

ALÉM DAS FRONTEIRAS DISCIPLINARES: INTEGRAÇÃO DA NEUROCIÊNCIA, LINGUAGEM E SEMIÓTICA NO ENSINO DE FÍSICA PARA ESTUDANTES SURDOS

BEYOND DISCIPLINARY BORDERS: INTEGRATION OF NEUROSCIENCE, LANGUAGE AND SEMIOTICS IN PHYSICS TEACHING FOR DEAF STUDENTS

Iratanio Magnum de Souza Serpa Silva¹
Danilo Andrade de Meneses²

Resumo

Este ensaio interdisciplinar permeia os campos da Neurociência, Linguística e Semiótica para investigar possíveis melhorias nas estratégias didáticas para o Ensino de Física em pessoas com surdez. A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória pela plataforma *connected papers*, onde procurou-se relações interdisciplinares entre a semiótica de Peirce e Vergnaud, a neurociência cognitiva do cérebro da pessoa com surdez de Valadão e Amaral, e a perspectiva de linguagem na pessoa com surdez de Furth e Santana. Nos resultados encontrou-se que a *semiótica* pode fornecer uma melhor compreensão do sistema sógnico e simbólico do ensino de física durante a fase de observação da aula; a *neurociência cognitiva* se faz crucial no entendimento da neuroplasticidade *cross-modal*, que possibilita a reconstrução de sinapses no cérebro do aluno com surdez, de forma adaptativa; e a *linguagem* fornece contribuições ao possibilitar o uso da metacognição imagética no contexto da aula de física. Conclui-se que existe uma necessidade de melhoria no sistema comunicativo entre a pessoa com surdez e o professor. Este, estando a par dos pontos cruciais supracitados, pode melhorar suas estratégias didáticas para o ensino de física da pessoa com surdez.

Palavras chave: Surdez; Neuroeducação; Educação Inclusiva; Ensino de Física; Neuroplasticidade.

Abstract

This interdisciplinary essay permeates the fields of Neuroscience, Linguistics and Semiotics to investigate possible improvements in teaching strategies for Teaching Physics to people with deafness. The methodology used was exploratory research through the *connected papers* platform, where interdisciplinary relationships were sought between the semiotics of Peirce and Vergnaud, the cognitive neuroscience of the brain of

¹ Mestre em Ensino de Física pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

² Mestre em História das ciências, das técnicas e epistemologia (HCTE) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

people with deafness by Valadão and Amaral, and the language perspective of people with deafness. by Furth and Santana. The results found that semiotics can provide a better understanding of the sign and symbolic system of physics teaching during the class observation phase; cognitive neuroscience is crucial in understanding cross-modal neuroplasticity, which makes it possible to reconstruct synapses in the brain of deaf students, in an adaptive way; and language provides contributions by enabling the use of image metacognition in the context of physics classes. It is concluded that there is a need to improve the communicative system between the deaf person and the teacher. This, being aware of the crucial points mentioned above, can improve their teaching strategies for teaching physics to deaf people.

Keywords: Deafness; Neuroeducation; Inclusive education; Physics Teaching; Neuroplasticity.

Introdução

Inspirados em Niedderer (2001), que elaborou um modelo que evidencia a aprendizagem como processo cognitivo multidisciplinar, com peculiaridades similares às características epistemológicas de interpretação da realidade e construção do conhecimento científico oriundos da Física, propomos que a busca das raízes pela compreensão cognitiva da aprendizagem de uma pessoa com surdez tenha que advir da relação entre neurociência e psicologia, com Vygostky. Um dos trabalhos clássicos sobre os princípios de neurociências da surdez se remonta ao clássico “Fundamentos da defectologia” de Vygotsky (1997), mais precisamente no capítulo “Sobre el problema de la educación y del desarrollo lingüísticos del niño sordomudo”. Ele escreve, citato por Brettas (2015, p.2): “a cultura molda o psicológico, assim determinando a maneira de pensar e de agir de um grupo no qual uma pessoa se encontra inserida”.

Ainda nesse capítulo, Vygotsky (1997) traz conceitos que na contemporaneidade podem ser elucidados e aprofundados pela via da neurociência cognitiva, e principalmente com as técnicas atuais de *ressonância magnética por imagem*. Esses conceitos são: a) o surdo de nascença não forma sons mentais -essa ideia é incorreta, já que eles podem formar sons por inferência tátil, por exemplo; b) surdos apresentam concentração e memória (relacionadas às formas e gestos) mais desenvolvidas que outros indivíduos ouvintes; c) a surdez contribui de maneira a impulsionar a formação e criação de mecanismos internos de compensação para superar a ausência da audição; d) os quatros sentidos (sendo a visão por excelência o mais significativo) restantes

funcionam como mecanismos mediadores utilizados pelo surdo para interagir com o mundo; e) a metacognição, conceito trazido por Flavell (1976 *apud* CAMPANARIO;OTERO, 2000), possibilita que os surdos apresentem a autocompreensão sobre si e acerca do mundo. Tais conceitos apresentados aqui de maneira sucinta serão considerados sobre a fundamentação da neurociência cognitiva, tendo como principal objetivo, o de basilar a argumentação da presente investigação.

Os conceitos trazidos por Vygotsky desmontam o paradigma tradicional sobre a compreensão da cognição da pessoa com surdez. Pretendemos nesse ensaio, através de uma perspectiva epistemológica com bases experimentais de investigações em Neurociência Cognitiva, como neuroplasticidade e neurobiologia da linguagem, pensar na cognição neurodivergente do sujeito com surdez de maneira interdisciplinar com ajuda da Semiótica de Charles Peirce e a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, para saber se a interdisciplinaridade desses conhecimentos podem auxiliar no contexto educacional, particularmente em relação ao discente com surdez no tocante ao ensino de Física.

Aporte teórico

O papel da neurociência na compreensão do cérebro da pessoa com surdez

A neuroplasticidade, conforme definido por Amaral e Almeida (2015) e Borges et al. (2017), é um conceito de extrema relevância a ser abordado neste contexto. A neuroplasticidade refere-se à capacidade do sistema nervoso de se adaptar, modificar, regenerar, inovar e reestruturar tanto em termos anatômicos, fisiológicos quanto cognitivos. Essa capacidade pode ser vista como uma propriedade intrínseca do sistema nervoso de modificar suas estruturas fundamentais em resposta às experiências do indivíduo e ao ambiente externo.

