estudos detalhados embasam o modelo de decomposição automática precoce. No entanto, não se pode deixar de considerar evidências em outros estudos referenciados no início desta subseção acerca de modelos de dupla rota.

RMF

Evidências a favor de modelo de decomposição precoce automática, no caso da RMF, podem ser encontradas em Lehtonen *et al.* (2006) e Gold e Rastle (2007), enquanto alguns estudos que evidenciam modelos de dupla rota são os de Vannest, Polk e Lewis (2005) e Levy *et al.* (2009).

Lehtonen *et al.* (2006) se propuseram a investigar o processamento morfológico de palavras flexionadas do finlandês na modalidade escrita através de um estudo com *fMRI*. O objetivo era observar os dois estágios que se postulam ocorrer neste processamento: a decomposição das palavras em morfemas e a posterior integração de significado dos morfemas no nível semântico-sintático. Junto à ressonância, também foi realizado teste de decisão lexical. Para poder obter evidências de localização anatômica dos processos, as imagens foram contrastadas com as registradas após a exibição de palavras monomorfêmicas (ou seja, que não são passíveis de decomposição morfológica).

Os autores concluíram que os resultados comportamentais mostraram efeitos de caráter morfológico, já que palavras flexionadas obtinham tempos de resposta da tarefa mais lentos que palavras monomorfêmicas; o que os

autores atribuíram a um custo cognitivo (*i.e.*, maior esforço ou tempo necessário devido à maior complexidade das operações ou devido à baixa propensão de ativar – ex. para palavras infrequentes – na realização de um processo cognitivo) adicional para o processamento decomposicional. No que se refere às regiões de processamento, só foi possível indicar uma diferença de ativação mais forte relativa ao processamento das palavras flexionadas no giro frontal inferior esquerdo, mais especificamente na BA47 que, de acordo com os autores, é associada a processamento semântico controlado, e no sulco temporal superior posterior, possivelmente refletindo maior complexidade no processamento morfofonológico; ambos foram relacionados ao segundo estágio que os autores buscavam investigar. Os autores concluem, então, que as evidências com relação ao estágio de decomposição da palavra foram menos conclusivas.

Nota-se que o RMF, por ser uma técnica sem precisão temporal, contrasta regiões do córtex quanto a seus níveis de ativação após exibição de estímulos variados quanto a suas condições. Deste modo, experimentos com RMF possibilitam a discussão tanto sobre modelos de processamento quanto sobre suas fontes corticais.

5. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS DE PROCESSAMENTO MORFOLÓGICO: APONTAMENTOS E LACUNAS

Ao longo das últimas seções, explicitamos os principais conceitos relacionados ao estudo de processamento morfológico, assim como a relação deste fenômeno à neurociência da linguagem. Foram explicados quais são os principais tipos de técnicas neurofisiológicas (EEG, MEG e *f*MRI), suas respectivas vantagens e foram relatados estudos de processamento de morfologia que utilizaram as respectivas técnicas.

O intuito é que este trabalho seja elucidativo para os interessados em conhecer e pesquisar acerca de processamento lexical e morfológico. Muitas questões estão envolvidas neste processo, diversas variáveis são controladas para observar o impacto destas no processamento e os estudos demonstraram como cada desenho experimental pode influir nos resultados e conclusões obtidos.

Ainda que não faltem evidências de que o cérebro é capaz de realizar segmentação das palavras de morfologia complexa, as evidências dos estudos por vezes se desencontram. O estudo de Pylkkänen *et al.* (2004), por exemplo, não pressupõe a existência de representação de forma inteira de palavras derivadas e compostas, e não houve diferenciação de palavras de baixa e alta

frequência em seu estudo para constatação de que haja segmentação morfológica. Da mesma forma, não se pressupõe a possibilidade de não-segmentação no estudo de Stockall *et al.* (2019) ou no de França *et al.* (2008). Por outro lado, há os estudos de Leminen *et al.* (2013) e Fiorentino e Poeppel (2007) que assumem a possibilidade de processamento através da forma inteira em palavras derivadas e compostas. No primeiro estudo, aponta-se para condições de frequência e categoria da palavra como definidoras da via de processamento, enquanto no segundo se sugere que a segmentação sempre ocorre, podendo haver representação da palavra inteira, o que os autores afirmam ser compatível com o modelo de corrida de Schreuder e Baayen (1995).

Esse aparente desencontro exemplifica o quanto ainda há para ser estudado sobre a forma processamos palavras de morfologia complexa. O campo ainda é fértil para investigações sobre qual modelo prediz da melhor maneira os estágios do processamento lexical em diferentes línguas e condições.

