

SILVANO, E.; FRANÇA, A. I. Neuroplasticidade em cegos congênitos: uma revisão enfocando ganhos linguísticos. *ReVEL*, vol. 19, n. 36, 2021. [www.revel.inf.br]

## NEUROPLASTICIDADE EM CEGOS CONGÊNTOS: UMA REVISÃO ENFOCANDO GANHOS LINGUÍSTICOS

*Neuroplasticity in congenital blind people: a review focusing on their linguistic advantage*

**Emily Silvano<sup>1</sup>**

**Aniela Improta França<sup>2</sup>**

emilysilvano@letras.ufrj.br

aniela@letras.ufrj.br

**RESUMO:** Os estudos com cegos congênitos têm evidenciado um desempenho superior dessa população em tarefas linguísticas, bem como de memória verbal e tarefas auditivas. O presente estudo almeja revisar os principais achados sobre a plasticidade transmodal e a experiência linguística dos cegos congênitos. Na ausência da experiência visual durante o período crítico do desenvolvimento – na primeira infância – o córtex visual é recrutado não apenas para outras habilidades sensoriais, como o tato, mas também passa a desempenhar um grande papel nas funções cognitivas superiores, como a linguagem. A rede de linguagem dos cegos congênitos se estende por todas as áreas clássicas do hemisfério esquerdo, aliadas ao lobo occipital, formando uma rede mais extensa e menos lateralizada à esquerda do que a rede de linguagem de pessoas videntes – que enxergam. Os estudos mostram que há uma preferência ainda mais forte nessa área para processar estímulos mais complexos, como sentenças com movimento sintático em comparação com lista de palavras. Como pesquisas correlacionando linguística e neurociência da linguagem ainda são restritas, muitas questões ainda não foram respondidas, como por exemplo o papel dos outros módulos cognitivos no melhor processamento linguístico. Os passos seguintes também devem abordar questões intrínsecas à leitura em Braille, buscando entender como essa prática leitora particular pode diferir e impactar na organização cognitiva e na especialização cortical dos cegos.

**PALAVRAS-CHAVE:** cegueira congênita; neuroplasticidade; neurociência da linguagem.

**ABSTRACT:** Studies with congenital blind people have shown a superior performance of this population in linguistic tasks, as well as verbal memory and auditory tasks. This study aims to review the main findings about crossmodal plasticity and the linguistic experience of the congenitally blind. In the absence of visual experience during the critical period of development - in early childhood - the visual cortex is recruited not only for other sensory skills, such as touch, but also starts to play a relevant role in higher cognitive functions, such as language. The language network of the congenitally blind extends to all classical areas of the left hemisphere, and to the occipital lobe, forming a more

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Linguística; Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

<sup>2</sup> Doutora em Linguística; Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

extensive and less lateralized network to the left than the language network of sighted people. Studies show that there is an even stronger preference in this area to process more complex stimuli, such as sentences with syntactic movement compared to word lists. As research correlating linguistics and neuroscience of language is still restricted, many questions remain unanswered, such as the role of other cognitive modules in better linguistic processing. The further steps should also address issues intrinsic to reading in Braille, seeking to understand how this particular reading practice can differ and impact the cognitive organization and the cortical specialization of the blind.

**KEYWORDS:** blindness; neuroplasticity; neuroscience of language.

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser um conceito bastante novo, a neuroplasticidade cerebral já é reconhecida como uma das características mais relevantes do sistema nervoso. O fato é que as redes neurais não são fixas, mas se implementam e desaparecem dinamicamente ao longo de toda a nossa vida. A neuroplasticidade pode ser definida como a capacidade do cérebro de se remodelar e reorganizar, gerando mudanças estruturais, funcionais e conectivas em consequência da experiência (CRAMER *et al.*, 2011). Cada tarefa comportamental realizada pelo sistema nervoso maduro, começando pela percepção e controle sensório-motores, chegando à regulação de processos cognitivos sofisticados, depende da interconexão entre muitos milhões de neurônios.

Enquanto falamos e entendemos linguagem ou enquanto praticamos uma atividade, como uma sequência de movimentos, circuitos neuronais são formados, especializando o cérebro para realizar a tarefa com o menor desperdício de energia possível (FISCHER, 1987).

Note-se que a arquitetura da fiação neural é específica para a espécie e, portanto, é, em grande parte, pré-definida por programas moleculares geneticamente determinados (Cf. RAKIČ, 1982; GOLDMAN-RAKIČ, 1987). Contudo, a correspondência precisa de neurônios pré-sinápticos para alvos pós-sinápticos depende em grande medida da experiência, seja ela espontânea ou evocada pelos sentidos. A neuroplasticidade seria, então, um provimento de flexibilidade inerente aos sistemas geneticamente determinados (GOODMAN E SHATZ, 1993; KATZ E SHATZ, 1996).

A plasticidade neural é a base tanto para o aprendizado no cérebro intacto quanto para o reaprendizado no cérebro comprometido por meio da reabilitação física. Uma vez que paramos de praticar uma determinada atividade, o cérebro

redireciona a fiação e a circuitaria neuronal através do princípio conhecido como **use ou perca** (KLEIM, JONES, 2008).

A neuroplasticidade leva a muitos estados perceptuais diferentes, como habituação, sensibilização a uma determinada posição, tolerância a agentes externos como componentes químicos em uma medicação e até à recuperação sensório-motora após lesão cerebral. (HENSCH, 2004; BERARDI, 2000).

Não obstante haver neuroplasticidade durante toda a vida, ela é marcadamente mais forte nos **períodos críticos**, janelas de oportunidade cognitiva durante o desenvolvimento, em que os circuitos neurais exibem uma sensibilidade hiperelevada aos estímulos ambientais e são grandemente moldados pela experiência sensorial natural. Há diferentes períodos críticos para diferentes cognições. Em cada um deles a flexibilidade é tão exacerbada que os circuitos neurais mediante a experiência são adaptados de maneira única ao ambiente circundante, ou seja, as diferenças interpessoais que são encontradas até em gêmeos univitelinos derivam em grande parte da maleabilidade desses períodos que respondem de forma exclusiva à interação única de cada indivíduo com a experiência. Adequadamente escalonados, os períodos críticos propiciam a aquisição sem esforço de funções complexas de ordem superior, como a linguagem (WERKER, HENSCH, 2015).

Seguindo esse raciocínio, mais experiência leva à mais flexibilidade e mais sofisticação cognitiva. De fato, a experiência bilíngue, por exemplo, define o transbordo de oportunidades e ganhos linguísticos. Há achados que demonstram que o cérebro bilíngue pode ter mais capacidade de atenção e troca de tarefas do que o cérebro monolíngue, graças a sua capacidade desenvolvida de inibir uma língua enquanto usa outra (PRIOR, MACWHINNEY, 2010; ABUTALEBI, GREEN, 2008; GARBIN *et al.*, 2010; KRIZMAN *et al.*, 2012). Além disso, o bilinguismo tem efeitos positivos em ambos os extremos do espectro etário: crianças bilíngues de até sete meses podem se ajustar melhor às mudanças ambientais, enquanto idosos bilíngues experimentam estatisticamente menos declínio cognitivo (LUK *et al.*, 2011; KAUSHANSKAYA, MARIAN, 2009).