De acordo com Lent (2010), a plasticidade neural pode ser classificada em dois tipos distintos: plasticidade adaptativa e plasticidade prejudicial. A plasticidade adaptativa refere-se à capacidade do sistema nervoso de se adaptar e compensar a ausência de uma função específica. Por exemplo, quando um indivíduo perde a audição ou nasce

sem ela, os outros sentidos, como o tato e a visão, se desenvolvem de forma cocompensatória para suprir essa deficiência. Isso resulta em uma compreensão mais eficiente e uma maior velocidade na leitura dos gestos da língua brasileira de sinais (Libras). Por outro lado, a plasticidade prejudicial diz respeito a características que supostamente têm um efeito negativo no indivíduo. Demidoff, Pachedo e Sholl-Franco (2007, p. 234) discutem esse tipo de plasticidade.

A plasticidade benéfica também é conhecida como plasticidade *cross-modal*, ou seja, a plasticidade cruzada. Marques et al. (2012, p. 96) esclarecem esse termo ao afirmar que em indivíduos com surdez há um aumento no desempenho visual como resultado da privação auditiva, devido às mudanças intermodais que ocorrem nos estágios posteriores do processamento visual. Em outras palavras, indivíduos com deficiência auditiva utilizam o potencial “plástico” dos neurônios para formar novas conexões sinápticas que auxiliem sua cognição a realizar tarefas que dependem exclusivamente da audição em um indivíduo típico.

A literatura sobre a atenção visual em indivíduos surdos tem sido objeto de estudo e debate, revelando perspectivas divergentes. Inicialmente, uma perspectiva predominante aponta para um déficit perceptivo nesses indivíduos, sustentada no pressuposto de que a surdez pode ter um impacto direto no pobre desempenho dos outros sentidos (MYKLEBUST, 1964).

Essa visão parte do entendimento de que a privação do sentido auditivo pode afetar a percepção e processamento das informações sensoriais, resultando em um prejuízo na capacidade de atenção visual. Nesse sentido, a surdez é considerada um fator limitante que compromete o desenvolvimento de habilidades visuais nos indivíduos surdos. É interessante ressaltar que cada deficiente auditivo apresenta o próprio padrão de plasticidade *cross-modal*, já que cria as estratégias para se conectar com o mundo na falta da audição. Com isso, deseja-se evidenciar que não somente o sentido da visão será recrutado para atender a essa plasticidade *cross-modal*, mas que há deficientes auditivos que recrutam outros sentidos, como o sistema tátil.

Em deficientes auditivos congênitos, Marchesi (1996, citado por DESSEN et al., 1997, p.113-114) escreve que “o grau de intensidade da perda auditiva é, possivelmente, a dimensão que tem maior influência no desenvolvimento das crianças surdas, não

somente nas habilidades linguísticas, mas também nas cognitivas, sociais e educacionais”. Ou seja, surdos de nascença apresentam dificuldades relevantes na formação mental do som. Ciccone (1990, citado por DESSEN et al., 1997, p. 114), pondera que na ausência do sentido da audição o sistema nervoso modifica a organização neurológica do surdo e, como consequência, bloqueia o fluxo natural de mensagens, prejudicando a comunicação como um todo. Amorin e Almeida (2007, citados por KAPPEL; MORENO; BUSS, 2011) relatam que em indivíduos surdos que escutavam *a priori* a capacidade auditiva é melhorada com a utilização de implantes e que a neuroplasticidade auditiva ganha relevância significativa.

Os discentes surdos, no âmbito da aprendizagem, utilização, descrição e manipulação de equações matemáticas ou físicas, enfrentam uma séria dificuldade na associação entre os símbolos matemáticos e as noções das operações. Isso de fato é tão sério que por vezes eles podem não compreender um simples jogo de “par ou ímpar”. No artigo “Das palavras aos sinais: o dito e o interpretado nas aulas de Matemática para alunos surdos inclusos”, Borges e Nogueira (2016, p. 488) indicam as contribuições de Almeida (2009), escrevendo que existe a necessidade de “sinalizar para uma dificuldade maior na passagem do conhecimento aritmético para o algébrico”. Ainda nessa mesma linha de pensamento, Borges e Nogueira (2016) trazem à tona a desvinculação entre o algébrico e o geométrico, justificando que o atraso relacionado à compreensão dos conceitos matemáticos se deve ao fato de os discentes surdos não se apropriarem de conceitos abstratos, pois não conseguem criar uma imagem concreta (geométrica) do que foi explanado. A formação do professor influencia muito esse quesito, principalmente se este adotar uma postura tradicional em sala com relação aos temas dessa natureza.

Strobel (2008 apud BORGES; NOGUEIRA, 2016, p. 488) enfatiza que, ao analisarmos o ensino de temas algébricos, observa-se uma falta de atenção à “experiência visual”, a qual é crucial para os alunos surdos durante o processo de aprendizagem. Isso indica uma negligência com o uso de recursos visuais que são essenciais para o entendimento desses conceitos.

Por outro lado, Fuentes (2014) destaca que a audição desempenha um papel fundamental na percepção da criança em relação ao mundo durante as primeiras 27 semanas de vida. Desde o período fetal, o bebê já é capaz de perceber sons, tonalidades

e entonações da língua materna. Nos primeiros dias após o nascimento, o recém-nascido já é capaz de reconhecer claramente a voz da mãe. Esses aspectos ressaltam a importância da audição na formação do conhecimento e na interação com o ambiente ao seu redor:

Não é uma habilidade sensorial única, isolada. Não se refere a uma mera detecção do sinal acústico, uma vez que muitos mecanismos e processos neurofisiológicos e cognitivos são necessários para uma perfeita decodificação, percepção, reconhecimento e interpretação do sinal auditivo. O Sistema Nervoso Auditivo Central (SNAC) é, portanto, um sistema altamente complexo e redundante, constituído por múltiplos componentes e níveis de organização interativa sequencial e paralela. Tem papel relevante e essencial para o correto reconhecimento e discriminação de eventos auditivos, desde os eventos mais simples, como um estímulo não verbal, até mensagens complexas, como é o caso da fala e da linguagem (SANTOS et al., 2011, p. 460-461).

Nessa abordagem, a audição desempenha um papel fundamental na previsão de eventos antes mesmo deles serem visualmente perceptíveis, tanto no campo de visão central quanto periférico. Isso implica que o reconhecimento do mundo externo ocorre por meio dos estímulos sonoros e de seus atributos correlatos, como tonalidade, amplitude, modulação, entonação, entre outros.

De acordo com Kappel, Moreno e Buss (2011), para os ouvintes, o processo de formação mental do som tem início no órgão sensorial da audição, passando pelas vias auditivas e por estruturas cerebrais responsáveis por captar, processar e interpretar as informações sonoras provenientes do ambiente. O córtex auditivo, uma região localizada no lobo lateral, na parte lateral do encéfalo, desempenha um papel fundamental na análise e interpretação dos estímulos sonoros.

