



**ANÁLISE DE NOVOS DADOS LINGUÍSTICOS:
A ELETROENCEFALOGRAFIA EM NEUROCIÊNCIA DA LINGUAGEM**

**ANALYSIS OF NEW LINGUISTIC DATA:
ELECTROENCEPHALOGRAPHY IN NEUROSCIENCE OF LANGUAGE**

Aleria Cavalcante Lage*

Pós-Doutora em Linguística/Universidade Federal do Rio de Janeiro

Professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro

E-mail: alerial@terra.com.br

Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

*Endereço: Aleria Cavalcante Lage

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Linguística. Av. Horácio Macedo, 2151, Ilha do Fundão/Cidade Universitária, CEP: 21941-917, Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

Editora: Dra. Marlene Araújo de Carvalho

Artigo recebido em 03/02/2013. Última versão recebida em 05/03/2013. Aprovado em 06/03/2013.

Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review pela Editora-Chefe; e b) Double Blind Review (avaliação cega por dois avaliadores da área).

Apoio e financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

Este artigo trata da análise de dados em experimentos em Neurociência da Linguagem em que se usa eletroencefalógrafo (EEG) como mecanismo de aquisição de dados. Os dados adquiridos nestes testes são sinais elétricos. Explica-se a discretização natural dos sinais analógicos em digitais no cérebro. Para isso, são apresentadas as estruturas cerebrais diretamente relacionadas a esse fenômeno, especialmente quando os sinais envolvem a linguagem: sons de fala, leitura, leitura em Braille, língua de sinais. Além de Áreas de Broadmann especiais, são introduzidas a Área de Broca e a Área de Wernicke e suas respectivas afasias. Outro ponto importante é a propagação da eletricidade no cérebro, através das sinapses. Então o foco passa a ser a pesquisa em Neurociência da Linguagem que trata os sinais de EEG transformando-os em ERP (*event-related brain potential* – potencial relacionado a evento) e tem uma resolução temporal precisa. Outros tipos de testes no domínio das técnicas hemodinâmicas de pesquisa em Neurociência da Linguagem, fMRI e PET, são também mencionados. Por fim, um experimento de ERP é apresentado desde a sua hipótese, com base na Teoria Linguística, até a etapa de aquisição e armazenamento dos sinais elétricos. São estabelecidas as diferenças entre os estímulos experimentais; os dados eletrocorticais evocados pelos estímulos; os resultados, em forma de onda, isto é, os ERPs; os ERPs clássicos, como N400 e P600, que decorrem do tratamento matemático dos dados, através da técnica de promediação; e análise linguística dos resultados, em uma perspectiva de alguma contribuição à Teoria Linguística.

Palavras-chave: análise de dados; neurociência da linguagem; EEG; ERP; linguística.

Abstract: This article is about data analysis of Neuroscience of Language experiments that use the electroencephalographer (EEG) as the data acquisition device. The data acquired in these tests are the electric signals. We explain the natural discretization of analogical signals into digital ones in the brain. In order to do that, we present the brain structures directly related to this phenomenon, especially when the signals involve language: speech sounds, reading, reading in Braille, and sign language. Besides special Broadmann's areas, Broca's and Wernicke's Areas are introduced with their respective aphasias. Another important issue is the propagation of electricity in the brain, through synapses. Then, the focus turns to research in Neuroscience of Language that treats EEG signals into ERP (event-related brain potential), which have a precise time resolution. Other kinds of tests within the realm of the hemodynamic research techniques in Neuroscience of Language, fMRI and PET, are also mentioned. Lastly, an ERP experiment is presented from its hypothesis, based on the Linguistic Theory, to the moment of acquisition and storage of the electrical signals. We establish the differences among the experimental stimuli; the electrocortical data evoked by the stimuli; the results, in wave form, that is, the ERPs; the classic ERPs, like N400 and P600, which come from mathematic treatment of the data, through a grand-averaging technique; and the linguistic analysis of the results, in a perspective of bringing a contribution to Linguistic Theory.

Key words: data analysis; neuroscience of language; EEG; ERP; linguistics.

INTRODUÇÃO: DOS SINAIS CEREBRAIS AOS DADOS LINGUÍSTICOS

Pensamos primeiro no que sejam dados em qualquer ciência: informações que podem ser observadas, frutos de fenômenos. Se focarmos nas ciências naturais, parece que esta conceituação fica mais clara. Ao fazermos isso, temos que nos voltar para o mundo. E um fato sobressai. Nossa percepção do mundo é própria da nossa espécie - seres humanos - e diferente daquela de todas as demais espécies. Um só mundo para todos os seres vivos, mas cada qual possui maneiras diversas de percebê-lo.

Estamos em meio a um infinito de sinais analógicos, sinais contínuos que transportam informação em forma de luz, som, temperaturas, cheiros. Os sinais analógicos possuem infinitos valores no tempo e no espaço. Quando os sinais analógicos adentram o organismo humano e são captados pelo cérebro, ocorre a discretização dos sinais, ou seja, os sinais analógicos se tornam digitais. Isso acontece porque nosso cérebro funciona através de sinais digitais, que são binários, com valor de zero ou um. No momento em que os sinais analógicos são discretizados em digitais no nosso cérebro, eles se tornam dados.

Nós, seres humanos, bem como grande parte das demais espécies, percebemos estes sinais analógicos infinitos como sinais digitais, pois o cérebro funciona assim, digitalmente. E mesmo outras espécies que como nós também captam o mundo analógico de modo digital não o percebem da mesma maneira que nós, visto que nossos sentidos são diferentes dos sentidos dos outros animais (França, Lage, 2013). E as demais cognições também. Entre elas, há pelo menos uma cognição que só existe em nós: a linguagem. Fazemos aqui a diferença entre linguagem, que só pode ser linguagem humana, e os sistemas de comunicação animal, que até podem ser bastante complexos. Assim como cada espécie tem suas cognições específicas, ela também tem seu sistema de comunicação específico. À parte está a linguagem na espécie humana, um sistema cognitivo único e mais complexo do que de qualquer animal: a Faculdade da Linguagem (Berwick *et al.*, 2013).

Ao captarmos as ondas sonoras advindas da fala, que adentram nossas orelhas, elas nos chegam na forma de sinais analógicos. Mas depois de passarem pelo aparelho auditório, atingem o córtex auditório primário, onde ocorre a discretização dos sinais analógicos, isto é, a transformação dos sinais analógicos em digitais.

