

Neurociência educacional: análise bibliográfica das contribuições da neurociência cognitiva no contexto da aprendizagem do ensino fundamental

Lucas Las-Casas e João Paulo Cunha de Menezes

Universidade de Brasília, Núcleo de Educação Científica da Biologia, Brasil. E-mails: lacasalucas@gmail.com, jpaulo_bio@hotmail.com.

Resumo: A neurociência e a educação sempre foram consideradas duas áreas distantes, mas cada vez mais trabalhos de neurociência cognitiva apontam para as possíveis relações entre esses temas, a chamada neurociência educacional. O objetivo deste trabalho foi compreender se os artigos publicados sobre esse tema têm real aplicabilidade como ferramentas pedagógicas e de que forma isso pode ser feito. A partir de uma pesquisa bibliográfica entre 2013-2018, foram identificados seis trabalhos com possíveis aplicações no contexto educacional, que foram analisados dentro de duas categorias por meio de Análise Textual Discursiva. Os trabalhos apresentaram diversas informações relevantes para o entendimento do processo de aprendizagem, contudo ainda faltam mais pesquisas acerca deste tema para que tais conhecimentos possam ser realmente utilizados no contexto escolar.

Palavras-chave: Neurociências, neurociência cognitiva, aplicações educativas, aprendizagem, atividades práticas.

Title: Educational Neuroscience: bibliographic analysis of the contributions of cognitive neuroscience in the context of primary education learning

Abstract: Neuroscience and education have always been considered two distant areas, but more and more cognitive neuroscience works point to the possible relationships between these themes, the so-called educational neuroscience. The objective of this work was to understand if the articles published on this theme have real applicability as pedagogical tools and how this can be done. From a bibliographical research between 2013-2018, six papers with possible applications in the educational context were identified, which were analyzed within two categories by means of Discursive Textual Analysis. The papers presented several relevant information for the understanding of the learning process, however there is still a lack of further research on this topic so that such knowledge can be really used in the school context.

Keywords: Neurosciences, Cognitive Neuroscience, educational application, learning, practical activities.

Convergindo: da neurociência a educação

As neurociências podem ser descritas como o conjunto das ciências multidisciplinares envolvidas com a análise do sistema nervoso, de modo a

compreender suas funções e a base biológica do comportamento (Squire, et al., 2008). Atualmente, existem diversas subáreas de estudo dentro do ramo da neurociência, variando desde o estudo molecular de células nervosas até a base biológica do comportamento e suas disfunções, relacionadas com emoção e cognição (Squire et al., 2008).

Uma das áreas relacionadas diretamente à neurociência que vem tomando maior importância no debate mundial é a neurociência educacional (Varma, McCandliss e Schwartz, 2008). A neurociência educacional (NE) é um campo de estudo formado pela junção de três áreas: as neurociências, psicologia e pedagogia. A NE tem por objetivo aprimorar o processo de aprendizagem e para isso, investiga como os professores podem melhorar o ensino e suas metodologias com foco no aprendizado (Ansari, 2011; Szucs e Goswami, 2007).

Em termos educacionais, a neurociência cognitiva (NC) é uma subárea dentro das neurociências com maior importância para o ensino-aprendizagem (Szucz e Goswami, 2007). A NC é essencial para compreender a NE pois ela possibilita o estudo das áreas cerebrais responsáveis pelas funções cognitivas específicas e esclareceram muitos aspectos do funcionamento do Sistema Nervoso (Milner, Squire e Kandel, 1998).

A relação entre neurociência e educação é natural, visto que quase tudo que tiver um impacto sobre a aprendizagem possui uma base biológica neuronal (Howard-Jones, 2014). A educação possui o papel essencial na modulação do desenvolvimento do sistema cognitivo de crianças por meio do ensino-aprendizagem, e este desenvolvimento depende tanto da estrutura quanto da função cerebral (Szucs e Goswami, 2007). Assim, o entendimento de como o funcionamento do cérebro pode interferir positivamente na prática educacional é um fator importante a ser compreendido (Howard-Jones, 2014).

Para que a neurociência educacional possa ser analisada e aplicada corretamente é necessário aproximar as duas áreas, neurociência e educação, visto que elas sempre foram consideradas distantes (Bowers, 2016; Bruer, 1997). Esta aproximação deve ser feita por meio do trabalho conjunto de neurocientistas, psicólogos cognitivos, pesquisadores educacionais e educadores de forma interdisciplinar (Howard-Jones, 2014; Varma et al., 2008). Isto só pode ocorrer se pesquisadores de diferentes campos de pesquisa se unirem e compartilharem as informações de forma correta (Ansari, 2011; Howard-Jones, 2014).

Deste modo, é essencial que mais pesquisas sobre neurociência educacional com bases teóricas e empíricas sejam realizadas para analisar os diversos fatores envolvidos com a aprendizagem (Howard-Jones, 2014). No entanto, muitas informações disponibilizadas na literatura não têm uma base empírica, apenas teórica e mesmo quando são feitos testes experimentais, muitas vezes não há uma relação multimodal entre os fatores de estudo, dificultando a aplicabilidade em sala de aula (Bowers, 2016).