Mas o que será que acontece quando o inverso da ampliação de oportunidade experiencial acontece? Por exemplo, o que acontece com os cegos congênitos. Eles vivem a realidade de privação de uma experiência sensorial desde o nascimento.

Vantagens compensatórias de linguagem e memória em cegos congênitos já são relatadas em muitos estudos, especialmente nas últimas décadas (BEDNY *et al.*,

2015; LANE *et al.*, 2015, 2017; LOIOTILE *et al.*, 2020; AMEDI *et al.*, 2003; RAZ *et al.*, 2007). Isso é cabível devido ao fato de que através da neuroplasticidade, muito presente no período crítico na primeira infância, cegos congênitos experienciam um desenvolvimento neurológico diferente. O córtex visual, que se localiza no lobo occipital em videntes, se torna colonizado por outras modalidades sensoriais que se expandem para aquele local. O lobo occipital nos cegos é ativado durante uma variedade de tarefas de linguagem, relacionadas a tarefas de aquisição de língua mãe (AMEDI *et al.*, 2003; 2004; RAZ, AMEDI & ZOHARY, 2005; BÜCHEL *et al.*, 1998; SADATO *et al.*, 1996; 1998; RÖDER *et al.*, 2002; HAMILTON *et al.*, 2000), bem como durante processamento de linguagem (OFAN & ZOHARY, 2007). A maior eficiência do córtex auditivo também contribui para um melhor desempenho linguístico em indivíduos cegos (HÖTTING & RÖDER, 2009; ELBERT *et al.*, 2002; STEVENS & WEAVER, 2009).

A presente revisão almeja aprofundar esses e outros achados de ganhos linguísticos em cegos congênitos, encaminhar uma discussão e propor caminhos de pesquisa que ainda precisam ser melhor explorados para que se possa entender mais sobre a neuroplasticidade, através da observação cuidadosa do processamento linguístico de cegos e videntes.

## **2. A PLASTICIDADE TRANSMODAL**

O cérebro humano é flexível e plástico, se moldando conforme as experiências vividas. Essa plasticidade é ainda maior no início da vida, onde as exposições aos mais diferentes estímulos reforçam sinapses e dão origem a novas conexões que moldarão o conhecimento humano.

Contudo, algumas condições humanas podem interferir no recebimento de informações no cérebro, como no caso das perdas sensoriais, cegueira e surdez, e podem impactar até mesmo a construção de conceitos. A consequência da ausência de estímulo sensorial tem sido objeto de diversos estudos e as descobertas têm sido reveladoras. Achados apontam que na ausência do *input* visual, o córtex visual, localizado no lobo occipital de videntes, é recrutado para o processamento de outras informações sensoriais, assim como de outras cognições, tais como respostas a estímulos auditivos, tarefas linguísticas, matemáticas, e de funções executivas (SADATO *et al.*, 1996; COHEN *et al.*, 1997; COLLIGNON *et al.*, 2011, CROLLEN *et*

*al.*, 2019). Trata-se de um tipo de neuroplasticidade onde uma área cortical inicialmente programada para processar um estímulo de uma modalidade específica, passa a processar estímulos de outra modalidade.

Esse fenômeno, conhecido como **plasticidade transmodal**, tem se mostrado verdadeiro apenas para indivíduos que perderam a visão desde o nascimento ou precocemente – nos primeiros anos de vida – e está muito ligado às transformações que acontecem no cérebro durante os períodos críticos (SADATO *et al.*, 1996; BAVELIER & NEVILLE, 2000; KUPERS & PETITO, 2014; COHEN *et al.*, 1997).

O modelo mais célebre para a compreensão da plasticidade transmodal foi estabelecido nos anos 60 pelos cientistas David Hubel e Thorsten Wiesel, originalmente da Johns Hopkins University e mais tarde se transferiram para a Universidade de Harvard, onde vieram a ser ganhadores do Prêmio Nobel em fisiologia médica em 1981 (HUBEL & WIESEL, 1959, 1962, 1968, 1970).

Esse estudo célebre pode se dar porque Hubel desenvolveu um eletrodo de tungstênio que era capaz de captar a atividade de um só neurônio. A partir do eletrodo de tungstênio, experimentos sofisticados puderam ser feitos no sistema nervoso central de animais, gatos preferivelmente, em particular nos casos em que pipetas de vidro que antes eram empregadas poderiam se quebrar (GOODMAN, 1993). Eles então registraram a atividade elétrica de neurônios individuais no cérebro de gatos, enquanto esses animais observavam padrões de luz específicos que estimulavam atividades em partes específicas do cérebro.

Paulatinamente, Hubel e Wiesel conseguiram mapear todo o córtex estriado dos gatos nesses experimentos, medindo como neurônios distintos respondem a características visuais distintas, como a orientação de uma linha projetada em uma tela ou padrões específicos de linhas. Esse mapeamento ficou conhecido como **retinotopia**. Além disso, Hubel e Wiesel demonstraram que alguns neurônios respondiam apenas às informações que vinham de um único olho, e que, curiosamente, esses neurônios se agrupavam em colunas anatômicas no córtex occipital. Eles chamaram essas **colunas de dominância ocular** (HENSCH, 2005).

Em suma, em uma série de artigos, Hubel e Wiesel demonstraram que bloquear a entrada visual de um olho do gatinho durante os seus primeiros meses de vida alterava drasticamente a organização das colunas. Porém, quando o bloqueio era feito em um gato adulto, mesmo que por um tempo estendido de 3 meses, aquela

privação de informações visuais não mudava a organização das colunas de dominância ocular. Hubel e Wiesel concluíram que a plasticidade é fortemente limitada ao início da vida durante o período crítico do desenvolvimento do córtex visual (HUBEL & WIESEL, 1959, 1962, 1968, 1970; GOODMAN & SHATZ, 1993)

A descoberta de períodos críticos demonstrou como a experiência molda os circuitos do cérebro em desenvolvimento, portanto, como molda a percepção às informações do mundo externo. Essa descoberta se aplica a todos os sistemas sensoriais e até mesmo tem se mostrado presente no desenvolvimento do comportamento social e na aquisição da linguagem (HENSCH, 2004).

Durante o período crítico a plasticidade visual pode ser transmodal para recuperar sistemas que não recebem *input* e devem se moldar para uma realidade cognitiva alternativa.

Os efeitos da plasticidade transmodal ultrapassam o recrutamento de áreas para processamento de informações, atingindo mudanças na estrutura da conectividade funcional. Estudos de imagem em indivíduos cegos têm mostrado consistentemente que tarefas sensoriais e cognitivas evocam atividade no córtex occipital, que normalmente é usado para processar *input* visual. Em um estudo feito com cinco indivíduos adultos que nunca tinham recebido *input* visual, ao ouvir definições auditivas que remetiam a ativação das palavras definidas, esses participantes ativaram o córtex occipital bilateralmente em proporção maior do que os videntes (participantes controle) ativaram as áreas de linguagem. Esta atividade nos cegos foi significativamente maior do que quando eles ouviam definições com fala invertida, que eram as condições controle. Mas apenas cegos congênitos, e não os cegos tardios, apresentam evidências de mudanças nas bases neurais (WATKINS *et al.*, 2012).