Em um estudo feito com pessoas com surdez observou-se que quando esses sujeitos processam informações e se comunicam por meio da língua de sinais ocorrem ativações corticais, na ressonância magnética por imagem, correlacionadas com regiões típicas de linguagem. Durante o experimento, os pesquisadores expuseram os participantes surdos a um filme narrativo em língua de sinais que envolvia uma fábula. Foi observado que regiões utilizadas para integração sensorial em indivíduo típico - como entre visão e mão, visão e memória, visão e tato, bem como regiões espaciais – eram utilizadas para o processamento de linguagem. E que a região típica envolvida na

compreensão da linguagem, a área de Wernicke, também foi ativada, demonstrando que essa região compreendia não apenas linguagem falada, mas também linguagem de sinais (VALADÃO et al.,2013).

A neuroplasticidade auditiva desempenha um papel fundamental na formação mental dos sons, estabelecendo uma interação sinérgica com o sentido da visão. Estudos abordando a temática dos sonhos em indivíduos surdos revelaram relatos de experiências diárias recorrentes de sonhos, sendo que essas narrativas são predominantemente moldadas pela linguagem de sinais. Embora sejam casos excepcionais, há relatos isolados de surdos que mencionam ser capazes de falar durante seus sonhos (OKADA; WAKASAYA, 2016).

Existe uma relação de interesse entre a deficiência auditiva e o aprimoramento das habilidades cognitivas superiores, como atenção visual e memória, devido à neuroplasticidade *cross-modal* (BOSWORTH; DOBKINS, 2002; MARQUES et al., 2003).

A neuroplasticidade *cross-modal* se desenvolve no cérebro de indivíduos com deficiência auditiva como uma função de autocontrole. Além disso, essa plasticidade pode ser monitorada e controlada pela própria pessoa (através de biofeedback) ou por meio de uma interface cérebro-computador (usando neurofeedback). Esses mecanismos permitem otimizar o funcionamento do cérebro, tanto em nível neurológico quanto comportamental, no contexto da deficiência auditiva (MARQUES et al., 2012).

Um exemplo concreto desse contexto é a utilização da tecnologia de interface cérebro-computador, a qual possibilita a autorregulação do mecanismo perceptivo afetado pela privação auditiva. Adicionalmente, essa abordagem tecnológica pode servir como suporte nos processos de memorização, por meio da aplicação de técnicas mnemônicas, fundamentais na elaboração e manipulação de equações e fórmulas físico-matemáticas. Essas habilidades envolvem ainda o cálculo mental e a aplicação de algoritmos no âmbito do aprendizado da Física.

Língua, linguagem e o aluno com surdez

As funções e significados de língua e linguagem são distintos. Segundo Houaiss (1991), a língua é definida como "um sistema de comunicação e expressão verbal

utilizado por um povo, nação, país, etc., que permite aos usuários expressar pensamentos, desejos e emoções". É importante destacar que a maioria das línguas é oral, mas não devemos negligenciar as línguas de sinais, que também são línguas, embora sejam tridimensionais e utilizem uma modalidade espacial-visual ou gestual-visual. Portanto, a língua é parte integrante da linguagem, abrangendo diferentes formas de expressão e comunicação.

É possível inferir que, para indivíduos surdos, a aquisição da linguagem pode ser influenciada pelo tipo de surdez, levando alguns a adotarem a língua de sinais como língua natural em detrimento da língua oral, devido ao comprometimento auditivo. Essa condição pode resultar na produção de vocalizações lúdicas por crianças surdas durante a infância, e adultos surdos podem pronunciar algumas palavras ou emitir determinados sons. No entanto, a habilidade de elaborar frases completas e claras usando apenas a voz é limitada para esses indivíduos. Mesmo com o acompanhamento de um fonoaudiólogo, a comunicação total com falantes ou ouvintes fica prejudicada devido à ausência da audição. Vale ressaltar que a possibilidade de um indivíduo surdo desenvolver a fala está relacionada ao fato de que a deficiência auditiva está restrita ao sistema auditivo humano, não afetando o funcionamento do aparelho fonador responsável pela produção da fala (SANTANA, 2015).

Quadros (1997, p. 47) salienta sobre a língua de sinais e sua característica de naturalidade:

Tais línguas são naturais internamente e externamente, pois refletem a capacidade psicobiológica humana para a linguagem e porque surgiram da mesma forma que as línguas orais – da necessidade específica e natural dos seres humanos de usarem um sistema linguístico para expressar ideias, sentimentos e ações. As línguas de sinais são sistemas linguísticos que passaram de geração em geração de pessoas surdas. São línguas que não se derivam das línguas orais, mas fluíram de uma necessidade natural de comunicação entre pessoas que não utilizam o canal auditivo-oral, mas o canal espaço-visual como modalidade linguística.

As línguas naturais, formadas por um conjunto de signos arbitrários que possuem significados, garantem a comunicação entre seus usuários. Elas diferem das línguas estrangeiras, que exigem maior conhecimento específico e estudo especializado por

parte dos falantes. É importante conhecer o conceito dessas línguas naturais ou humanas, as quais são adquiridas de forma simples e natural por meio da convivência com os usuários.

Ao se ter esse entendimento, é importante considerar a Língua Brasileira de Sinais (Libras) como a língua primária para o indivíduo surdo. Isso ocorre devido à sua compatibilidade com a comunicação manual e visual que é natural para esses sujeitos, permitindo um processo de aquisição mais fluido. Dessa forma, a língua portuguesa passa a desempenhar o papel de segunda língua para o surdo, seguindo um processo de aprendizado similar ao de uma língua estrangeira para um falante ouvinte. Esse aprendizado ocorre em um ambiente apropriado, com metodologias específicas desenvolvidas para o ensino da língua portuguesa aos surdos (GUARANY; ARAGÃO; COSTA, 2021).

Embora nos surdos a evolução seja um pouco mais lenta, Hans Furth (1966) afirma que os dois grupos de pessoas têm competências cognitivas semelhantes e passam pelas mesmas etapas de desenvolvimento. Algumas teses defendem que o desenvolvimento da inteligência dos surdos ocorre de maneira diferente da dos ouvintes, com seu pensamento mais vinculado ao concreto e apresentando maiores dificuldades para a reflexão abstrata. No entanto, isso não quer dizer, de forma alguma, que a capacidade intelectual do surdo seja inferior à do ouvinte. A ausência do som limita o acesso à linguagem, o que influencia o desenvolvimento do pensamento abstrato e reflexivo. Essa limitação no acesso às informações faz com que a atenção do surdo se concentre em suas experiências internas, como afirmado por Hans Furth (1987) ao atribuir o atraso no desenvolvimento às "deficiências experimentais" vividas pelos surdos.