Considere-se o português. Apesar de haver estudos sobre processamento lexical morfológico nesta língua, eles ainda são em número menor quando comparamos com a quantidade de estudos em inglês e finlandês, por exemplo. As diferenças de morfologia entre as línguas justificam que mais trabalhos devam ser conduzidos no Brasil para caracterizar o processamento lexical nos falantes do PB. Por exemplo, a língua inglesa é considerada como tendo uma morfologia mais “pobre”, quando comparada a outras (SOTO, 2010). Em discussões sobre modelos de dupla rota, isso poderia significar que o português teria uma tendência para a segmentação por regras contrária a tais modelos? No entanto, apesar da morfologia rica, se ela é menos regular que línguas como o finlandês, por exemplo, a qual já indicou a possibilidade de processamento por dupla rota, será que então nossa língua poderia se beneficiar também da armazenagem da palavra em forma inteira?

Sobre as perguntas levantadas, há investigações sendo conduzidas principalmente por técnicas comportamentais da psicolinguística e pela neurociência. E, também no português, os resultados são contrastantes. Justino e Mota (2019), por exemplo, evidenciam modelo de dupla rota, o que indica a possibilidade de armazenagem em forma inteira de palavras de morfologia complexa, enquanto o estudo de França *et al.* (2008), já discutido, sugere que as palavras são sempre segmentadas. Uma maior exploração das questões morfológicas específicas do português, em observância das variáveis com impacto no processamento já indicadas por estudos em outras línguas, são de significativa importância para caracterizarmos a organização do léxico

mental e como ele é processado, tanto em nossa língua especificamente como na linguagem de forma geral, enquanto cognição compartilhada na espécie.

6. CONCLUSÃO

O presente artigo apresentou uma breve discussão sobre os modelos de processamento lexical e como estes são testados por meio de técnicas da neurociência da linguagem. Exemplificaram-se estudos e evidências favoráveis tanto ao modelo de decomposição precoce automática quanto de dupla rota, os mais influentes nos estudos da área. Por fim, aponta-se para a necessidade de mais investigações sobre como processamos morfologia sob o desafio de, mais especificamente, aumentar-se o número de investigações sobre o processamento morfológico por falantes de português brasileiro.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, S. R. *Where's Morphology*. ***Linguistic Inquiry***, v. 13, n. 4 : 571-612, 1982.

ARAD, M. *Locality Constraints on the Interpretation of Roots: the Case of Hebrew Denominal Verbs*. ***Natural Language & Linguistic Theory***, v. 21, n. 4 : 737-778, 2003.

BAAYEN, R. H.; MILIN, P.; FILIPOVIC DURDJEVIC, D.; HENDRIX, P.; MARELLI, M. *An amorphous model for morphological processing in visual comprehension based on naive discriminative learning*. ***Psychological Review***, 2011.

BAKKER, I.; MACGREGOR, Lucy J.; PULVERMÜLLER, F.; SHTYROV, Y. *Past tense in the brain's time: neurophysiological evidence for dual-route processing of past-tense verbs*. ***NeuroImage***, v. 71 : 187-195, 2013.

BEYERSMANN, E.; CASTLES, A.; COLTHEART, M. *Morphological processing during visual word recognition in developing readers: evidence from masked priming*. ***Experimental Psychology***, v. 65, n. 7 : 1306-1326, 2013.

BYBEE, J. *Regular morphology and the lexicon*. ***Language and Cognitive Processes***, v. 10 : 425-455, 1995.

CHWILLA, D.J.; BROWN, C.M.; HAGOORT, P. *The N400 as a function of the level of processing*. ***Psychophysiology***, v. 32 : 274-285, 1995.

COCH, D.; BARES, J.; LANDERS, A. *ERPs and morphological processing: the N400 and semantic composition*. **Cogn Affect Behav Neurosci**, v. 13 : 355-370, 2012.

CONNOLY, J.; PHILLIPS, N.; STEWART, S.; BRAKE, W. *Event-related potential sensitivity to acoustic and semantic properties of terminal words in sentences*. **Brain and Language**, v. 43, n. 1 : 1-18, 1992.

CUNHA, C.; CINTRA, L. **Nova gramática do português contemporâneo**. 6. ed., Rio de Janeiro: Lexikon, 2014.

FIORENTINO, R.; POEPEL, D. *Compound words and structure in the lexicon*. **Language and Cognitive Processes**, v. 12 : 953-1000, 2007.