Por acontecer apenas com pessoas que tiveram perda visual em uma específica faixa etária, a plasticidade transmodal está associada com o desenvolvimento durante o período crítico (BEDNY *et al.*, 2012; PANT *et al.*, 2020). Fora do período crítico estamos menos suscetíveis a um determinado aprendizado, não fazemos plasticidade transmodal e não demonstramos os mesmos resultados ótimos de recuperação de uma perda sensorial (WIESEL & HUBEL, 1963, 1970; WERKER & HESCH, 2015; HENSCH, 2018).

Além das provas robustas baseadas nos sistemas sensoriais, a hipótese do período crítico tem sido apresentada também com base nas funções cognitivas

superiores como a linguagem. As conclusões de que a linguagem acompanha um período ótimo na janela temporal do desenvolvimento inicialmente foram feitas a partir dos casos dramáticos das crianças selvagens, ou crianças surdas com aquisição tardia de linguagem, porém as evidências já alcançaram o mapeamento dos sons da fala por bebês, sem qualquer comprometimento, no primeiro ano de vida, aquisição e discriminação de fonemas, aquisição de léxico e desenvolvimento sintático (CURTISS *et al.*, 1974; KUHL *et al.*, 2008; LENNEBERG, 1967; SAFFRAN *et al.*, 1996; SAFFRAN, 2003; NEWPORT & ASLIN, 2004; FRIEDRICH & FRIEDERICI, 2017; HAVRON *et al.*, 2019).

### **3. VANTAGENS COGNITIVAS E PLASTICIDADE TRANSMODAL**

Embora os relatos de vantagem cognitiva em cegos congênitos tenham chegado na literatura há poucas décadas, hoje podemos sugerir que, frente à privação sensorial visual precoce, com o recrutamento do lobo occipital para processamento de informações sensoriais de outra natureza modal, bem como informações cognitivas superiores, as pessoas cegas têm apresentado uma riqueza de alternativas e até mesmo vantagens no uso do córtex visual para computar informações linguísticas.

A destreza nas habilidades linguísticas pode ser notada desde a execução de tarefas menos complexas como o acesso lexical até a habilidades mais complexas como processamento de sentenças com complexidade sintática (BURTON *et al.*, 2020; LANE *et al.*, 2015).

Pessoas cegas demonstram ativação do córtex visual durante a geração de verbos ao ouvir ou ler um nome em Braille (e.g. água – beber). Essa habilidade é afetada durante a estimulação magnética transcraniana de repetição (*rTMS*) tanto no córtex pré-frontal esquerdo, como no córtex occipital lateral esquerdo. Esse tipo de habilidade só afeta pessoas videntes quando a estimulação é feita no córtex pré-frontal (BURTON *et al.*, 2002; AMEDI *et al.*, 2004).

Efeitos na interface sintaxe-semântica também foram relatados como associados à plasticidade transmodal. Em um estudo de eletrofisiologia da linguagem, os pesquisadores compararam os registros bioelétricos de 11 indivíduos com cegueira congênita, com aqueles de 11 videntes, pareados em idade, sexo, dominância lateral e educação com os cegos. Usaram estímulos auditivos que

tipicamente eliciam o conhecido N400, uma onda de resposta a um **susto semântico**, quando o participante era estimulado com uma sentença em que o complemento verbal não era bem selecionado pelo verbo. Por exemplo: **João comprou uma coceira**. Uma sentença incongruente como essa elicia um potencial relacionado a evento (*ERP* do inglês *event-related brain potential*) com alta amplitude, que se eleva aos 400ms depois que o complemento verbal é mostrado aos participantes. Na transição do processamento do verbo para o complemento, o N400 pode ser coletado do cérebro do participante, ou seja, uma onda com um pico (amplitude) bem mais alto do que as ondas que se relacionam com frases-controle como: **João comprou uma coleira**. Enquanto **coleira** satisfaz os requisitos eventivos do verbo **comprar** e demanda baixo esforço cognitivo, demonstrado pela onda elétrica de baixa amplitude, **coceira** no contexto de **comprar** demanda esforço cognitivo demonstrado pela onda de alta amplitude. As palavras incongruentes produziram um efeito N400 em ambos os grupos, porém nos videntes o efeito N400 tinha uma distribuição fronto-central lateralizada à esquerda, enquanto que em cegos a distribuição foi bilateral e mais anterior.

Além disso, o efeito N400 foi precoce nos cegos e também mais forte, indicando que os cegos reagiram mais rapidamente à incongruência e também com mais vigor, que costuma ser índice de atenção. Esses resultados sugerem que pessoas cegas processam estímulos auditivos de linguagem mais rapidamente do que videntes (RÖDER *et al.*, 2000).

Em um outro experimento de imagem com *fMRI* - ressonância magnética funcional - em adultos com cegueira congênita, o córtex occipital esquerdo se manteve ativo<sup>3</sup> durante a compreensão de frase, mesmo quando as tarefas de controle eram mais difíceis e exigiam muita memória. Semelhante às regiões clássicas da linguagem, o córtex occipital nos cegos é sensível à estrutura combinatória (sintaxe no nível da frase / semântica composicional), informação semântica lexical e, em algumas regiões, à informação fonológica. Mudanças no perfil de resposta do córtex occipital foram acompanhadas por correlações aumentadas de estado de repouso com as regiões pré-frontais e talâmicas que estão envolvidas no processamento da linguagem. Juntos, esses dados sugerem que o córtex occipital

---

<sup>3</sup> A técnica de *fMRI* – ressonância magnética funcional – faz o mapeamento cortical através do uso de oxigênio, durante a atividade neural, requerido para executar tarefas cognitivas, físicas ou sensoriais. O consumo desse oxigênio em uma determinada região pode ser registrado pelo equipamento, indicando as áreas envolvidas, ativas, durante a execução da tarefa.



esquerdo de indivíduos com cegueira congênita participa ativamente do processamento da linguagem (BEDNY *et al.*, 2011; BEDNY *et al.*, 2015).

Lane *et al* (2015) em outro estudo com *fMRI* mostraram que participantes cegos foram mais acurados ao responder perguntas interpretativas sobre sentenças com movimento sintático do que participantes videntes. O estudo também mostrou que os participantes cegos apresentam ativação do córtex visual durante o processamento de sentenças, e que quanto maior a complexidade sintática, maior a ativação. Além disso, essa área cerebral se mostrou mais sensível à tarefas linguísticas do que listas de pseudopalavras, ou equações matemáticas. O engajamento das áreas visuais corticais engloba, inclusive, o córtex visual primário, região altamente especializada para receber o *input* visual. Além disso, essa ativação vinculada ao aumento da complexidade sintática provoca menos lateralização à esquerda das redes corticais de linguagem nas pessoas cegas (LANE *et al.*, 2017).

Estudos com indivíduos cegos também têm mostrado que suas respostas comportamentais e neuronais, em tarefas de memória, são superiores quando comparados a indivíduos videntes. As evidências têm sido encontradas em tarefas auditivas, táteis e de leitura em Braille (AMEDI *et al.*, 2003; GOLDREICH & KANICS, 2003).

E por que falarmos de memória em uma discussão sobre linguagem? As teorias de processamento de sentença postulam que efeitos de memória podem impactar a acurácia (FRAZIER & FODOR, 1978; MACDONALD *et al.*, 1992). A vantagem, em termos de memória, que os cegos possuem poderia, então, interferir em aspectos sintáticos da linguagem? Quais são as especializações realizadas pelas pessoas cegas durante a aquisição e desenvolvimento de linguagem?