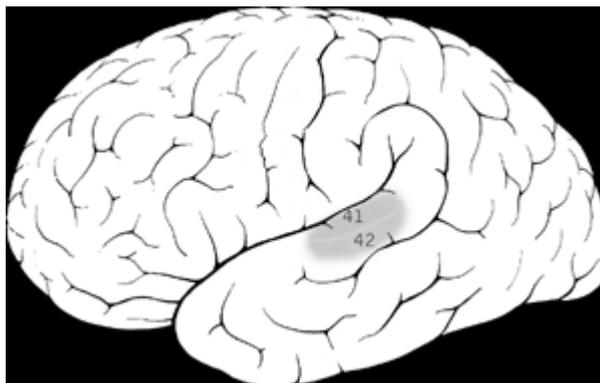


Fig. 1: Córtex auditivo primário: B41 e B42¹

O córtex auditivo primário corresponde às Áreas de Broadmann 41 e 42 (Fig.1). Em 1909, Korbinian Broadmann (1868-1918), neurologista alemão, definiu e numerou um total de 52 áreas no cérebro, conforme a sua citoarquitetura, isto é, os tipos e a organização dos neurônios (Fig. 2). Desde então, outros estudiosos, de diferentes cognições, passaram a relacionar estas áreas a diversas funções corticais.

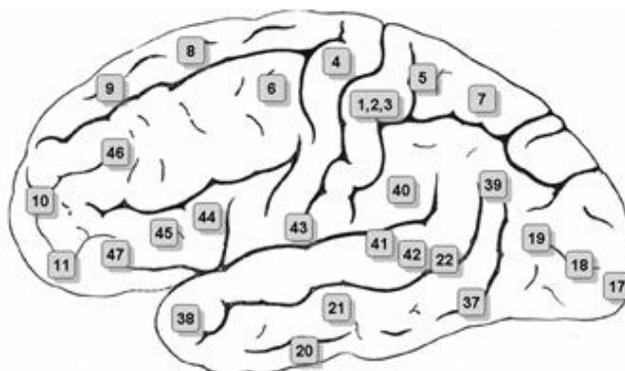


Fig. 2: Áreas de Broadmann

Vale ressaltar que não existe consenso sobre a exata demarcação das áreas nomeadas, porque as mudanças celulares são incrementais. Assim, podemos dizer que as fronteiras na realidade são indistintas. Além disso, Broadmann não conseguiu evidenciar nenhuma base evolutiva em seu esquema, ou seja, a arquitetura celular dos cérebros de humanos deveria ser semelhante àquela do macaco e diferir desta de forma previsível. Este critério de consistência evolutiva não foi adotado por Broadmann. Ainda assim, a despeito destas críticas ao modelo,

¹ Todas as figuras apresentadas no texto são retiradas de Lage (2005) ou do arquivo pessoal de fotos da pesquisadora ou da Wikipedia (www.wikipedia.org), que é uma enciclopédia virtual de domínio público, sendo às vezes adaptadas.

as vantagens didáticas trazidas pelo mapa citoarquitetônico de Broadmann asseguram o seu uso consagrado.

O CÉREBRO E SUA UNIDADE DE TRANSMISSÃO DE SINAIS: O NEURÔNIO

O sistema nervoso é constituído por células de dois tipos: neurônios (Fig. 3) e glia². Até pouco tempo se acreditava que a glia era responsável somente pela sustentação do tecido nervoso. Hoje já se sabe que a glia exerce muitas outras funções. Mas a principal função do cérebro: transmitir informações de base eletroquímica é desempenhada pelos neurônios, células excitáveis eletricamente.

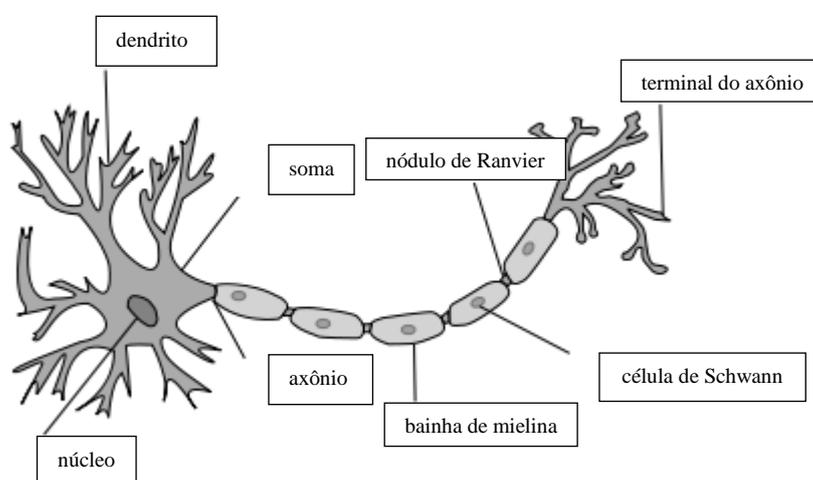


Fig. 3: Neurônio

A superfície do cérebro é o córtex (Fig. 4), a sua camada mais externa, a massa cinzenta, um tecido vital de 2 a 6 mm, que tem justamente esta tonalidade porque é onde se encontra a grande maioria dos corpos das células neuronais: os somas (Fig. 3). “De todo o córtex cerebral, 90% são o neocórtex, envolvido nas altas funções humanas, como a percepção sensorial, a geração de comandos motores, o raciocínio espacial, o pensamento consciente e a linguagem.” (Gesualdi, França, 2011).

² As células de glia são geralmente percebidas como um todo (massa branca) e por isso o plural da palavra não é muito usado.