FRANÇA, A.; LEMLE, M.; GESUALDI, A.; CAGY, M.; INFANTOSI, A. *A neurofisiologia do acesso lexical: palavras em português*. **Revista Veredas**, v. 2 : 34-49, 2008.

GARCIA, D. C.; MAIA, M. A. R.; FRANÇA, A. I. *The time course of word recognition: evidence from Brazilian Portuguese*. **ReVEL**, v. 10, n. 18, 2012.

GIRAUDO, H.; GRAINGER, J. *Effects of prime word frequency and cumulative root frequency in masked morphological priming*. **Language and Cognitive Processes**, v. 15 : 421-444, 2000.

GOLD, B.; RASTLE, K. *Neural Correlates of Morphological Decomposition during Visual Word Recognition*. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 19, n. 12 : 1983-1993, 2007.

HALLE, M. *Prolegomena to a Theory of Word Formation*. **Linguistic Inquiry**, v. 4, n. 1, 1973, p. 3-16.

HALLE, M.; MARANTZ, A. *Distributed Morphology and the Pieces of Inflection*. In: HALE, K.; KEYSER, S. J. (ed.). **The View from Building 20**. Cambridge: MIT Press, 1993, p. 111-176.

HASSON, U.; SMALL, S. *Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) Research of Language*. In: STEMMER, B.; WHITAKER, H. A. **Handbook of The Neuroscience of Language**. Oxford: Elsevier, 2008. cap. 8, p. 81-89.

JONG, N.; SCHREUDER, R.; BAAYEN, R. *The morphological family size effect and morphology*. **Language and Cognitive Processes**, v. 15, n. 4/5 : 329-365, 2000.

- JUSTINO, J.; MOTA, M. Processamento da morfologia flexional verbal do português brasileiro: um estudo com rastreamento ocular. **Diacrítica**, v. 33, n. 2 : 69-88, 2019.
- KUTAS, M.; HILLYARD, S. A. *Reading Senseless Sentences: Brain Potentials Reflect Semantic Incongruity*. **Science**, v. 207 : 203-207, 1979.
- KUTAS, M.; FEDERMEIER, K. D. *Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP)*. **Annual Review of Psychology**, v. 62 : 621-647, agosto 2011.
- LAVRIC, A.; RASTLE, K.; CLAPP, A. *What do fully visible primes and brain potentials reveal about morphological decomposition?* **Psychophysiology**, v. 48 : 676-686, 2011.
- LEHTONEN, M.; VOROBYEV, V.; HUGDAHL, K.; TUOKKOLA, T.; LAINE, M. *Neural correlates of morphological decomposition in a morphologically rich language: an fMRI study*. **Brain and Language**, v. 98 : 182-193, 2006.
- LEMENEN, A.; LEMENEN, M.; KUJALA, T.; SHYTYROV, Y. *Neural dynamics of inflectional and derivational morphology processing in the human brain*. **Cortex**, v. 49 : 2758-2771, 2013.
- LEVY, J.; PERNET, C.; TRESERRAS, S.; BOULANOUAR, K.; AUBRY, F.; DÉMONET, J.; CELSIS, P. *Testing for the Dual-Route Cascade Reading Model in the Brain: An fMRI Effective Connectivity Account of an Efficient Reading Style*. **Plos One**, v. 4, n. 8.
- MAIA, M.; LEMLE, M.; FRANÇA, A. I. Efeito stroop e rastreamento ocular no processamento de palavras. **Ciências & Cognição**, v. 12 : 02-17, 2007.
- MARANTZ, A. *No Escape from Syntax: Don't Try Morphological Analysis in the Privacy of your own Lexicon*. **University of Pennsylvania Working Papers in Linguistics: Proceedings of the 21st Annual Penn Linguistics Colloquium**, v. 4, n. 2 : 201-225, 1997.
- MARSLEN-WILSON, W.; TYLER, L. K.; WAKSLER, R.; OLDER, L. *Morphology and meaning in the English mental lexicon*. **Psychological Review**, v. 101, n. 1 : 3-33, 1994.