Alguns estudos já têm demonstrado que, assim como aspectos de memória, certas habilidades sintáticas são mais acuradas em participantes cegos do que participantes videntes. Entretanto, as razões dessa, aparente, vantagem cognitiva ainda são desconhecidas.

A fim de tentar correlacionar as boas respostas em tarefas de memória e as boas respostas em tarefas de processamento de sentenças, Loiotile *et al* (2020) propuseram um estudo psicolinguístico. Os resultados mostraram que indivíduos cegos, mais do que indivíduos videntes, são mais acurados em tarefas de interpretação de sentenças com ambiguidade estrutural, mais conhecidas como

sentenças *garden-path*<sup>4</sup> (CHRISTIANSON *et al.*, 2001. Por exemplo: **Enquanto Joana costurava as meias caíram no chão**. Esse é um tipo de sentença que faz com que o participante desista de uma aceção com a qual ele tinha se comprometido anteriormente. Ele inicia seguindo critérios de menor custo de processamento, até que ele se depara com uma palavra que não é mais compatível com a aposta semântica que ele havia feito. Na sentença-exemplo, se o participante se compromete com a leitura transitiva do verbo *costurar*, ao se deparar com **caíram**, ele é obrigado a voltar e repostular a leitura intransitiva para **costurar**. Os resultados desse teste são surpreendentes. Os participantes cegos não apresentaram diferença entre o tempo de resposta entre uma sentença *garden-path* e uma sentença não-*garden-path*. Porém como o estudo não coletou medidas intermediárias de tempo de processamento do estímulo auditivo, não temos informação se os participantes cegos tiveram alguma dificuldade em algum segmento da sentença. Esse tipo de informação poderia ser esclarecedor do ponto de vista sintático, uma vez que pode sugerir que pessoas cegas congênitas mantêm duas possibilidades de interpretação em aberto, ou são extremamente rápidas na reanálise.

Sobre a correlação entre desempenho sintático com memória, os achados não apontaram para uma relação direta entre a capacidade de armazenamento de informações e o desempenho linguístico. Permanecendo, então, a questão sobre as origens da vantagem linguística das pessoas cegas, em aberto. Os pesquisadores, contudo, fizeram uso da tarefa *span* de letras, uma tarefa que pode ser classificada como mais passiva de puro armazenamento.

No campo dos estudos de memória existe pouco consenso sobre a diferença de memória de trabalho e memória de curto prazo. Hoje, muitos teóricos usam o conceito de memória de trabalho para substituir o conceito de memória de curto prazo. Para Baddeley e Hitch (1974), o conceito de a memória de trabalho veio para mudar “o foco da estrutura da memória para a memória processos e funções (p. 65)”. De forma semelhante, Cowan (1988, 1995) argumenta que a Memória de Trabalho é mais abrangente inclui a memória de curto prazo, bem como os processos atencionais

---

<sup>4</sup> O efeito *garden-path* foi inicialmente proposto por Frazier & Fodor (1978) para sentenças com ambiguidade temporária. As autoras utilizam esse nome em analogia ao labirinto de jardim, pois, segundo elas, o leitor ou ouvinte, durante o processamento de uma frase ambígua temporária, opta por percorrer um caminho, levando em considerações medidas de economia de análise. Entretanto, por vezes, essa escolha se mostra indevida, fazendo com que o leitor refaça o percurso de análise sintática para atingir a compreensão correta da sentença.

usados para manter algum contexto da memória de curto prazo em um estado ativado.

No modelo clássico de Baddeley e Hitch (2000), são quatro os componentes da Memória de Trabalho: (i) o *loop* fonológico, que processa sons e é responsável pela informação baseada na fala. Isso inclui sons que são processados na mente. Por exemplo, o *loop* fonológico é usado quando aprendemos novo vocabulário, quando resolvemos problemas, e quando seguimos instruções de memorização. Os dois componentes do *loop* fonológico são o armazenamento fonológico e o processo de controle articulatorio. O armazenamento fonológico mantém a informação por 1,5-2 segundos. O processo de controle articulatorio atualiza as informações armazenadas e também converte o material escrito em código fonológico para que possa ser registrado no armazenamento fonológico.; (ii) o esboço visuoespacial: este é responsável pelo processamento de informações visuais e espaciais, que permite que as pessoas armazenem imagens de objetos e suas localizações; (iii) o *buffer* episódico que não fazia parte do modelo original de Baddeley e que foi adicionado ao modelo 25 anos depois. Hoje é visto como um lugar para integrar temporariamente as informações coletadas do *loop* fonológico, do esboço visuoespacial e da memória de longo prazo. O *buffer* episódico é controlado pelo executivo central, mas transfere informações para dentro e para fora do armazenamento de longo prazo; finalmente (iv) o executivo central: apesar de ainda não ser completamente claro, o executivo central incorpora informações do *loop* fonológico, do esboço visuoespacial, do *buffer* episódico e da memória de longo prazo.

Alguns autores, como Engle *et al.*, (2001) e Withagen *et al.*, (2013), acreditam que a memória de trabalho seja um processo mais ativo, onde ocorre não apenas o armazenamento, mas também a manipulação da informação, enquanto a memória de curto prazo seria mais passiva, como na tarefa recrutada em Loiotile *et al* (2020).

A memória de trabalho verbal de pessoas cegas tem sido relatada como superior a de videntes, tanto para lembrar o item memorizado em si, como também para estabelecer a ordem em que ele aparece. Isso se estende para a capacidade de memorizar aspectos semânticos que permitem um julgamento final se a sequência de uma sentença é verdadeira ou falsa. Essas habilidades são verificadas desde os 4 anos de idade e se estendem ao longo da vida com superioridade (RAZ *et al.*, 2007; BEDNY *et al.*, 2015; LANE *et al.*, 2017).

Acompanhando esses achados, pode-se pressupor que não há qualquer comprometimento linguístico nas pessoas cegas, pelo contrário, parecemos estar na presença de um quadro de vantagem cognitiva. Contudo, a literatura mostra que alguns efeitos negativos podem ser encontrados em alguns poucos casos, e que eles podem ser decorrentes da experiência particular de vida que a pessoa cega possui, por exemplo uma experiência empobrecida de contato e exposição com o mundo por uma decisão familiar (PÉREZ-PEREIRA, 2006; DUNLEA, 1989; DUNLEA & ANDERSEN, 1992).

Um achado comum em crianças videntes é a capacidade de generalização de palavras, de usar uma única palavra para uma variedade de itens. As crianças cegas podem apresentar diminuição dessa capacidade, uma vez que o léxico chega diretamente pela linguagem, sem o viés visual. Em outras palavras, já sabendo que um cachorro é quadrúpede, as crianças podem generalizar o nome cachorro para todos os animais quadrúpedes que virem. A criança cega, contudo, será apresentada ao cavalo pela linguagem, e devido a isso é possível que ela não generalize chamando o cavalo de cachorro (DUNLEA, 1989; DUNLEA & ANDERSEN, 1992).

Dunlea e Andersen (1992), pesquisando a aquisição da língua inglesa por crianças cegas, encontraram que crianças cegas expressam menos informações sobre os outros, apresentando um discurso mais auto-centrado no início da aquisição. As autoras também relatam que problemas com reversibilidade no uso de este (*this*) ou aquele (*that*) podem ser encontrados. Os achados também concluíram que alguns morfemas possuem informação contextuais que podem ser acessadas através da visão, como pluralidade, preposições locativas, são menos frequentes nos cegos. Para as autoras, o início da aquisição é fortemente dependente do contexto, e por isso, algumas informações podem vir a ser adquiridas mais tardiamente pelas crianças cegas.