As pessoas surdas enfrentam significativas dificuldades na obtenção das informações transmitidas em diversos âmbitos, nos quais praticamente toda a informação é veiculada por meio de diferentes meios de comunicação, tais como diálogos, literatura, cinema, televisão e rádio. Por conseguinte, não é de surpreender que os surdos possuam conhecimentos da realidade consideravelmente mais limitados, uma vez que a aquisição do conhecimento está intrinsecamente ligada à habilidade de receber e assimilar informações de maneira adequada (MARCHESI, 2004, p. 183).

Primeiramente, é importante considerar que simplesmente expor alunos surdos à língua portuguesa em sala de aula não será suficiente para que eles a adquiram. Para que ocorra uma verdadeira compreensão, é necessário que eles dominem a língua mais adequada às suas limitações. Embora seja comum pensar que o vocabulário é o elemento central de uma língua, uma vez que é necessário para fins comunicativos, é fundamental compreender os princípios que regem a ordem das palavras em uma língua, mesmo que se conheçam os itens lexicais. Isso é destacado por Grolla e Silva (2014) em suas pesquisas.

O professor, subjetivamente, entende que tanto os alunos ouvintes quanto os com deficiência auditiva possuem domínio da leitura em língua portuguesa. No ambiente das escolas públicas, todavia, o docente acaba por seguir de forma metodológica o livro didático. Sob outra perspectiva, os discentes de forma geral buscam outras fontes, além do professor, para sanar dúvidas acerca do conteúdo ministrado em sala. As principais fontes utilizadas são os livros didáticos, videoaulas, sites educativos, edições de revistas impressas e online, entre outras.

Na educação de discentes com surdez e usuários da Língua Brasileira de Sinais (Libras), é evidente que há um déficit no domínio da língua portuguesa e um acesso limitado aos conteúdos em sua primeira língua, em conformidade com a Lei n. 10.436/2002. Estudos recentes, como os conduzidos por Capovilla, Scliar-Cabral e outros, apontam que o método fônico é mais eficaz para a alfabetização de crianças ouvintes. Esse método prioriza o ensino dos sons da língua antes da associação com a escrita, por meio da relação grafema-fonema. No entanto, para os indivíduos surdos, essa abordagem inicial de familiarização com os sons é inviável, resultando em dificuldades no aprendizado da modalidade escrita do português. Portanto, há uma necessidade de adaptação dos métodos de ensino para atender às especificidades linguísticas dos surdos.

A compreensão de conceitos físicos e o ensino de Física são diretamente afetados pela falta de domínio da língua escrita. Isso ocorre porque os estudantes surdos têm dificuldade em perceber a relação entre a escrita e o som das palavras (grafema-fonema), que é crucial para a leitura, segundo Barboza e Souza (2017). Essa dificuldade

na compreensão de conceitos ou ideias físicas por meio da linguagem escrita implica em uma maior dificuldade.

Física e linguagem: integrando conceitos e comunicação no ensino

Na década de 1970, no Centro Royaumont para uma Ciência do Homem, ocorreu um célebre debate (em forma de simpósio) entre Noam Chomsky, Jean Piaget e outros proeminentes cientistas. Nesse simpósio, foram abordadas questões pertinentes à origem, aquisição, cognição e desenvolvimento da linguagem humana. As discussões e conclusões deste evento têm relevância para o atual cenário do ensino de Física no Brasil, que enfrenta o desafio de estabelecer uma conexão entre a Física e a linguagem, apesar da utilização de recursos cognitivos, epistemológicos e heurísticos para a apropriação dos conceitos fundamentais dessa ciência (PIATELLI-PALMARINI, 1983; ESTRELLA, 2022).

A linguagem abordada aqui está relacionada à concepção de sua natureza estrutural e intrínseca. Isso envolve componentes com atributos sociais e individuais, psíquicos, psicofisiológicos e físicos, de acordo com o postulado de Saussure (1916/1988). A base semiótica atribuída a qualquer linguagem ou manifestação linguística possibilita a busca por propriedades de natureza epistemológica diretamente ligadas às funções cognitivas no indivíduo, ao mesmo tempo em que engloba a vitalidade, organização e estruturação da linguagem em contextos socioculturais (BRONCKART, 2009).

Com base nas contribuições de Casais e Araújo Neto (2014; 2015) e Rocha (2016), optou-se por adotar a abordagem semiótica de Peirce (2000), que postula a relação triádica ou tríade semiótica composta por: o signo (referente) - objeto; o interpretante (significado); e a representação (significante). Considerando também a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (1990), a interpretação dos elementos ocorre da seguinte maneira: a situação didática desempenha o papel de referente, atribuindo sentido ao conceito; os invariantes operatórios, também conhecidos como teoremas-em-ação, correspondem ao significado; e as múltiplas formas de expressão, como expressões matemáticas, gráficos, sentenças formais, diagramas e linguagem

natural, são os significantes. No contexto deste estudo, a porção que constitui o "interpretante" ou "significado" também está associada a um conjunto distinto de componentes principais que fundamentam os conceitos e teoremas-em-ação, conforme evidenciado a seguir:

O interpretante, ou significado, engloba uma variedade de elementos conceituais essenciais, como a propriedade associativa, a propriedade simétrica, a propriedade antissimétrica, a propriedade comutativa, a propriedade anticomutativa, as relações de proporção direta entre grandezas, as relações de proporção inversa entre grandezas, a variabilidade, a invariância, a covariância e a lei de conservação.

A geração do conhecimento intrínseco à Física ocorre devido ao foco de estudo dos seus agentes (pesquisadores, cientistas e professores) estar fundamentalmente ligado à proposta de construção epistemológica que atende à relação triádica semiótica mencionada anteriormente. Nesse contexto, é relevante ressaltar que a estrutura semiótica do significado (representante) só resultará em uma aprendizagem efetiva em relação a um conceito ou aplicação teórica se, de forma harmônica, forem utilizados pelo menos dois sistemas de representação distintos. Isso ocorre porque, nessa situação, o estudante demonstraria consistência ao transpor determinada estrutura de representação simbólica para outra. (COLOMBO; FLORES; MORETTI, 2008; DUVAL, 2009).

Nessa ótica, para que a Física seja encarada como uma linguagem, é necessário ponderar o processo de ensino-aprendizagem de maneira similar aos processos naturais que são fundamentalmente epistemológicos. No entanto, até o momento atual, falta uma clara integração, explicação e demonstração direta entre o domínio cognitivo específico relacionado à aprendizagem da Física e a complexidade do aparelho perceptivo-neurocognitivo e sociocognitivo. Em outras palavras, o ensino de Física estabelece uma relação estruturada, que é didática, epistemológica e cognitivamente única, diferenciando-se das demais disciplinas no amplo campo do conhecimento científico.