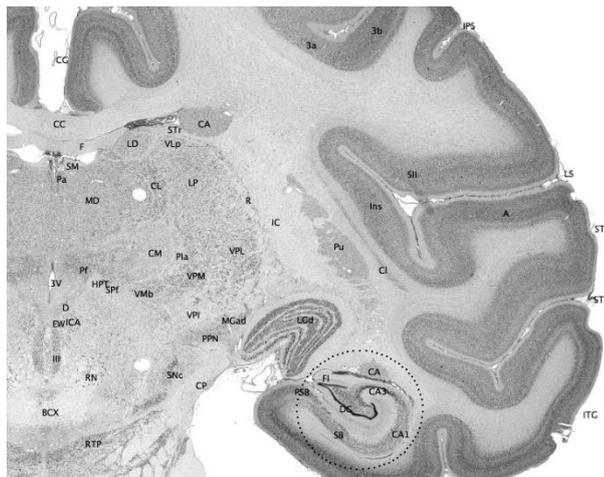


Fig. 4: Uma fatia do córtex

O prolongamento da célula neuronal, chamado de axônio, é revestido por uma camada lipídica de cor esbranquiçada formada por um tipo especial de glia: células de Schwann (Fig.3). Quanto mais interno o tecido cerebral, mais branco ele é, pois mais extensões neuronais recobertas por glia (axônios) e menos corpos neuronais (somas) formam o tecido (Fig. 3).

O cérebro por inteiro é protegido por três meninges e pela caixa craniana (Fig. 5). A meninge mais interna é a mais delicada e se chama pia-máter. Depois dela, temos a aracnoide, que se prende através das suas trabéculas. São as trabéculas que de fato amparam o cérebro em caso de movimento brusco, por exemplo, dando ao cérebro certa mobilidade, naturalmente necessária no nosso cotidiano. Para proteger o cérebro, ainda temos a meninge dura-máter e o crânio (Fig. 5 e Fig. 6), sendo este composto por vários ossos e protegido pelo perióstio (pericrânio).

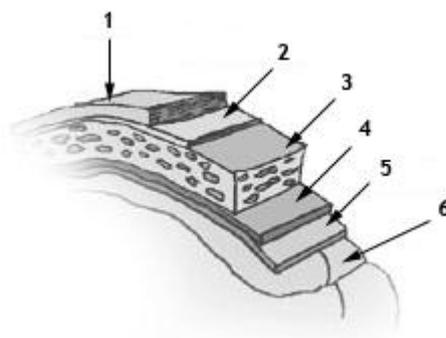


Fig. 5: (1) Pele; (2) perióstio (pericrânio); (3) osso;
(4) dura mater; (5) aracnoide; (6) pia mater.

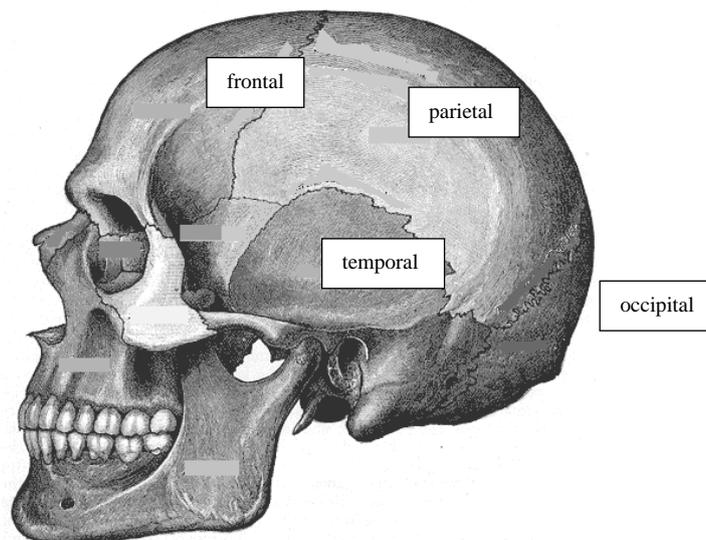


Fig. 6: Crânio

Como estamos tratando de sons da fala, e não de outro tipo de som, os sinais digitais provenientes dos sons da fala vão, então, do córtex auditório para o local no cérebro que é responsável pela compreensão ou recepção da linguagem: a Área de Wernicke.

A Área de Wernicke foi datada em 1874, antes das Áreas de Brodmann. Karl Wernicke (1848-1905), anatomista, psiquiatra e neurologista alemão, concluiu, após o estudo de muitos pacientes que haviam sofrido AVC (Acidente Vascular Cerebral, popularmente conhecido como derrame), que uma área específica no lobo temporal do hemisfério esquerdo do cérebro estaria relacionada à compreensão, à recepção de linguagem. A divisão do cérebro em lobos (Fig. 7) acompanha a nomeação dos ossos do crânio (Fig. 6).

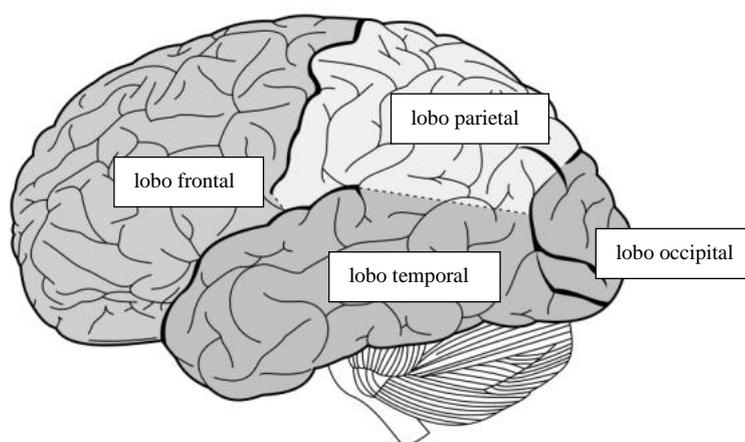


Fig. 7: Lobos cerebrais

Antes de Wernicke, um médico cirurgião e anatomista francês, Pierre Paul Broca (1824-1880), também depois de estudar inúmeros casos de pacientes com AVC, havia delimitado, em 1860, uma área no lobo frontal (terceira circunvolução³ inferior frontal) do hemisfério esquerdo do cérebro (Fig. 8) como diretamente associada à produção de linguagem, à fala. Foi assim que Broca inaugurou o estudo das afasias, que são, portanto, os déficits de linguagem adquiridos, ou seja, provenientes de lesão.