Nem todos os achados de aquisição de linguagem são relacionados a lacunas ou atrasos, mas achados precoces também foram encontrados, como uso de tempo passado a partir de 1 ano e 11 meses. Esse é um achado interessante, porque as crianças videntes usam mais os tempos do presente, ou seja, privilegiam a descrição do que estão vendo, enquanto as cegas privilegiam falar do que está retido na memória como conteúdo psíquico. As crianças cegas também tendem a regularizar verbos irregulares, ou seja, fazem uma generalização morfossintática do tipo “*I goed mommy*” (DUNLEA, ANDERSEN, 1992).

Ainda que alguns atrasos possam ocorrer em pessoas cegas, o amplo desenvolvimento linguístico e o potencial de respostas vem sendo mostrado através das evidências. Essa aptidão para a linguagem enfrenta e ultrapassa até mesmo a barreira sensorial, permitindo que o léxico visual seja adquirido mesmo sem a experiência sensorial.

Apesar de nunca terem enxergado, cegos congênitos compreendem as cores de uma forma consistente. O aprendizado a respeito das cores normalmente ocorre através da comunicação linguística, principalmente no ambiente educacional, e é independente da idade na qual a perda da visão ocorreu (MARMOR, 1978). Crianças cegas já demonstram entender que cores são propriedades visuais e que, por não enxergar, elas não percebem, mas pessoas que enxergam percebem (LANDAU & GLEITMAN, 1985). O entendimento sobre as cores e suas similaridades é mais acurado em cegos do que em pessoas daltônicas, isso porque, essas últimas, devido o transtorno, acabam se confundindo entre as nuances (SHEPARD & COOPER, 1992).

Saber as cores é importante para decodificar o que as mensagens visuais transmitem, como sinais de trânsito, e sinais da natureza, como por exemplo a cor de uma fruta está madura, o tom do céu antes de uma tempestade etc. Apesar das pessoas cegas terem um bom conhecimento sobre as cores de frutas e vegetais contrastados com as cores de itens domésticos, obviamente, devida a falta de experiência visual, esse conhecimento é menor do que o de pessoas videntes. A aquisição desse léxico é veiculada pela comunicação, mas outras pessoas cegas também transmitem conceitos umas às outras, e isso pode ser um fator de interferência nas respostas menos acuradas (CONNOLLY *et al.*, 2007).

Em detrimento da falta de experiência, a compreensão de cores, ainda que não seja exatamente como a das pessoas que enxergam, é uma bem fundamentada e inferencialmente relacionada. A pessoa cega poderia responder, acertadamente, que um tubarão tem escamas, uma vez que é um peixe, enquanto uma pessoa vidente poderia responder que ele possui uma pele, já que a olho nu, e sem proximidade, o tubarão parece de fato ter uma couraça (KIM *et al.*, 2019a, 2019b).

Esse entendimento sobre eventos visuais alcança também a classe dos verbos visuais (e.g. brilhar, resplandecer, etc). Nesse caso, o conhecimento adquirido pelas pessoas cegas se mostra ainda mais similar ao de videntes. É provável que o uso linguístico dos verbos, a estrutura sintática, deem pistas sobre seus conceitos e especificidades. O fato é que até mesmo com pouca experiência de vida, ou seja, bem

cedo ainda na vida, a pessoa cega consegue entender que o verbo **esconder** significa **tirar do alcance dos olhos de quem enxerga**, ainda que ele mesmo não possa ser capaz de processar sensorialmente essa informação (BEDNY *et al.*, 2019; LANDAU & GLEITMAN, 1985).

As experiências visuais, obviamente, garantem o total acesso ao significado do evento visual, contudo, a falta da experiência não limita categoricamente que se adquira aquele conceito. A pessoa cega lança mão da linguagem e de outras estratégias cognitivas, como a inferência para aprender informações que seriam cedidas pela visão (BEDNY *et al.*, 2019; LANDAU & GLEITMAN, 1985; KIM *et al.*, 2019a, 2019b).

Pesquisas com pessoas com privação sensorial fornecem a oportunidade de compreensão do papel da experiência na construção do conhecimento humano e dos efeitos dessa experiência na neuroplasticidade. As descobertas com cegos congênitos têm revelado a incrível capacidade dessa população em lidar com a linguagem, atingindo uma destreza particular.

#### 4. DISCUSSÃO

Vivemos em uma sociedade baseada na visão. A informação visual é usada a todo momento pelo celular ou diretamente para nos orientar em nosso ambiente, identificar objetos em nosso entorno, nos alertar sobre eventos importantes que requerem nossa atenção, engajar-se em interações sociais e muitas outras funções que são necessárias para funcionar com eficiência na vida cotidiana. Assim, a cegueira representa um grande desafio para o funcionamento eficiente de milhões de pessoas em todo o mundo. Contudo, ao que tudo indica, estudos com cegos congênitos mostram que o córtex visual pode ter se reorganizado plasticamente para processar informações de outras modalidades sensoriais.

Como vimos, seja pela disponibilidade cortical aumentada, seja pela minimização da ausência da experiência para construção de conhecimentos, as habilidades linguísticas dos cegos congênitos atraem a curiosidade científica. O fato de responderem melhor em tarefas que mobilizam recursos cognitivos superiores indica a possibilidade da existência de vantagem cognitiva nas pessoas que não enxergam. As vantagens cognitivas têm sido estudadas em várias populações que possuem experiências de vida diferentes. Por exemplo, alguns autores postulam que

crescer em um ambiente bilíngue pode, não apenas, melhorar as habilidades linguísticas, como também pode gerar benefícios em outras cognições, como as funções executivas (BIALYSTOK *et al.*, 2012; KROLL *et al.*, 2014; MIYAKE & FRIEDMAN, 2012).

As pesquisas têm mostrado que pessoas surdas sinalizantes apresentam vantagens ligadas a sua experiência particular. Pela necessidade de apoio visual na comunicação e na vida, pessoas surdas demonstram uma maior sensibilidade a estímulos visuais periféricos (DYE *et al.*, 2008). Os estudos citam também uma superioridade nas habilidades visuoespaciais, no reconhecimento de faces, na habilidade de manipulação mental, tarefas de memória visual dos surdos (BELLUGI *et al.*, 1990; TALBOT & HAUDE, 1993; EMMOREY, 2001; TODMAN & COWDY, 1993; TODMAN & SEEDHOUSE, 1994).

A vantagem cognitiva das pessoas cegas parece estar centrada nos aspectos de memória e de linguagem. A disponibilidade do lobo occipital no início da vida permite que as sinapses no cérebro de bebês cegos congênitos, se expandam e criem uma rede de linguagem ainda maior nessa população do que em pessoas videntes.

Embora as pesquisas, até o momento, forneçam evidências a respeito de uma vantagem cognitiva em cegos congênitos, ainda resta uma pluralidade de computações linguísticas, que já foi avaliada em relação à população vidente, que ainda não foi estudada em relação à população sem visão. Nos próximos anos certamente novas evidências neurofisiológicas vão contribuir ainda mais para o entendimento dos limites da plasticidade cortical para processar o *input* linguístico e da dinâmica que pode se estabelecer precocemente no cérebro dos bebês sem visão. Campos promissores envolvem, por exemplo, o mapeamento da ativação cortical, especialmente com alta resolução temporal, típico de estudos com potenciais relacionados a eventos, para monitorar o processamento de estruturas com ambiguidade sintática, lexical, ilhas sintáticas, correferência e efeito da lacuna preenchida.