Encaminhamento metodológico

Este ensaio teórico trata-se de uma pesquisa exploratória. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória tem a finalidade de fazer um levantamento bibliográfico para desenvolver e elucidar conceitos mais precisos sobre um determinado tema. Esse levantamento envolve a pesquisa de livros e artigos, de forma a proporcionar uma visão geral sobre determinado fato ainda pouco explorado.

Inicialmente, procuramos elencar 3 questões para tentar compreender como o cérebro de uma pessoa com surdez pode aprender melhor os conceitos de física. São elas: 1) Que contribuições a neurociência cognitiva pode fornecer para a compreensão do cérebro da pessoa com surdez?; 2) Como melhorar compreensão entre a língua e linguagem da pessoa com surdez?; 3) Que contribuições a semiótica da física como linguagem poderia fornecer para uma melhor compreensão do ensino de física?

A metodologia utilizada foi desenvolvida em duas etapas. Inicialmente buscou-se no *google acadêmico* as palavras chaves, nos idiomas português e inglês, de forma individual para as três questões citadas acima. Assim, estipulamos para as questões: 1) brain(cérebro), deafness(surdez), cognition(cognição); 2) language(linguagem), deafness(surdez), acquisition(aquisição); 3) semiotics(semiótica), teaching(ensino), physics(física), deafness(surdez). A partir dessa pesquisa encontramos que os autores de maior interesse para os nossos campos de saber eram: Peirce e Vergnaud para semiótica; Valadão e Amaral para neurociência cognitiva do cérebro da pessoa com surdez e Furth e Santana na perspectiva de linguagem da pessoa com surdez. Escolhemos os artigos mais representativos desses autores e colocamos o título na plataforma *connected papers*, que é uma plataforma que sugere artigos relacionados. Procurou-se dessa forma, artigos como similaridades para as áreas conhecimento paralelamente estudadas. Por exemplo, para Peirce e Vergnaud para semiótica, artigos sobre neurociência ou linguagem na pessoa com surdez. A ideia dessa metodologia foi conectar o máximo de relações interdisciplinares possíveis entre os temas.

Resultados e Discussão

Com base nos resultados experimentais que revisamos na literatura interdisciplinar da neurociência cognitiva, semiótica e linguagem é possível destacar de forma concisa alguns indicadores que podem otimizar o processo de aprendizagem no ensino de Física para discentes com deficiência auditiva, Quadro 1.

Quadro 1: Indicadores

ÁREA DO CONHECIMENTO	APLICAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA
Semiótica	Aprimorando a aprendizagem da Física, é fundamental valorizar a fase de observação (primariedade semiótica ou percepção) como base, ao estabelecer a criação da periodicidade, regularidade, princípios, leis, preceitos, regras e especificações, em contraposição a abordagens conceituais puramente mnemônicas.
Semiótica	Promover a interconexão entre os conjuntos semânticos cognitivos (representacionais) e o sistema simbólico e sígnico da Física, garantindo a homeomorfia e a concordância dos significados entre eles.
Neurociência Cognitiva	Utilizar atividades diferenciadas que abarquem capacidades representacionais com distintas lateralidades cerebrais, porém que apresentem conexão e mutabilidade cognitivo-funcional, dentro de um mesmo domínio conceitual (conceitos e teoremas em ação).
Neurociência Cognitiva	De forma particular ou em sincronia, utilizar atividades que abrangam a estimulação e a expressão <i>cross-modal</i> , isto é, que lidem com variados estímulos sensoriais diferenciados.
Neurociência Cognitiva	Maximizar os processos e procedimentos sensório-motores de emulação humana de protótipos de comportamentos relacionados às circunstâncias de ensino-aprendizagem em Física, dispostos de forma hierárquica e complexa, caracterizada pela diversidade, heterogeneidade, multiplicidade e variedade.
Linguagem	Ao empregar táticas metacognitivas, é possível coordenar, ordenar e vincular as imagens mentais (mental imagery) relacionadas aos episódios didáticos da Física com diversos conjuntos semânticos (gestual, verbal, gráfico, pictórico, visual etc.).

Fonte: O autor (2023).

Quando pensamos na relação entre linguagem, semiótica e imaginação, imaginar passa a ser uma ordenação lógica de signos. Esses signos podem ser imagens mentais de números, gestos das mãos contidos na língua de sinais ou palavras, por exemplo. É natural do processo de cognição humana, organizar os signos em padrões, de forma que possa haver não apenas comunicação desses signos em um ordenamento lógico/sintático, mas também o encadeamento deles em uma narrativa, uma série de enquadramentos em múltiplos níveis nos “espaços da imaginação”, resultando no poder de abstração numérico/geométrico que o cérebro humano alcança (MENESES; CARDOSO; LOPEZ, 2022; DEHAENE et al., 1999).

Vendo por essa ótica, que para processar múltiplos tipos de linguagem é preciso imaginar, fica muito mais fácil pensar que imaginar um objeto que se move no decorrer do tempo (cinemática) ativa áreas neurais similares como as de uma mão que se move no decorrer do tempo para a comunicação da língua de sinais. O que falta então em um aluno com surdez, de imaginação aprimorada por plasticidade *cross modal*, apreender um conceito de física como cinemática? Visto que a física decorre da linguagem matemática é preciso compreender inicialmente a relação do processamento linguístico entre número e letra.

A pesquisa realizada por Dehaene et al. (2005) acerca da decodificação textual indica que esse mecanismo está integrado a um processo que possui locais preferenciais claramente delimitados com neurônios distintos para essa funcionalidade. Optou-se, para a compreensão desse processo, pelo modelo denominado Detectores de Combinações Locais (DCL), também proposto por Dehaene et al. (2005). No que diz respeito à leitura, esse modelo deriva de um percurso relativamente complexo da relação combinatória entre símbolos, sinais e ícones que constituem qualquer tipo de construto linguístico, como grafia, escrita e representação de imagens visuais.

O processamento da aquisição, desenvolvimento e aprimoramento da capacidade de cálculo matemático pode ser abordado por meio de processos neurocognitivos. De acordo com as descobertas de Dehaene et al. (1999), esses processos estão intimamente ligados aos processos de leitura e fala do indivíduo. A aquisição do conhecimento matemático, de forma análoga ao âmbito da Física, implica no emprego de um conjunto semântico-cognitivo distintivo, juntamente com a estimulação de áreas cerebrais específicas. Dois elementos complementares se somam ao processo de construção conceitual: a formação estrutural de modelos mentais e a geração de representações visuais através de processos mentais. Embora a observação visual possa ter importância significativa, ela não se revela inteiramente imprescindível para a constituição estrutural do conceito.