- MORRIS, J.; STOCKALL, L. *Early, equivalent ERP masked priming effects for regular and irregular morphology.* **Brain & Language**, v. 123 : 81-93, 2012.
- MÜNTE, T. F.; SAY, T.; CLAHSEN, H.; SCHILTZ, K.; KUTAS, M. *Decomposition of morphologically complex words in English: evidence from event-related brain potentials.* **Cognitive Brain Research**, v. 7, n. 3 : 241-253, 1999.
- PINKER, S. *Rules of language.* **Science**, v. 253, n. 5019 : 530–535, 1991.
- PULVERMULLER, F.; SHYTYROV, Y. *Language outside the focus of attention: The mismatch negativity as a tool for studying higher cognitive processes.* **Progress in Neurobiology**, v. 79 : 49-71, 2006.
- PYLKKÄNEN, L.; STRINGFELLOW, A.; MARANTZ, A. *Neuromagnetic evidence for the timing of lexical activation: an MEG component sensitive to phonotactic probability but not to neighborhood density.* **Brain and Language**, v. 81, n. 1-3 : 666-678, 2002.
- PYLKKÄNEN, L.; FEINTUCH, S.; HOPKINS, E.; MARANTZ, A. *Neural correlates of the effects of morphological family frequency and family size: an MEG study.* **Cognition**, v. 91 : 35-45, 2004.
- RASTLE, K.; DAVIS, M. H. *Morphological decomposition based on the analysis of orthography.* **Language and Cognitive Processes**, v. 23, n. 7-8 : 942-971, 2008.
- RASTLE, K.; DAVIS, M.; NEW, B. *The Broth in my Brother's Brothel: Morpho-Orthographic Segmentation in Visual Word Recognition.* **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 11, n. 6 : 394-421, 2004.
- RODDEN, F.; STEMMER, B. *A Brief Introduction to Common Neuroimaging Techniques.* In: STEMMER, B.; WHITAKER, H. A. **Handbook of The Neuroscience of Language.** Oxford: Elsevier, 2008. cap. 6, p. 57-67.
- SAVINOVA, E.; MALYUTINA, S. *Evidence for dual-route morphological processing across the lifespan: data from Russian noun plurals.* **Language, Cognition and Neuroscience**, v. 36, n. 6 : 730-745, 2021.
- SCHREUDER, R.; BAAYEN, R. *Modeling morphological processing.* In: Feldman, L. B. (ed), **Morphological Aspects of Language Processing.** Lawrence Erlbaum, New Jersey: Hillsdale, 1995, 131–154.

- SMOLKA, E., ZWITSERLOOD, P.; RÖSLER, F. *Stem access in regular and irregular inflection: Evidence from German participles*. **Journal of Memory and Language**, v. 57, n. 3 : 325–347, 2007.
- SOTO, M. **Interceptando mecanismos de alternância bilíngue: a micromodularidade revelada nos ERPs**. Faculdade de Letras, 2010.
- SOTO, M.; FRANÇA, A. I.; GOMES, J. N.; MANHÃES, A. G. *In what context does context matter? An ERP study of sentence processing in Brazilian Portuguese*. **Letras De Hoje**, v. 50, n. 1 : 120-130, 2015.
- STOCKALL, L.; MARANTZ, A. *A single route, full decomposition model of morphological complexity: MEG evidence*. **The Mental Lexicon**, v. 1 : 85–123, 2006.
- STOCKALL, L.; MANOULLIDOU, C.; GWILLIAMS, L.; NEOPHYTOU, K.; MARANTZ, A. *Prefix stripping re-re-revisited: MEG investigation of morphological decomposition and recomposition*. **Frontiers in Psychology**, v. 10, 2019.
- TAFT, M. *Lexical Access, Cognitive Psychology of*. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, 2001, p. 8743-8748.
- TAFT, M. *Morphological decomposition and the reverse base frequency effect*. **The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A**, v. 57 : 745–765, 2004.
- TAFT, M.; FORSTER, K. *Lexical storage and retrieval of prefixed words*. **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior**, v. 14, n. 6 : 638-647, 1980.
- VANNEST, J.; POLK, T.; LEWIS, R. *Dual-route processing of complex words: New fMRI evidence from derivational suffixation*. **Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience**, v. 5 : 67-76, 2005.
- WHITING, C. M.; MARSLEN-WILSON, W. D.; SHYTYROV, Y. *Neural dynamics of inflectional and derivational processing in spoken word comprehension: laterality and automaticity*. **Frontiers in Human Neuroscience**, v. 7 : 1-15, 2013.
- ZAUNER, A.; GRUBER, W.; HIMMELSTOß, N. A.; LECHINGER, J.; KLIMESCH, W. *Lexical access and evoked traveling alpha waves*. **Neuroimage**, v. 91 : 252-261, 2014.

ZWEIG, E.; PYLKKANËN, L. *A visual M170 effect of morphological complexity.*
Language and Cognitive Processes, v. 24, n. 3 : 412 - 439, 2009.