A detecção de efeito de incongruência sintática, ou até mesmo, de um efeito *garden-path*, podem revelar capacidade de predição precoce dos cegos congênitos em comparação ao grupo controle. Nesse caso, isso levanta hipóteses de que haja informações subjacentes que são mais salientadas ou mais preservadas na memória de trabalho durante o processamento linguístico efetuado por essas pessoas.

Outro campo de pesquisa aparentemente frutífero é o processamento de leitura em Braille. Até onde se sabe, a leitura em Braille parece ativar áreas similares

da leitura em tinta, feita pelos videntes. Lesões neurológicas na região occipital lateral esquerda geram alexia, ainda que o estímulo de leitura seja tátil e não visual (HAMILTON *et al.*, 2000; MAEDA *et al.*, 2003). Essa especificidade de domínio ainda não se mostra clara nos cegos congênitos alfabetizados em Braille. O que parece ocorrer é que a ativação da área visual da forma da palavra durante a leitura em Braille é de domínio linguístico mais geral, e não como resultado da reciclagem neuronal proposta para pessoas videntes (KIM *et al.*, 2017; DEHAENE, 2005).

Além disso, questões comportamentais ligadas a leitura em Braille também causam interesse. Leitores cegos proficientes usam as duas mãos durante a leitura e, ao mesmo tempo, podem ter o recebimento de duas informações distintas. Uma pela mão principal, a mão direita, e a mão de apoio, a mão esquerda. Tal comportamento é impossível de ser encontrado em pessoas videntes, uma vez que os olhos escaneiam um único local simultaneamente. Existe a probabilidade desse comportamento evidenciar um processamento em paralelo de informações (BERTELSON *et al.*, 1985). Se associarmos esse achado à investigação do processamento de ambiguidades, poderemos encontrar respostas interessantes nessa população que não podem ser encontradas em pessoas videntes durante a leitura, principalmente no que compete às hipóteses de reanálise predizendo acurácia, um campo aberto para pesquisas futuras.

## REFERÊNCIAS

ABUTALEBI, Jubin; GREEN, David W. Control mechanisms in bilingual language production: Neural evidence from language switching studies. *Language and cognitive processes*, v. 23, n. 4, p. 557-582, 2008.

AMEDI, Amir; RAZ, Noa; PIANKA, Pazit; MALACH, Rafael; ZOHARY, Ehud. Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind. *Nature neuroscience*, 6(7), 758-766. 2003.

AMEDI, Amir; FLOEL, Agnes. KNECHT, Stefan; ZOHARY, Ehud; COHEN, Leonard G. Transcranial magnetic stimulation of the occipital pole interferes with verbal processing in blind subjects. *Nature neuroscience*, 7(11), 1266-1270. 2004.

BADDELEY, A.D., HITCH, G.J. (1974). Working Memory. Em: Bower, G.A. (Ed). Recent advances in learning and motivation. New York: Academic Press, 1974.

BADDELEY, A.D., HITCH, G.J. Development of working memory: Should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch models be emerged? *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 128-137, 2000.

BAVELIER, Daphne; NEVILLE, Helen J. Cross-modal plasticity: where and how?. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 3, n. 6, p. 443-452, 2002.



BEDNY, Marina; PASCUAL-LEONE, Alvaro; DODELL-FEDER, David; FEDORENKO, Evelina; SAXE, Rebecca. Language processing in the occipital cortex of congenitally blind adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(11), 4429-4434. 2011.

BEDNY, Marina; CARAMAZZA, Alfonso; PASCUAL-LEONE, Alvaro; SAXE, Rebecca. Typical neural representations of action verbs develop without vision. *Cerebral cortex*, 22(2), 286-293. 2012.

BEDNY, Marina; RICHARDSON, Hilary; SAXE, Rebecca. “Visual” cortex responds to spoken language in blind children. *Journal of Neuroscience*, 35(33), 11674-11681. 2015.

BEDNY, Marina. Evidence from blindness for a cognitively pluripotent cortex. *Trends in cognitive sciences*, v. 21, n. 9, p. 637-648, 2017.

BEDNY, Marina; KOSTER-HALE, Jorie; ELLI, Giulia; YAZZOLINO, Lindsay; SAXE, Rebecca. There’s more to “sparkle” than meets the eye: Knowledge of vision and light verbs among congenitally blind and sighted individuals. *Cognition*, v. 189, p. 105-115, 2019.

BELLUGI, Ursula; O’GRADY, Lucinda; LILLO-MARTIN, Diane; HYNES, M. O’GRADY; VAN HOEK, Karen; CORINA, D. Enhancement of Spatial Cognition in Deaf Children. In: V. Volterra & C.J. Erting, eds. *From Gesture to Language in Hearing and Deaf Children*. New York: Springer-Verlag, pp. 278–98. 1990.

BERARDI, Nicoletta; PIZZORUSSO, Tommaso; MAVEI, Lamberto. Critical periods during sensory development. *Current Opinion in Neurobiology* 10:138–145. 2000;

BERTELSON, Paul; MOUSTY, Philippe; D’ALIMONTE, Graziella. A study of braille reading: 2. Patterns of hand activity in one-handed and two-handed reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*. May;37(2):235-56. 1985.

BIALYSTOK, Ellen; CRAIK, Fergus. I. M.; LUK, Gigi. Bilingualism: Consequences for mind and brain. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 16(4), 240-250. 2012. doi: 10.1016/j.tics.2012.03.001

BÜCHEL, Christian; PRICE, Cathy; FRACKOWIAK, R. S.; FRISTON, Karl. Different activation patterns in the visual cortex of late and congenitally blind subjects. *Brain*, 121(3), 409–419. 1998.

BURTON, Harold; SNYDER, Abraham. Z.; CONTURO, Thomas E.; AKBUDAK, Erbil; OLLINGER, John M.; RAICHLE, Marcus E. Adaptive changes in early and late blind: a fMRI study of Braille reading. *Journal of neurophysiology*, 87(1), 589-607. (2002).

CHRISTIANSON, Kiel; HOLLINGWORTH, Andrew; HALLIWELL, John F.; FERREIRA, Fernanda. Thematic roles assigned along the garden path linger. *Cognitive psychology*, 42(4), 368-407. 2001.

COHEN, Leonardo G.; CELNIK, Pablo; PASCUAL-LEONE, Alvaro; CORWELL, Brian; FAIZ, Lala; DAMBROSIA, James; HALLETT, Manabu. Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*, 389(6647), 180-183. 1997.

COWAN, N. (1999). An embedded-process model of working memory. Em: Miyake, A. e Shah, P. (Orgs). *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.

COLLIGNON, Olivier; VANDEWALLE, Gilles; VOSS, Patrice; ALBOUY, Geneviève; CHARBONNEAU, Geneviève; LASSONDE, Maryse; LÉPORE, Franco. Functional specialization for auditory–spatial processing in the occipital cortex of congenitally blind humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(11), 4435-4440. 2011.