Curiosamente, os mesmos grupos neuronais associados à leitura e fala são ativados durante a aprendizagem conceitual e matemática da Física, apresentando distinção em relação a outros grupos neuronais responsáveis por diferentes habilidades cognitivas, como música, processamento de imagens visuais complexas (mapas,

paisagens etc.), reconhecimento de figuras humanas, habilidades motoras e outras (QIAO, 2007).

Conforme evidenciado por estudos de Acharya e Shukla (2012) e Lameira et al. (2006), um conjunto de neurônios conhecidos como neurônios espelho (mirror neurons) está intimamente relacionado às funções cognitivas associadas à linguagem, como simulação de emoções, expressões corporais/faciais e psicomotricidade. Esses neurônios desempenham um papel crucial no desenvolvimento efetivo da comunicação no indivíduo. De acordo com Knops et al. (2009) e Kaufmann et al. (2013), a área cerebral associada ao raciocínio lógico matemático demonstra uma atividade neural distinta, diretamente relacionada à área cognitiva motora. Essa relação pode ser especialmente vantajosa ao trabalhar com a percepção visual (espacial) e tátil em indivíduos com deficiência auditiva, devido à neuroplasticidade presente no córtex auditivo, associada ao córtex visual.

A prática e os exercícios do tipo neurofeedback têm como propósito normalizar o desempenho das ações dos neurônios espelho, conforme evidenciado por estudos de Pineda et al. (2008) e Perkins et al. (2010). Em um meio de neuroplasticidade *cross-modal*, os modelos mentais elaborados em situações de ensino-aprendizagem no âmbito da Física indicam a possibilidade de simulação dos neurônios espelho correspondentes em regiões relacionadas ao raciocínio lógico, memória, atenção, cognição emocional e lógico-espacial, como demonstrado por Gazzola et al. (2007) e Muthukumaraswamy e Singh (2008). Isso aconteceria, por exemplo, por meio de um jogo de vídeo de game em que a pessoa com surdez precisa colocar um ímã de uma polaridade adequada em um determinado local (sendo necessário aqui o conhecimento de magnetismo), enquanto são observadas suas ondas cerebrais em um eletroencefalograma. Ao fazer determinado acerto no jogo, as regiões cerebrais requeridas como áreas de linguagem matemática são ativadas, e pede-se dessa forma que a pessoa repita a atividade, de forma estimular a plasticidade neural daquela região.

O exemplo acima ilustra bem como os avanços na otimização dos resultados de neurofeedback na aprendizagem podem ser divididos em duas categorias: aprimoramento da capacidade de memorização (mnemônica), com o objetivo de minimizar a dissonância cognitiva, encontrando coerência na aquisição de novos

conhecimentos, e na superação obstáculos epistemológicos relacionados à evolução conceitos de Física. Estudos como os de Rea-Ramirez e Clemente (1998) e Treagust e Duit (2008) têm investigado essas questões.

Sendo assim, os avanços da neurociência unidos a compreensão da física como linguagem por meio da semiótica poderiam contribuir para o ensino de física em alunos com surdez em 5 grandes pontos: 1) no auxílio de construção de representações mentais, principalmente em situações de aulas práticas; 2) na apresentação do problema científico, considerando a dificuldade do indivíduo surdo fazer associação entre o som e a linguagem escrita; 3) recrutamento de outros estímulos sensoriais para a aprendizagem desses alunos, principalmente a visão, tendo em vista o conceito de neuroplasticidade *cross-modal*; 4) na exploração de estratégias educacionais com foco na atenção visual e memória no tocante a conceitos científicos e situações-problemas e questões-problemas para a área de ensino de Física, especialmente em áreas mais abstratas (como a Física moderna, Mecânica analítica, Mecânica quântica e Relatividade); 5) criar possibilidade de estimular a neuroplasticidade de regiões corticais auditivas atrofiadas pelo desuso para se trabalhar em sala de aula.

Considerações Finais

As ciências em geral e o conhecimento científico continuam devido a essa pressuposição: um procedimento comunicativo intrínseco com base em um sistema de linguagem praticado de forma tática, estratégica, compreensível e consensual por seus interlocutores. A eficácia desse processo semiótico depende principalmente de procedimentos de ensino que promovam táticas comunicativas-sociocognitivas, uma vez que a base para a existência, desenvolvimento e preservação do sistema de linguagem é a capacidade dos indivíduos de estabelecer comunicação e compreensão mútuas. Em outras palavras, isso implica que o ensino deve levar em consideração três fatores essenciais: a assimilação (percepção das situações didáticas), a compreensão (momento do processo de conceitualização) e a subsequente representação. As neurociências, em particular a neurociência cognitiva, contribuem diretamente para a compreensão no contexto do ensino de Física, uma vez que pressupõem uma natureza epistemológica no

processo de aprendizagem, que envolve a aquisição e o domínio linguístico, compreendidos em sua dimensão semiótica.

Segundo Marques e Marandino (2018), é fundamental considerar o ensino-aprendizagem no contexto da Física como um processo de alfabetização científica, levando em conta as peculiaridades cognitivas individuais e reconhecendo-as como um sistema de linguagem. Ao compreender de forma mais aprofundada os parâmetros e as variáveis sociocognitivas da Física, torna-se possível estabelecer estratégias didáticas e metodológicas mais eficazes e impactantes, com o objetivo de aprimorar as funções cognitivas.

Ao considerarmos a diversidade dos alunos, torna-se evidente a vulnerabilidade dos processos comunicativos e epistemológicos utilizados na escola contemporânea e no campo educacional em geral, especialmente quando se trata da inclusão de estudantes com alguma deficiência. No caso específico dos alunos surdos, percebe-se a escassez de informações aprofundadas sobre o seu sistema cognitivo, o que dificulta a implementação de ações mais precisas. É importante ressaltar que essa análise não deve se restringir apenas a esse grupo, mas sim abranger toda a pluralidade dos alunos.

Para concluir, consideramos que nossas contribuições, de acordo com os eixos de conhecimentos pesquisados, podem contribuir para o ensino de física da seguinte maneira: a) Da **semiótica** as maiores contribuições são referentes à compreensão do sistema sógnico e simbólico da física durante a fase de observação, de maneira a não se pretender unicamente no sistema de memorização em sala de aula; b) Da **neurociência cognitiva** a maior contribuição é a de que a neuroplasticidade *cross-modal* possibilita a reconstrução de sinapses no cérebro dos alunos com surdez, aprimorando de forma adaptativa outras funções, como o processamento de interpretação da rotação mental das mãos durante a percepção de língua de libras. Adaptações como essas auxiliam no processo de aprendizagem desse cérebro neurodivergente; c) Da **linguagem**, o uso da metacognição que empregue o uso de imagens no contexto da física, como por exemplo o movimento inercial de objetos em queda livre.