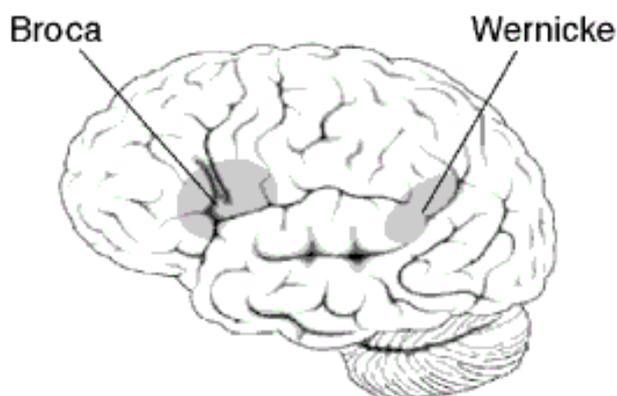


Fig. 8: Área de Broca e Área de Wernicke

A Área de Wernicke foi numerada por Broadmann como 22 (Fig. 2); e a Área de Broca, como 44 (Fig. 2). Depois, a Área de Broca, então B44, foi estendida à Área de Broadmann 45 (Fig. 2).

O CÉREBRO PROCESSANDO LINGUAGEM

O contato com os estímulos linguísticos pode se dar de diversas formas. A partir da leitura, a área de processamento visual é a primeira a ser recrutada. Sendo assim, os sinais analógicos que chegam através dos olhos são discretizados no córtex visual primário, B17 (Fig. 2), que fica no lobo occipital. Como se trata de linguagem por meio da leitura, padrões relativos à forma das letras são percebidos no córtex visual primário e enviados para o giro fusiforme, B37 (Fig. 2), onde acontece a identificação das palavras, a partir das imagens das letras. Segundo Dehaene e Cohen (2011), há uma região do giro fusiforme especificamente associada à leitura, nomeada Área Visual de Formação de Palavra (*Visual Word Form Area*:

³ Circunvolução são as curvas (“dobras”) que formam o córtex.

VWFA). Em seguida, estes dados são enviados para a área de Wernicke, onde são transmutados em categorias fonológicas discretas.

Se a leitura é através do método Braille, as informações do mundo são intermediadas pelos dedos. Através do tato, os estímulos chegam primeiramente ao córtex sensorial primário: B1, B2 e B3 (Fig. 2). Os sinais analógicos já então discretizados no córtex sensorial primário, através do reconhecimento de padrões presentes no método Braille, e vão para a Área de Wernicke para a linguagem ser compreendida. Para isso, mais uma vez os estímulos precisam ser transformados em estímulos linguísticos, ou seja, transmutados em unidades fonológicas discretas.

Quando alguém está frente ao outro que está sinalizando, os estímulos que ele recebe são visuais. Mas são estímulos visuais que incluem, além de cor, movimento. Não se trata de uma leitura de texto. Isso quer dizer que a discretização dos sinais analógicos, que entram neste indivíduo através dos olhos, se dá no córtex visual primário, através da Via Ventral, que lida com sinais relativos a forma e cor, e da Via Dorsal, que lida com sinais referentes a movimento. Depois, estes sinais já digitalizados vão para o giro angular, B39 (Fig. 2) e seguem para o hemisfério direito do cérebro, sendo transmutados em dados (sinais digitalizados) relativos à língua de sinais. Mas reparem que estes sinais provenientes do que se vê quando se está diante de alguém empregando a língua de sinais, apesar de serem sinais de língua, não vão para a Área de Wernicke para serem transmutados e interpretados, não sendo, portanto, discretizados em unidades fonológicas. Isso é um indicativo de que a língua de sinais certamente faz outro recorte da linguagem humana tal como conhecemos em indivíduos ouvintes.

Mas como se dá a transmissão de eletricidade entre os neurônios? Um neurônio (Fig.3) possui uma diferença de voltagem entre o citoplasma e o líquido extracelular.⁴ Esta diferença faz com que haja uma corrente de despolarizações ao longo dos axônios dos neurônios, que forma as ondas de picos positivos e negativos, ou seja, a sequência *vale-montanha*, que

⁴ Esta diferença de voltagem decorre da diferença de concentração de íons de sódio (Na^+) e potássio (K^+). Tal diferença de concentração se dá através das chamadas bombas de Na^+ e K^+ , sendo controlada por canais de Na^+ e K^+ , que ligam o interior e o exterior de cada neurônio em repouso. O estado de polarização do neurônio – ou de equilíbrio do neurônio ou de repouso do neurônio – vai até o momento em que chega um potencial de ação e abre os canais de Na^+ e K^+ , modificando a concentração de íons e promovendo um potencial positivo no interior do neurônio. E é este desequilíbrio que dá origem a um potencial de ação, que normalmente começa no axônio e vai até as vesículas sinápticas, produzindo os neurotransmissores, que são aí descarregados. A seguir se verifica um ciclo do mecanismo de potencial de ação. Depois do disparo do potencial de ação, os canais de Na^+ e K^+ logo buscam um novo equilíbrio: tensão negativa do lado de dentro do neurônio e positiva fora. E após este breve momento refratário, o neurônio se torna capaz de disparar um novo potencial de ação.

caracteriza o conhecido traçado de um eletroencefalograma (EEG). Estas ondas ininterruptas que se propagam no cérebro são, em última análise, a vida.

A propagação da eletricidade se verifica em cada um das centenas de bilhões de neurônios. E cada neurônio pode se conectar a milhares de outros, formando diferentes circuitos. A propagação da eletricidade se dá graças à camada lipídica de mielina que recobre o axônio. Esta cobertura de mielina se organiza em bainhas, produzidas pelas células de Schwann, identificadas pelo fisiologista alemão Theodor Schwann (1810-1882), que são um tipo de glia. Entre uma bainha de mielina e outra está um nódulo de Ranvier, uma pequena porção do axônio não coberta pela bainha de mielina. Nos nódulos de Ranvier, onde a membrana citoplasmática do neurônio está exposta, a onda elétrica (potencial de ação) pode ganhar o interior da célula e despolarizá-la. Se a onda entrou como um potencial positivo, naquele ponto ele se torna negativo. Assim, de nódulo a nódulo de Ranvier, isto é, através de propagação saltatória, rapidamente a eletricidade percorre todo o axônio do neurônio até chegar aos terminais axonais. Lá, o potencial de ação – ou impulso nervoso ou sinal elétrico – encontra uma fenda antes de poder chegar ao próximo neurônio. Para vencer a fenda, há uma sinapse, que é a transmutação da eletricidade em reação química.