CONNOLLY, Andrew C.; GLEITMAN, Lila R.; THOMPSON-SCHILL, Sharon L. Effect of congenital blindness on the semantic representation of some everyday concepts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 20, p. 8241-8246, 2007.

- CRAMER, Steven C.; SUR, Mriganka; DOBKIN, Bruce H.; O'BRIEN, Charles; SANGER, Terence D.; TROJANOWSKI, John Q.; RUMSEY, Judith M.; HICKS, Ramona; CAMERON, Judy; CHEN, Daofen; CHEN, Wen G. Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*. Jun 1;134(6):1591-609. 2011.
- CROLLEN, Virginie; LAZZOUNI, Latifa; REZK, Mohamed; BELLEMARE, Antoine; LEPORE, Franco; NOËL, Marie-Pascale; SERON, Xavier; COLLIGNON, Olivier. Recruitment of the occipital cortex by arithmetic processing follows computational bias in the congenitally blind. *NeuroImage*. 1;186:549-56. 2019.
- CURTISS, Susan; FROMKIN, Vistoria; KRASHEN, Stephen; RIGLER, David; RIGLER, Marilyn. The linguistic development of Genie. *Language*, 528-554. 1974.
- DEHAENE, Stanislas. Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The "neuronal recycling" hypothesis. *From monkey brain to human brain*, 133-157. 2005.
- DUNLEA, Anne. *Vision and the emergence of meaning: Blind and sighted children's early language*. Cambridge: Cambridge University Press. 1989.
- DUNLEA, Anne; ANDERSEN, Elaine S. The emergence process: Conceptual and linguistic influences on morphological development. *First Language*, 12(34), 95-115. 1992.
- DYE, Matthew W.; HAUSER, Peter C.; BAVELIER, Daphne. Visual attention in deaf children and adults. *Deaf cognition: Foundations and outcomes*, 250-263. 2008.
- ELBERT, Thomas; STERR, Annette; ROCKSTROH, Brigitte; PANTEV, Christo; MÜLLER, Matthias M.; TAUB, Edward. Expansion of the tonotopic area in the auditory cortex of the blind. *Journal of Neuroscience*, 22(22), 9941-9944. 2002.
- EMMOREY, Karen. *Language, Cognition, and the Brain*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2001.
- ENGLE, Randall W.; TUHOLSKI, Stephen W.; LAUGHLIN, James E.; CONWAY, Andrew R. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of experimental psychology: General*, 128(3), 309. 1999.
- ENGLE, R. W. What is working memory capacity? In H. L. Roediger, III, J. S. Nairne, I. Neath, & A. M. Surprenant (Eds.), *The nature of remembering: Essays in honor of Robert G. Crowder* (pp. 297- 314). Washington, DC: American Psychological Association Press, 2001.
- FISCHER, Kurt W. Relations between brain and cognitive development. *Child Development*. Jun;58(3):623-32. PMID: 3608642. 1987.
- FRAZIER, Lyn; FODOR, Janet D. The sausage machine: A new two-stage parsing model. *Cognition*, v. 6, n. 4, p. 291-325, 1978.
- FRIEDRICH, Manuela; FRIEDERICI, Angela. D. The origins of word learning: Brain responses of 3-month-olds indicate their rapid association of objects and words. *Developmental Science*, v. 20, n. 2, p. e12357, 2017.
- GARBIN, Gabriella; SANJUAN, Ana; FORN, Cristina; BUSTAMANTE, Juan C.; RODRIGUEZ PUJADAS, Aina; BELLOCH, Vicente; HERNÁNDEZ, Míeia; COSTA, Albert; AVILA, César. Bridging language and attention: Brain basis of the impact of bilingualism on cognitive control. *NeuroImage*, 53(4), 1272-1278. 2010.
- GOODMAN, Corey S.; SHATZ, Carla J. Developmental mechanisms that generate precise patterns of neuronal connectivity. *Cell* 72(Suppl): 77-98. 1993.
- GOLDREICH, Daniel; KANICS, Ingrid M. Tactile acuity is enhanced in blindness. *Journal of Neuroscience*, v. 23, n. 8, p. 3439-3445, 2003.
- HAMILTON, Roy; KEENAN, Julian P.; CATALA, Maria; PASCUAL-LEONE, Alvaro. Alexia for Braille following bilateral occipital stroke in an early blind woman. *Neuroreport*, 11(2), 237-240. 2000.

- HAVRON, Naomi; RAMUS, Franck; HEUDE, Barbara; FORHAN, Anne; CRISTIA, Alejandrina; PEYRE, Hugo; EDEN Mother-Child Cohort Study Group. The effect of older siblings on language development as a function of age difference and sex. *Psychological Science*, 30(9), 1333-1343. 2019.
- HENSCH, Takao K. Critical period regulation. *Annu Rev Neurosci* 27:549–57. 2004.
- HENSCH, Takao K. Critical period plasticity in local cortical circuits. *Nat Rev Neurosci* 6:877–888. 2005.
- HENSCH, Takao K. Critical periods in cortical development. In *The Neurobiology of Brain and Behavioral Development* (pp. 133-151). Academic Press. 2018.
- HÖTTING, Kirsten; RÖDER, Brigitte. Auditory and auditory-tactile processing in congenitally blind humans. *Hearing research*, 258(1-2), 165-174. 2009.
- HUBEL, David H.; WIESEL, Torsten N. Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *The Journal of physiology*. Oct 1;148(3):574-91. 1959.
- HUBEL, David H.; WIESEL, Torsten N. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *The Journal of physiology*. Jan 1;160(1):106-54. 1962.
- HUBEL, David H.; WIESEL, Torsten N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *The Journal of physiology*. Mar 1;195(1):215-43. 1968.
- HUBEL, David H.; WIESEL, Torsten N. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *The Journal of physiology*, v. 206, n. 2, p. 419-436, 1970.
- KAUSHANSKAYA, Margarita; MARIAN, Viorica. The bilingual advantage in novel word learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 16(4), 705–710. 2009.
- KIM, Judy; KANJLIA, Shipra; MERABET, Lotfi B.; BEDNY, Marina. Development of the Visual Word Form Area Requires Visual Experience: Evidence from Blind Braille Readers. *The Journal of Neuroscience*, v.37(47), pp11495–11504. 2017.
- KIM, Judy S.; ELLI, Giulia V.; BEDNY, Marina. Knowledge of animal appearance among sighted and blind adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 116, n. 23, p. 11213-11222, 2019.
- KIM, Judy S.; ELLI, Giulia V.; BEDNY, Marina. Reply to Ostarek et al.: Language, but not co-occurrence statistics, is useful for learning animal appearance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 116, n. 44, p. 21974-21975, 2019.
- KLEIM, Jeffrey; JONES, Theresa. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res* 51:S225-S239. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*. 51. S225-39. 10.1044/1092-4388(2008/018). 2008.
- KRIZMAN, Jennifer; MARIAN, Viorica; SHOOK, Anthony; SKOE, Erika; KRAUS, Nina. Subcortical encoding of sound is enhanced in bilinguals and relates to executive function advantages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(20), 7877–7881. 2012.
- KROLL, Judith F.; BOBB, Susan C.; HOSHINO, Noriko. Two languages in mind: Bilingualism as a tool to investigate language, cognition, and the brain. *Current Directions in Psychological Science*, 23(3), 159-163. 2014. doi: 10.1177/0963721414528511
- KUPERS, Ron; PTITO, Maurice. Compensatory plasticity and cross-modal reorganization following early visual deprivation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 41, 36-52. 2014.
- LANDAU, B.; GLEITMAN, L. R.; LANDAU, B. *Language and experience: Evidence from the blind child*. Cambridge: Harvard University Press, 1985.