Ponderamos que além das limitações como escassez de experimentos sobre processos cognitivos não normativos na literatura da surdez, o ensino de física para alunos surdos carece de estudos e necessita de uma visão interdisciplinar para que os

professores saibam como melhorar a didática para esse público. Mais estudos são necessários para chegarmos a conclusões consistentes sobre esse tema. Esperamos que esse artigo possa inspirar mais pesquisas interdisciplinares sobre o ensino-aprendizagem de física para alunos com surdez. Observamos, por fim, que existe uma necessidade de melhoria no sistema comunicativo entre a pessoa com surdez e o professor. Este, estando a par dos pontos cruciais supracitados, pode melhorar suas estratégias didáticas para o ensino de física da pessoa com surdez.

Referências

ACHARYA S, SHUKLA S. Mirror neurons: enigma of the metaphysical modular brain. **Journal of natural science, biology and medicine**. P. 118–124. 2012.

ALMEIDA, F. E. L. **O contrato didático na passagem da linguagem natural para a linguagem algébrica e na resolução da equação na 7ª série do ensino fundamental**. 2009. 258 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

AMARAL, L., & ALMEIDA, J. Neuroplasticity in congenitally deaf humans. **Revista portuguesa de psicologia**, 44, 39-45. 2015.

BORGES, R. R. et al. Spike timing-dependent plasticity induces non-trivial topology in the brain. **Neural Networks**, n. 88, p. 58-64, 2017.

BORGES, F. A.; NOGUEIRA, C. M. I. **Das palavras aos sinais: o dito e o interpretado nas aulas de Matemática para alunos surdos inclusos**. *Perspectivas da Educação Matemática, Campo Grande*, v. 9, n. 20, p. 479-500, 2016.

BOSWORTH, R.G. AND DOBKINS, K.R. The effects of spatial attention on motion processing in deaf signers, hearing signers, and hearing nonsigners. **Brain and Cognition**. 49, 152–169. 2002.

BRETTAS, K. P. **A inclusão matemática de um aluno surdo na rede municipal de Juiz de Fora mediada por um professor colaborativo surdo de Libras atuando em bidocência**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Matemática) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

BRONCKART, J. P. **Atividade de linguagem, textos e discursos** – por um interacionismo sociodiscursivo. Tradução de Ana Rachel Machado e Péricles Cunha. 2. ed. São Paulo: Educ, 2009.

CAMPANARIO, J. M.; OTERO, J. C. Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 18, n. 2, p. 155-169, 2000.

CASAI, J. A. C.; ARAUJO NETO, W. N. . Uso da Semiótica em Estratégias Voltadas para a Educação Inclusiva Situada no ensino de Ciências. In: **XVII ENEQ - Encontro Nacional de ensino de química**, 2014, Ouro Preto - MG. anais da XVII ENEQ, 2014.

CASAI, J. A. C., & ARAUJO NETO, W. Contribuições da Semiótica para a Inclusão de Estudantes Autistas no Ensino de Ciências. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)**, Águas de Lindóia, São Paulo.
<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0140-1.PDF>. 2015.

CICCONE, M. **Comunicação total** – Introdução – Estratégia – A pessoa Surda. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 1990.

COLOMBO, J. A. A.; FLORES, C.R.; MORETTI, T.M. **Registros de representação semiótica nas pesquisas brasileiras em Educação Matemática: pontuando tendências**. In.: Zetetiké, Cempem/FE/UNICAMP, v. 16, nº 29, jan./jun. 2008.

DAPRETTO, M., DAVIES, M. S., PFEIFER, J. H., SCOTT, A. A, SIGMAN, M., BOOKHEIMER, S. Y., & IACOBONI, M. Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. **Nature neuroscience**, 9, 28–30. 2006.

DAS, A. et al. The brain decade in debate: VI. Sensory and motor maps: dynamics and plasticity. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 34, n. 12, p. 1497-1508, 2001.

DEHAENE, S. et al. The neural code for written words: a proposal. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 9, n. 7, p. 335-341, 2005.

DEHAENE, S. et al. Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. **Science**, v. 284, n. 5416, p. 970-974, 1999.

DEMIDOFF, A.O.; PACHECO, F.G.; SHOLL-FRANCO, A. Membro-fantasma: o que os olhos não vêem, o cérebro sente. **Ciências & Cognição**, v.12, 2007. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/pdf/v12/m347199.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2018

DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano**: registros semióticos e aprendizagens intelectuais. Tradução de Lênio Fernandes Levy e Marisa Roâni Abreu da Silveira. São Paulo: Livraria da Física, 2009. (Fascículo 1).

DYE, M. W. G.; BARIL, D. E.; BAVELIER, D. Which aspects of visual attention are changed by deafness? The case of the Attentional Network Test. **Neuropsychologia**, v. 45, n. 8, p. 1801-1811, 2007.

EICHLER, M. L., & FAGUNDES, L. Atualizando o debate entre Piaget e Chomsky em uma perspectiva neurobiológica. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, 18(Psicol. Reflex. Crit., 2005 18(2)), p. 255–266. <https://doi.org/10.1590/S0102-79722005000200014>

FLAVELL, J. H. Metacognitive aspects of problem solving. In: RESNICK, L. B. (Ed.). **The nature of intelligence**. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum, p.231 - 235. 1976.

FUENTES, D. **Neuropsicologia: teoria e prática**. (2ª ed.) Porto Alegre: Artmed. 2014.

GAZZOLA, V.; RIZZOLATTI, G.; WICKER, B.; KEYSERS, C. The anthropomorphic brain: The mirror neuron system responds to human and robotic actions. **NeuroImage**, 35, 1674–1684. 2007.

GROLLA, E.; SILVA, M. C. F. **Para conhecer aquisição da linguagem**. São Paulo: Contexto, 2014.

GUARANY, A.L.A.; ARAGÃO, K.C.; E.S, COSTA. A pessoa surda e a aquisição tardia da Língua Brasileira de Sinais: uma análise da prática. **Revista Diálogos e Perspectivas em Educação Especial**, v.8, n.1, p. 128-142, Jun., 2021.

FURTH, H.G. **Thinking without Language. Psychological Implications of Deafness**. New York: The Free Press.1966.

FURTH, H.G. **Knowledge As Desire: An Essay on Freud and Piaget**. New York: Columbia University Press. ISBN 0-231-06458-6. 1987.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisas Social**, 6ª ed, São Paulo, Atlas, 2008.