A sinapse (Fig. 9) conta com os neurotransmissores do neurônio pré-sináptico e com os receptores dos neurônios pós-sinápticos.⁵ Dependendo dos neurotransmissores e dos receptores, a informação elétrica que trafegou em um neurônio pode chegar a outro alterada. Logo, a sinapse é não só sinônimo de fenda sináptica como também de todo o processo eletroquímico aqui descrito (Fig. 9). Enfim, o que permite que a atividade elétrica de um neurônio influencie a de outro é a transmissão sináptica, quando um sinal elétrico passa a ser químico, e este sinal químico volta a ser elétrico, já dentro do neurônio pós-sináptico.

⁵ O potencial de ação modifica proteínas, sensíveis à voltagem da membrana celular, permitindo a entrada de cálcio (Ca) no terminal do axônio. O Ca leva vesículas com substâncias químicas (vesículas sinápticas) a se fundirem com a membrana do neurônio, lançando essas substâncias, que são os neurotransmissores, para fora do terminal do axônio, isto é, para a fenda sináptica (Fig. 9). O neurônio que libera os neurotransmissores é chamado de pré-sináptico. A membrana do neurônio pós-sináptico contém proteínas que percebem os neurotransmissores. Estas proteínas são os receptores, que se alteram quimicamente, gerando assim mudanças químicas que geram novo potencial de ação.

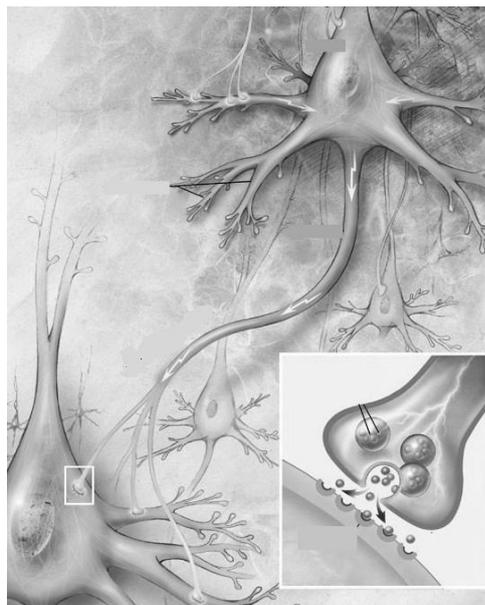


Fig. 9: Sinapse

Trata-se de uma sinapse química.⁶ O sinal é integrado, reforçando ou inibindo os sinais elétricos recebidos por todas as outras sinapses do neurônio. E, a partir desse processo, chega-se a enviar ou não o sinal, sempre ao longo do axônio, para a célula seguinte, onde todo o processo se repete. Portanto, as sinapses promovem a transmissão da eletricidade entre os neurônios. E a eletroencefalografia é capaz de registrar essa eletricidade que se propaga.

ENFOCANDO O EEG-ERP ENTRE AS FORMAS DE MONITORAÇÃO DA LINGUAGEM NO CÉREBRO

A Neurociência da Linguagem utiliza várias ferramentas e equipamentos para pesquisa. As técnicas empregadas nesta ciência não são invasivas, ou seja, não fazem mal à saúde. As técnicas hemodinâmicas investigam fenômenos linguísticos a partir do caminho e da intensidade do fluxo sanguíneo. Os neurônios que participaram de tarefa cognitiva dependeram energia (eletricidade) e, portanto, precisam de glicose e de oxigênio, em quantidade variada, que serão levados a esse neurônio pelo sangue. O fluxo sanguíneo vai até o neurônio que atuou eletricamente. As imagens geradas a partir daí permitem ótima

⁶ Além das sinapses químicas, que ocorrem na manifestação das cognições de toda ordem, existem ainda as sinapses puramente elétricas, que acontecem normalmente quando há fenômenos motores, movimentos.

resolução espacial. As principais técnicas hemodinâmicas são PET (tomografia) e fMRI (ressonância).

As técnicas eletromagnéticas, MEG (magnetoencefalografia) e EEG (eletroencefalografia), são de excelente resolução temporal e, desta forma, muito apropriadas para o estudo da linguagem, já que a referência é o tempo normal de fala. O MEG (magnetoencefalógrafo) é um equipamento bastante distante da realidade brasileira, sobretudo para o estudo de ciência básica.

Vamos tratar então dos dados que podem ser obtidos a partir de um EEG (eletroencefalógrafo), que é o equipamento acessível e que mais interessa ao estudo de linguagem. A eletroencefalografia, isto é, a gravação de ondas do cérebro foi inventada, em 1924, por Hans Berger (1873-1941), neurologista alemão. Durante muito tempo, a invenção tinha somente fins clínicos. Agora, entretanto, ela serve também às ciências cognitivas em geral.

Considerando um experimento de linguagem, que normalmente deve ter uma hipótese alicerçada na Teoria Linguística, que dados podemos obter a partir de um aparelho de EEG? Dados linguísticos? Não. Eletricidade. Em outras palavras, sinais elétricos que são coletados e armazenados a partir da atividade eletrocortical do voluntário do experimento. Mas como estes sinais elétricos podem ser úteis no estudo de linguagem, ao compararmos os dados eletrocorticais com os estímulos linguísticos, que provocaram a eletricidade, que são frases, palavras, fonemas?

Podemos verificar com enorme precisão temporal o que acontece quanto aos sinais elétricos a partir do momento em que o voluntário ouve ou lê uma palavra específica, dentro de uma frase, por exemplo. No experimento, esta palavra é chamada de *trigger* (gatilho ou palavra alvo ou palavra crítica ou segmento crítico). E se juntarmos todos os estímulos referentes a uma condição experimental, e então digamos que vinte já sejam suficientes, e relativamente a todos os voluntários, que devem ser aproximadamente vinte também, teremos 400 trechos de sinais elétricos, também chamados de épocas, que são trechos de interesse do EEG, e relativamente a cada derivação, que é cada ponto no escalpo onde é posicionado um eletrodo (Fig. 10).