Observando essas fragilidades na literatura entre as pontes de conhecimento da neurociência e educação, e tentando trazer subsídios para

essas discussões, o presente trabalho teve como objetivo analisar a produção bibliográfica de artigos sobre neurociência relacionados a intervenções educativas com o intuito de verificar se realmente os conhecimentos de neurociência possuem potencial de serem aplicados na educação. Assim, buscamos analisar se os artigos publicados sobre neurociência educacional possuem informações necessárias para que os conhecimentos obtidos fossem aplicados dentro do contexto educacional.

Metodologia de pesquisa

Esse trabalho caracteriza-se pela abordagem qualitativa, utilizando mais especificamente a pesquisa bibliográfica. A pesquisa bibliográfica é um tipo de pesquisa exploratória, que tem como foco central gerar maior entrosamento com os problemas a serem estudados, tornando-os mais explícitos ou construindo hipóteses (Gil, 2002). As etapas desenvolvidas foram: i) escolha do tema, formulação do problema e verificação dos objetivos; ii) localização e seleção dos trabalhos; iii) avaliação crítica dos trabalhos; iv) análise e apresentação dos dados e v) interpretação dos dados.

A escolha do tema e a formulação do problema adveio de uma lacuna presente na literatura. A partir do baixo número de trabalhos publicados na área (trabalhos que relacionam diretamente a neurociência cognitiva e suas aplicações educacionais) foram formulados os objetivos de pesquisa para responder às indagações iniciais.

Na primeira etapa da pesquisa foram definidas palavras-chave para filtrar o material. As palavras-chave utilizadas foram: "cognitive neuroscience" e "educational applications" no Google Acadêmico. O uso destas palavras foi escolhido por relacionar os conhecimentos de neurociência, mais especificamente a cognitiva, com as aplicações educacionais, que é o objetivo central deste trabalho. A pesquisa foi feita em inglês pois em um levantamento preliminar foi observado que não há informações suficientes sobre este tema na língua portuguesa.

Os trabalhos encontrados na plataforma de busca passaram por um processo de seleção, determinado pela formulação dos critérios de inclusão e de exclusão, seguido da pré-seleção e seleção mais refinada dos trabalhos.

Os critérios de inclusão foram: (a) publicação em revista científica; (b) trabalhos publicados entre 2013-2018; (c) foco de pesquisa em Aprendizagem ou Ensino-aprendizagem; (d) nível de ensino (ensino fundamental); e (e) trabalhos empíricos. Os critérios de exclusão foram: (a) artigos sem qualis; (b) trabalhos publicados antes de 2013; (c) foco de pesquisa voltado apenas para ensino (isto é, que não englobe a aprendizagem); (d) artigos voltados a pré-escola, ensino médio e ensino superior; (e) trabalhos sem base empírica; e (f) falta de relação direta com o objetivo proposto. Após todas as etapas de seleção, o corpus da pesquisa foi constituído por seis artigos publicados em periódicos (ver Anexos 1 e 2) seguindo as características determinadas pelos fatores de análise e seleção aplicados descritos acima.

É importante ressaltar que por ser um tema de complexa análise e relativamente recente (Howard-Jones, 2014), existem poucos trabalhos que apliquem os conhecimentos sobre neurociência cognitiva no contexto educacional (Bowers, 2016; Varma et al., 2008). No primeiro levantamento foram encontrados trinta e um trabalhos e após uma seleção mais criteriosa dos mesmos, apenas seis trabalhos selecionados foram utilizados no desenvolvimento do corpus do texto. Os trabalhos selecionados para a análise são periódicos indexados, pautados em estudos sobre neurociência cognitiva relacionados a aprendizagem de crianças (7-11 anos) cursando o ensino fundamental, publicados entre 2013-2018 (Cunningham, Scott, Hutchison, Ross e Martin, 2018; Filičková, Ropovik, Bobaková e Kovalčíková, 2015; Resing, Bakker, Pronk e Elliott, 2016, 2017; Tung, 2013; Turk et al., 2015).

Após a seleção, foi necessário criar etapas para análise e organização dos trabalhos. Utilizou-se como ferramenta analítica a Análise Textual Discursiva (ATD). A ATD é determinada por um processo de auto-organização textual na construção de compreensão em que novos entendimentos surgem a partir de três componentes sequenciais: (i) unitarização; (ii) categorização; e (iii) captação emergente (Moraes, 2003).

A interpretação na ATD pode ser feita por diferentes formas (Moraes, 2003). Neste trabalho, essa interpretação foi feita a partir da comparação dos artigos selecionados entre si, por semelhança e diferença, e da comparação entre as informações contidas nesses artigos com as pesquisas apresentadas no referencial teórico. Assim, foram estabelecidas pontes entre os materiais analisados e os objetivos de pesquisa por meio da Análise Textual dentro das duas categoriais determinadas: i) aspectos de aprendizagem e ii) problemas relacionados.