- LANE, Connor; KANJLIA, Shipra; OMAKI, Akira; BEDNY, Marina. “Visual” cortex of congenitally blind adults responds to syntactic movement. *Journal of Neuroscience*, 35(37), 12859-12868. 2015.
- LANE, Connor; KANJLIA, Shipra; RICHARDSON, Hilary; FULTON, Anne; OMAKI, Akira; BEDNY, Marina. Reduced left lateralization of language in congenitally blind individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(1), 65-78. 2017.
- LENNEBERG, Eric H. The biological foundations of language. *Hospital Practice*, v. 2, n. 12, p. 59-67, 1967.
- LOIOTILE, Rita; LANE, Connor; OMAKI, Akira; BEDNY, Marina. Enhanced performance on a sentence comprehension task in congenitally blind adults. *Language, Cognition and Neuroscience*, 1-14. 2020.
- LUK, Gigi; BIALYSTOK, Ellen; CRAIK, Fergus I.; GRADY, Cheryl. L. Lifelong bilingualism maintains white matter integrity in older adults. *Journal of Neuroscience*, 31(46), 16808-16813. 2011.
- MACDONALD, Maryellen C.; JUST, Marcel A.; CARPENTER, Patricia A. Working memory constraints on the processing of syntactic ambiguity. *Cognitive psychology*, 24(1), 56-98. 1992.
- MAEDA, Kengo; YASUDA, Hitoshi; HANEDA, Masakazu; KASHIWAGI, Atsunori. Braille alexia during visual hallucination in a blind man with selective calcarine atrophy. *Psychiatry and clinical neurosciences*, 57(2), 227-229. 2003.
- MARMOR, Gloria S. Age at onset of blindness and the development of the semantics of color names. *Journal of experimental child psychology*, v. 25, n. 2, p. 267-278, 1978.
- MIYAKE, Akira; FRIEDMAN, Naomi P. The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14. 2012. doi: 10.1177/0963721411429458
- NEWPORT, Elissa L.; ASLIN, Richard N. Learning at a distance I. Statistical learning of non-adjacent dependencies. *Cognitive psychology*, v. 48, n. 2, p. 127-162, 2004.
- OFAN, Renana H.; ZOHARY, Ehud. Visual cortex activation in bilingual blind individuals during use of native and second language. *Cerebral Cortex*. Jun 1;17(6):1249-59. 2007.
- PANT, Rashi KANJLIA, Shipra; BEDNY, Marina. A sensitive period in the neural phenotype of language in blind individuals. *Developmental cognitive neuroscience*, 41, 100744. 2020.
- PÉREZ-PEREIRA, Miguel. Language development in blind children. K. Brown (Editor-in-Chief), *Encyclopedia of Language & Linguistics*, v. 6, p. 357-361, 2006.
- PRIOR, Anat; MACWHINNEY, Brian. A bilingual advantage in task switching. *Bilingualism: Language and Cognition*, 13(2), 253-262. 2010.
- RÖDER, Brigitte; RÖSLER, Frank; NEVILLE, Helen J. Event-related potentials during auditory language processing in congenitally blind and sighted people. *Neuropsychologia*, 38(11), 1482-1502. 2000.
- RÖDER, Brigitte; STOCK, Oliver; BIEN, Siegfried; NEVILLE, Helen; RÖSLER, Frank. Speech processing activates visual cortex in congenitally blind humans. *European Journal of Neuroscience*, 16(5), 930-936. 2002.
- RAKIC, P. Early developmental events: cell lineages, acquisitions of neuronal positions, and areal and laminar development. *Neurosci. Res. Program Bull.* 20, 439-451. 1982.
- RAZ, Noa; AMEDI, Amir; ZOHARY, Ehud. V1 activation in congenitally blind humans is associated with episodic retrieval. *Cerebral Cortex*, 15(9), 1459-1468. 2005.

- RAZ, Noa; STRIEM, Ella; PUNDAK, Golan; ORLOV, Tanya; ZOHARY, Ehud. Superior serial memory in the blind: a case of cognitive compensatory adjustment. *Current Biology*, 17(13), 1129-1133. 2007.
- SADATO, Norihiro; PASCUAL-LEONE, Alvaro; GRAFMAN, Jordan; IBAÑEZ, Vicente; DEIBER, Marie-Pierre; DOLD, George; HALLETT, Mark. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380(6574), 526-528. 1996.
- SADATO, Norihiro; PASCUAL-LEONE, Alvaro; GRAFMAN, Jordan; IBAÑEZ, Vicente; DEIBER, Marie-Pierre; DOLD, George; HALLETT, Mark. Neural networks for braille reading by the blind. *Brain*, 121(7), 1213-1229. 1998.
- SAFFRAN, Jenny R.; ASLIN, Richard N.; NEWPORT, Elissa L. Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, v. 274, n. 5294, p. 1926-1928, 1996.
- SAFFRAN, Jenny R. Statistical language learning: Mechanisms and constraints. *Current directions in psychological science*, v. 12, n. 4, p. 110-114, 2003.
- SHEPARD, Roger N.; COOPER, Lynn A. Representation of colors in the blind, color-blind, and normally sighted. *Psychological Science*, v. 3, n. 2, p. 97-104, 1992.
- STEVENS, Alexander A.; WEAVER, Kurt E. Functional characteristics of auditory cortex in the blind. *Behavioural brain research*, 196(1), 134-138. 2009.
- TALBOT, Karyn F.; HAUDE, Richard H. The Relationship between Sign Language Skill and Spatial Visualizations Ability: Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Perceptual and Motor Skills*, 77:1387-91. 1993.
- TODMAN, John; COWDY, Natascha. Processing of Visual-Action Codes by Deaf and Hearing Children: Coding Orientation or Capacity? *Intelligence*, 17:237-50. 1993.
- TODMAN, John; SEEDHOUSE, Elizabeth. Visual-Action Code Processing by Deaf and Hearing Children. *Language and Cognitive Processes*, 9:129-41. 1994.
- WATKINS, Kate E.; COWEY, Alan; ALEXANDER, Iona; FILIPPINI, Nicola; KENNEDY, James M.; SMITH, Stephen M.; RAGGE, Nicola; BRIDGE, Holly. Language networks in anophthalmia: Maintained hierarchy of processing in “visual” cortex. *Brain*. 2012.
- WERKER, Janet F.; HENSCH, Takao K. Critical periods in speech perception: new directions. *Annual review of psychology*, v. 66, p. 173-196, 2015.
- WIESEL, Torsten N.; HUBEL, David. H. Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *Journal of neurophysiology*, v. 26, n. 6, p. 1003-1017, 1963.
- WITHAGEN, Ans; KAPPERS, Astrid; VERVLOED, Mathijis; KNOORS, Harry; VERHOEVEN, Ludo. Short term memory and working memory in blind versus sighted children. *Research in developmental disabilities*, v. 34, n. 7, p. 2161-2172, 2013.

Recebido no dia 16 de dezembro de 2020.  
Aprovado no dia 16 de março de 2021.