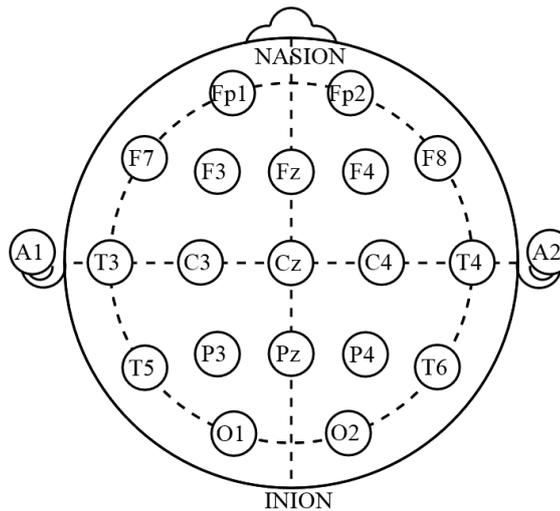


Fig. 10: Postura Internacional 10-20

Estes são os dados que podemos obter a partir de EEG: sinais elétricos. E cada eletrodo coleta ao mesmo tempo inúmeros sinais. Mas temos que considerar que estes sinais, até serem coletados pelo eletrodo, ricocheteiam no cérebro. Por isso, o EEG não é uma técnica de ótima resolução espacial. Por outro lado, a resolução temporal é excelente, podendo ser considerado o tempo de fala espontânea. Mas, apesar de não haver exatidão quanto aos dados espaciais, ainda assim podemos chegar a este tipo de dados, e com mais definição, através de um programa computacional destinado a este fim, que é também capaz de plotar gráficos de vários tipos, mostrando as tendências em termos de localização das atividades eletrocorticais.

Os sinais captados por um eletrodo são digitais no cérebro, mas no eletrodo, ou seja, fora do cérebro, eles voltam a ser analógicos. O EEG transforma os sinais novamente em digitais. E o traçado de EEG que se vê no monitor do computador onde funciona o programa de aquisição e armazenamento de sinais, referentemente a uma derivação, parece ser apenas um sinal, mas na verdade é o conjunto de sinais captado por um eletrodo e digitalizado pelo EEG (Fig. 11).

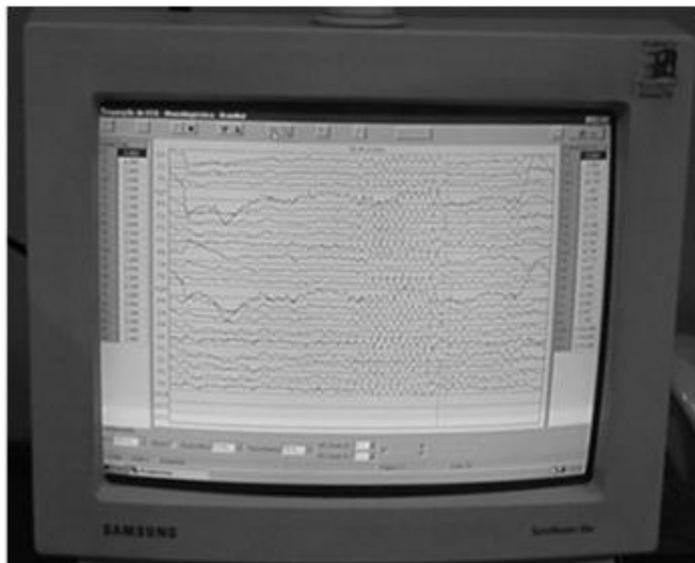


Fig.11: Monitor durante a aquisição de sinais (LAGE, 2005, p. 148)

Há EEG de 36 canais (Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 e Fig. 13) e outros mais densos: de 64 ou 128 canais (Fig. 14). Se considerarmos um EEG de 36 canais, a postura mais comum, isto é, o modo de colocação dos eletrodos é o Sistema Internacional 10-20 (Fig. 10). A partir desta postura são empregados 23 canais, o que implica 23 eletrodos: 20 eletrodos para as derivações (CZ, C3, C4, PZ, P3, P4, T3, T4, T5, T6, OZ, O1, O2, FZ, F3, F7, F4, F8, FP1 e FP2), além de dois de referência de eletricidade nula, posicionados comumente nos lóbulos das orelhas, que são os auriculares, e do eletrodo terra, para evitar alta impedância, sendo impedância a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito.

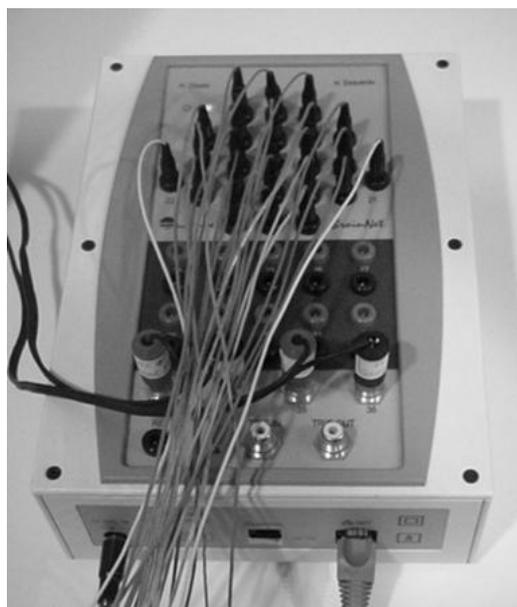


Fig. 12: EEG de 36 canais (LAGE, 2005, p. 136)



Fig. 13: Ambiente experimental, sendo utilizado EEG de 36 canais (foto de arquivo pessoal)

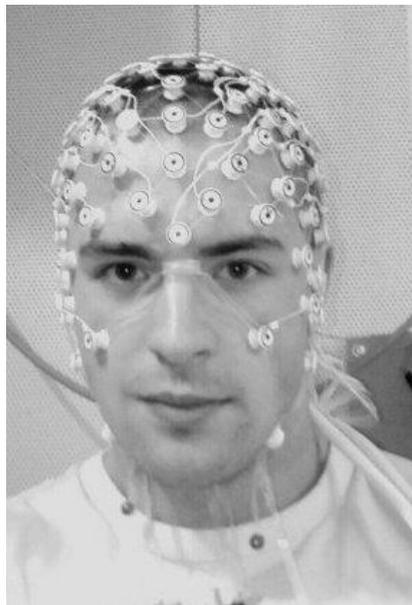


Fig. 14: Postura com EEG de 128 canais

O aparelho de EEG, além de transformar os sinais analógicos em digitais, amplifica os sinais e filtra boa parte dos ruídos, das interferências, que são os artefatos, que podem ser fisiológicos (palpebrais, oculares, musculares etc.) ou do ambiente.