HOUAISS, A. **O que é língua**. 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 1991.

KAPPEL, V., MORENO, A. C. DE P., & BUSS, C. H. Plasticity of the auditory system: theoretical considerations. **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, 77(Braz. j. otorhinolaryngol., 2011 77(5)), 670–674. <https://doi.org/10.1590/S1808-86942011000500022>

KAUFMANN, L.; MAZZOCCO, M.M. DOWKER, A.; VON ASTER, M.; GÖBEL, S.M; GRABNER, R.H; HENIK, A.; JORDAN, N.C.; KARMILOFF-SMITH, A.D.; KUCIAN. K.; RUBINSTEN, O.; SZUCS, D.; SHALEV, R.; NUERK, H.C. Dyscalculia from a developmental and differential perspective. **Frontiers in Psychology**. 4:516. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00516. 2013.

KNOPS, A. et al. Recruitment of an area involved in eye movements during mental srithmetic. **Scienceexpress**, v. 324, n. 5934, p. 1583-1585, May 2009.

- LAMEIRA, A. P., Gawryszewski, L. G., & Pereira Jr., A. Neurônios espelho. *Psicologia-USP*, 17, 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.09.006>. 2006.
- LENT, R. **Cem bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais da neurociência. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.
- MARCHESI, Álvaro. **A prática das escolas inclusivas**. In: Desenvolvimento Psicológico e Educação: Transtornos de desenvolvimento e necessidades educativas especiais. Editora Artmed, Porto Alegre, 2004.
- ESTRELLA, D. M. Humanismo, innatismo y construcción. Reflexiones sobre el debate entre Chomsky y Piaget. *Revista Nuevo Humanismo*. 10. 1-29. 2022.
- MARCHESI, A. Comunicação, linguagem e pensamento. In: COLL, C.; PALÁCIOS, J.; MARCHESI, A. (Orgs.). **Desenvolvimento psicológico e educação**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. p. 200-216.
- MARQUES, C. A.; MARQUES, L. P. Do universal ao múltiplo: os caminhos da inclusão. In: LISITA, V.; SOUSA, L. (Orgs.). **Práticas educacionais, práticas escolares e alternativas de inclusão escolar**. Rio de Janeiro: DPA, 2003. p. 223 - 239.
- MARQUES, A. C. T. L., & MARANDINO, M. (2018). Alfabetização científica, criança e espaços de educação não formal: diálogos possíveis. **Educação e Pesquisa**, 44, e170831. <https://doi.org/10.1590/s1678-4634201712170831>
- MENESES, D.A.; CARDOSO, P.M.M.S.; LOPEZ, L.C.S. No que diferem visão, imaginação e criatividade visuoespacial? *in* Livro de publicações do 10º Congresso Brasileiro de Neurociências da Visão – Neurovisão/ 4 th International Congress of Vision Neurosciences, 2022, Minas Gerais – UFMG. **Artigo completo**. Sociedade brasileira de neurociências visão. ISBN: 978-65-86989-13-7
- MUKAMEL, R., GELBARD, H., ARIELI, A., HASSON, U., FRIED, I., & MALACH, R. Coupling between neuronal firing, field potentials, and fMRI in human auditory cortex. **Science**, 309, 951–954. 2007.
- MUTHUKUMARASWAMY, S. D.; SINGH, K. D. Modulation of the human mirror neuron system during cognitive activity. **Psychophysiology**, v. 45, n. 6, p. 896-905, 2008.
- NIEDDERER, H. Physics learning as cognitive development. In: EVANS, R. H.; ANDERSEN, A. M.; SØRENSEN, H. (Eds.). **Bridging Research Methodology and Research Aims**. Student and Faculty Contributions from the 5th ESERA Summerschool in Gilleleje. Danmark: The Danish University of Education, 2001. p. 397-414.
- OKADA, H.; WAKASAYA, K. Dreams of hearing-impaired, compared with hearing, individuals are more sensory and emotional. **Dreaming**, v. 26, n. 3, p. 202–207, 2016.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. Tradução de José Teixeira Coelho Neto. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2000.

PERKINS, T., STOKES, M., MCGILLIVRAY, J., & BITTAR, R. (2010). Mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. **Journal of clinical neuroscience**, 17, 1239–43.

PIATELLI-PALMARINI, M. **Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem**: o debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Cultrix; Edusp, 1983.

PINEDA, J. A. et al. Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. **Research in Autism Spectrum Disorders**, v. 2, n. 3, p. 557-581, 2008.

QIAO, E. T. **Bases cérébrales de la lecture des mots manuscrits**: Etude comportementale et en IRM fonctionnelle. Master de Sciences Cognitives – EHESS/ENS/Université PARIS 5, Paris, 2007.

QUADROS, R. M. **Educação de surdos**: a aquisição da linguagem. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

REA-RAMIREZ, M.; CLEMENT, J. In search of dissonance: The evolution of dissonance in conceptual change theory. Paper presented at the **Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching**, San Diego, 1998 19-22 Apr.

ROCHA, H. V.; BARANAUSKAS, M. C. C. **Design e avaliação de interfaces humano-computador**. Campinas: Nied/Unicamp, 2003.

SANTANA, A. P. Surdez e linguagens: aspectos e implicações neurolinguísticas. São Paulo: Summus. 5 ed. 2015.

SANTOS, E. DOS ., ZEFERINO, A. M. B., GAGLIARDO, H. G. R. G., & COLELLA-SANTOS, M. F. Estudo da audição em crianças portadoras de deficiência visual. **Revista CEFAC**, 13(Rev. CEFAC, 2011 13(3)), 460–471.
<https://doi.org/10.1590/S1516-18462011005000027>

SAUSSURE, F. **Curso de Linguística Geral**. São Paulo: Cultrix, 1988. (Edição original: 1916).

TREAGUST, D. F.; DUIT, R. Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. **Cultural Studies of Science Education**, n. 3, 297-328, 2008.

VALADÃO, Michelle Nave et al. Língua de sinais: visualizando a recepção da linguagem por meio da ressonância magnética funcional. **Revista de estudos da linguagem**, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 129-149, dec. 2013. ISSN 2237-2083. Available at: <<http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/relin/article/view/5105>>. Date accessed: 16 mar. 2023. doi:<http://dx.doi.org/10.17851/2237-2083.21.2.129-149>.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VYGOTSKY, L. S. **Fundamentos de la defectología**. Obras completas. Cuba: Editorial Pueblo y Educación, 1995. (Tomo 5).

VYGOTSKY, L. S. **Obras Escogidas V: Fundamentos de defectología**. Madrid: Visor, 1997.