Depois da aquisição dos sinais elétricos pelo EEG, eles são processados matematicamente, através da técnica de promediação, para que se chegue a uma média, a chamada *grand-average*. O processamento de sinais é implementado através de um programa computacional específico. Ao final do processamento de sinais, os dados se transformam em resultados, que apresentam a forma de potencial elétrico relacionado a evento (*ERP: event-related brain potential*). Este componente elétrico (ERP) de voltagem negativa (N)

geralmente é plotado para cima; de voltagem positiva (P), para baixo (Fig. 16). A abscissa (x) marca o tempo, após o *trigger*, em milissegundos (ms), ou seja, a latência da onda, e a ordenada (y) marca a voltagem em microvolts (μV), a amplitude (a altura) da onda.

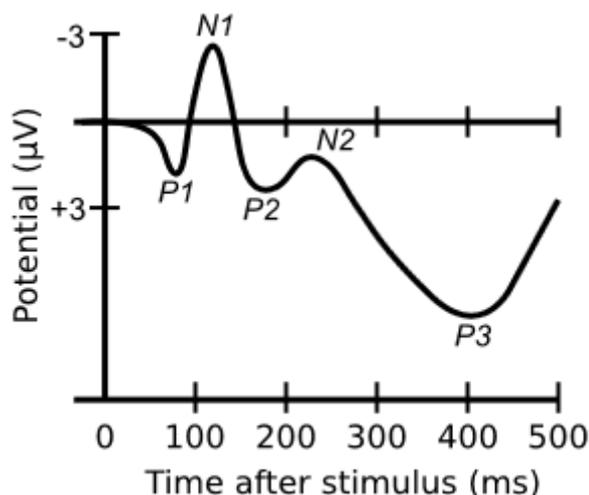


Fig. 15: ERP: a abscissa (x) marca o tempo após o *trigger* em milissegundos (ms); a ordenada (y) marca a voltagem em microvolts (μV). Potenciais positivos (P) para baixo; potenciais negativos (N) para cima.

Outro grande desafio para o linguista, além de aventar a sua hipótese, embasada na Teoria Linguística, é elaborar em detalhes o experimento e, especificamente, os estímulos, que farão surgir dados que possam responder à pergunta experimental, após a análise dos resultados (Lage, 2011). Além do desenho (*design*) experimental muito bem ajustado, é importante que o pesquisador chegue a uma predição, ou seja, a uma expectativa, a uma previsão quanto aos resultados. Os dados elétricos são muito precisos temporalmente e, assim, ajudam o pesquisador a perceber em que nível os resultados se ajustam à teoria e servem para confirmá-la ou podem inspirar ajustes para adequá-la a níveis mais sutis de realidade neurofisiológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: A REAL CONTRIBUIÇÃO DOS NOVOS DADOS ELETROCORTICAIS À PESQUISA LINGUÍSTICA

Os sinais elétricos adquiridos dos voluntários são, portanto, novos dados do experimento que o linguista pode e deve incluir em sua análise de um fenômeno linguístico. Podemos estar nos referindo ao chamado EEG cru, isto é, ainda sem estar tratado

matematicamente, através da técnica de promediação, ou os dados já tratados pela promediação, apresentando a forma de ERPs, que são ondas consolidadas como a resposta de uma população de sujeitos.

As relações quanto à amplitude dos ERPs – a altura das ondas – e quanto à latência dos ERPs – o momento exato em que as ondas vão para cima ou para baixo – são os resultados experimentais, que provêm dos estímulos, que são elaborados mediante uma condição experimental. Os resultados são, portanto, as relações entre o ERP correspondente aos estímulos com a condição experimental e o ERP correspondente aos estímulos sem a condição experimental (grupo controle), respectivamente a cada derivação (ponto no escalpo onde se coloca eletrodo). Normalmente, essas relações podem ser previamente verificadas a olho nu, mas precisam passar por tratamento estatístico (Fig. 17).

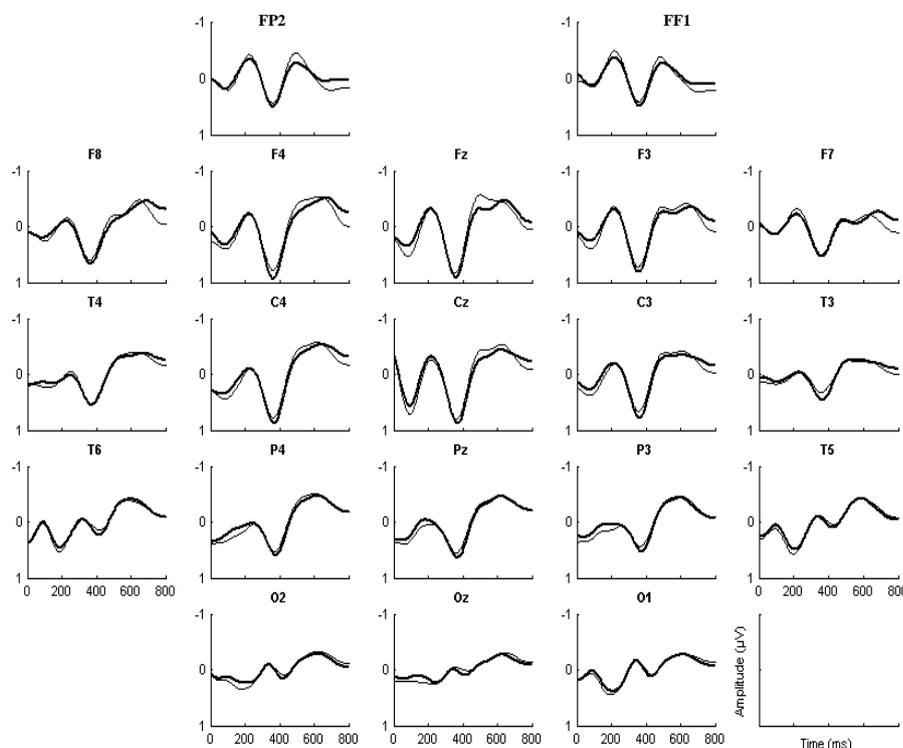


Fig. 16: Resultados de experimento com EEG: ERP relativo aos estímulos com a condição experimental e ERP segundo os estímulos sem a condição experimental, ambos correspondentes a cada derivação (LAGE, 2005, p. 98)

Com estes resultados sutis, podemos verificar que as diferenças morfológicas das ondas refletem os fenômenos linguísticos investigados, podendo assim ser associados às chamadas assinaturas elétricas, ERPs clássicos, como o N400 e P600, comumente encontrados e relatados na literatura de Neurociência da Linguagem.

ERPs relacionados a certos fenômenos linguísticos vêm sendo detectados repetidamente ao longo de anos. Os primeiros trabalhos com EEG na área da Neurociência da

Linguagem não foram realizados por linguistas: Kutas e Hillyard (1980). A área se expandiu, na década de 90. E no início do século à atualidade, houve grande aumento dos trabalhos na área, incluindo vários linguistas e o começo deste tipo de estudo no Brasil, também por linguistas (França, 2002) e Lage (2005), seguidos pela dissertação de Gomes (2009).

Sendo assim, já desde a década de 80, a pesquisa em Linguagem vem delimitando um padrão associativo para determinados ERPs, que passaram a ser considerados assinaturas elétricas dos fenômenos de que decorrem. Um ERP a cerca de 400 ms (de aproximadamente 250 a 450 ms) após o segmento crítico e de polaridade negativa, isto é, em geral plotado para cima, há muito vem sendo relacionado à incongruência semântica: N400. Um ERP em torno de 600 ms (450-650 ms) depois do segmento crítico e de polaridade positiva (plotado para baixo), corresponde, em via de regra, a uma anomalia sintática: P600. Estes são os principais entre outros potenciais elétricos com características padrão desde bastante tempo, depois de muitas pesquisas, especialmente nos últimos vinte anos.

Partir para uma análise linguística dos resultados é mais um momento de muito cuidado, visto que ainda há pouca informação dentro da área de Neurociência da Linguagem, se a compararmos com a quantidade e o tempo de pesquisa em Teoria Linguística (Lage, 2011), que se faz presente pela Gramática Gerativa, através do Minimalismo (Chomsky, 1957, 1981, 1995, 2011, 2013) ou da Morfologia Distribuída (Halle, Marantz, 1993).

Apesar desta defasagem natural, devida aos tempos diferentes de existência de uma e de outra área, é possível se estabelecerem correlações entre fenômenos linguísticos apresentados através dos estímulos e os ERPs, que são os resultados experimentais, ou seja, são gerados pelos dados extraídos dos indivíduos. Para tanto, é necessário que o desenho do experimento tenha sido muito bem elaborado, e a condição experimental muito bem definida, entre outros detalhes quanto à criação dos estímulos, como a compatibilidade no tamanho e na estrutura sintática do segmento.

Com esses cuidados, e estando atualizado com a literatura de EEG, é possível se realizar uma análise linguística dos resultados apropriada, podendo até levar a Neurociência da Linguagem a alguma colaboração à Teoria Linguística, sendo que isso é uma via de duas mãos, já que a Teoria Linguística é imprescindível para a criação de um experimento em Neurociência da Linguagem, especialmente no que diz respeito à sua hipótese, e análise de seus resultados.

REFERÊNCIAS

- BERWICK, R. C.; FRIEDERICI, A. D.; CHOMSKY, N.; BOLHUIS, J. J. Evolution, brain, and the nature of language. **Trends in Cognitive Sciences**, New York, v. 17, n. 2, p. 89-98, February 2013.
- CHOMSKY, N. Problems of projection. **Lingua**, v. 130, p. 33-49, January 2013.
- _____. Language and other cognitive systems. What is special about language? **Language Learning and Development**, v. 7, p. 263-278, 2011.
- _____. **The minimalist program**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1995. 420 p.
- _____. **Lectures on government and binding: the Pisa lectures**. Dordrecht: Foris, 1981. 371 p. (Studies in Generative Grammar, 9)
- _____. **Syntactic structures**. The Hague: Mouton, 1957. 117 p.
- DEHAENE, S.; COHEN, L. The unique role of the visual word form area in reading. **Trends in Cognitive Sciences**, New York, v. 15, n. 6, p. 254-62, 2011.
- FRANÇA, A. I. **Concatenações linguísticas: estudo de diferentes módulos cognitivos na aquisição e no córtex**. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. 235 p.
- FRANÇA, A. I.; LAGE, A. C. Uma visão biolinguística da arbitrariedade saussuriana. **Letras de Hoje**, PUCRS, 2013. (No prelo)
- GESUALDI, A. R.; FRANÇA, A. I. Event-related brain potentials (ERP): an overview. **Revista Linguística**, Revista do Programa de Pós-Graduação em Linguística da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 24-42, dezembro 2011.
- GOMES, J. N. **A direcionalidade no relacionamento semântico: um estudo de ERP**. Dissertação de Mestrado em Linguística, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Letras, Programa de Pós-Graduação em Linguística, 2009. 143 f. il.
- HALLE, M; MARANTZ, A. Distributed Morphology and the pieces of inflection. In: HALE, K.; KEYSER, S. J. (Eds.) **The view from building 20: essays in linguistics in honor of Sylvain Bromberger**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1993. p. 111-176. (Current Studies in Linguistics, 24)
- KUTAS, M.; HILLYARD, S. A. Reading senseless: brain potentials reflect semantic incongruity. **Science**, Washington, v. 207, n. 4427, p. 203-205, January 11, 1980.
- LAGE, A. C. Uma revisão crítica de *Linguistic prominence and Broca's area: the influence of animacy as linearization principle*. **Revista Linguística**, Revista do Programa de Pós-

Graduação em Linguística da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 18-23, dezembro 2011.

_____. **Aspectos neurofisiológicos de concatenação e idiomaticidade em português do Brasil:** um estudo de potenciais bioelétricos relacionados a eventos linguísticos (ERPs). Tese de Doutorado em Linguística, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Letras, Departamento de Linguística, 2005. 185 f. il. In: FINGER, I; MATZENAUER, C.L.B. (Orgs.), *TEP: Textos em Psicolinguística*. Publicação eletrônica do GT de Psicolinguística da ANPOLL. Pelotas: EDUCAT - Editora da Universidade Católica de Pelotas.