Aspectos de aprendizagem

Consideramos que os trabalhos apresentados neste levantamento apresentam informações relevantes para a aplicação no contexto educacional por possuírem dados obtidos por meio de experimentos voltados para o comportamento durante o processo de aprendizagem (Hruby, 2012) e não a partir de informações neurocientíficas sobre medidas cerebrais como grande parte dos artigos sobre este tema (Bowers, 2016). Apesar da necessidade de ampliar as pesquisas nesta área, observamos que os primeiros passos estão sendo tomados para o maior entendimento de como podemos utilizar os conhecimentos da neurociência cognitiva voltadas para a prática educacional (Cunningham et al., 2018; Filičková et al., 2015; Resing et al., 2016, 2017; Tung, 2013; Turk, et al., 2015).

Os aspectos de aprendizagem observados em grande parte dos trabalhos de neurociência educacional estão relacionados ao uso de diferentes metodologias que são do interesse da ciência, e que possuem informações potencialmente úteis para educadores (Ansari, 2011). Essas estratégias metodológicas foram estruturadas por meio de diversas ferramentas de aplicação, focadas na melhora da aprendizagem como o uso do teste dinâmico, utilização de grupos controle variados, uso de diferentes escalas de aprendizagem, análise de diferentes níveis, entre outros (Cunningham et

al., 2018; Filičková et al. 2015; Resing et al., 2016, 2017; Tung, 2013; Turk, et al., 2015).

Alguns dos aspectos abordados nessa pesquisa dentro do conteúdo de aprendizagem são: efeitos do feedback emocional por meio de aprendizagem eletrônica (AR1), efeito da relação entre "inteligência fluída" (IF) e "controle atencional" (CA) no potencial de aprendizagem (AR2), codificação por meio do autorreferenciamento e/ou posse (AR3), transferência de aprendizado na resolução de tarefas de analogias (AR4), variabilidade inicial e memória de trabalho na resolução de tarefas (AR5) e tendências de auto processamento ("self-processing") por meio da posse (AR6). De acordo com Flanagan e Ortiz (2001): "a inteligência fluída refere-se às operações mentais que uma pessoa usa quando está defronte de tarefas novas que não podem ser executadas automaticamente. Estas operações mentais incluem o reconhecimento e formação de conceitos, a compreensão de implicações, resolução de problemas, extrapolação, e reorganização ou transformação de informações" (p.9). Dentre os trabalhos apresentados, os trabalhos AR3, AR4, AR5 e AR6 se relacionam como pesquisas que trabalham dentro do conceito de memória e aprendizagem, analisando de quais formas pode-se estimular a memória de estudantes possibilitando uma melhora no processo de aprendizagem. Enquanto que AR3 e AR6 se relacionam como trabalhos que avaliam os efeitos de "referenciar a si próprio" tanto na memória, quanto na atenção dentro do contexto da aprendizagem. Os artigos não apresentam uma sequência cronológica para a Análise Textual Discursiva.

O AR3 aponta para a importância em utilizar o autorreferenciamento como uma possível ferramenta de intervenção educacional. Neste trabalho, os autores consideram que referenciar a si mesmo é importante para incentivar a memória dos estudantes pela formação de mais conexões neuronais, com o objetivo de aprimorar a retenção de informação e assim, beneficiar o processo de aprendizagem.

Tais informações condizem com o fato de que pessoas que estão em processo de aprendizagem possuem maiores chances de armazenar informações quando estão envolvidas com materiais ou informações contendo situações variadas de autorreferenciamento nos textos (Sadoski, 2001). Segundo Sadoski (2001), esse processo apresenta-se como uma ferramenta valiosa na aprendizagem, afetando positivamente a prática pedagógica.

A utilização de ferramentas educacionais como o uso de "referenciamento" na construção de frases pode ser uma estratégia para professores por ser algo prático e flexível de ser utilizado (Sadoski, 2001; Turk, Cunningham e Macrae, 2008). Koch, Timmerman, Peiffer e Laurienti (2013) ressaltam a importância que os trabalhos sobre neurociência cognitiva possuem em responder a perguntas feitas pelos educadores e que tais respostas podem ser utilizadas para contribuir no processo de ensino-aprendizagem.

Os benefícios relacionados à memória, por meio do efeito de autorreferenciamento, se demonstraram como uma forma eficaz de aprimorar a memória das crianças em tarefas literárias quando estas

referenciam a si próprias nas sentenças, o que condiz com trabalhos encontrados na literatura (Reeve, 2013; Turk et al., 2008).

Assim, trabalhos que analisam a memória são de suma importância para a educação, pois a memória é imprescindível para o processo de aprendizagem, já que é ela, em conjunto com o controle de atenção, que seleciona a retenção de experiências individuais e favorecendo a memorização de informações específicas que podem ser úteis para criar ferramentas de ensino-aprendizagem (Guerra, 2011).

Outra consequência analisada no AR3, indica que uma vantagem cognitiva deste tipo de referenciamento é o aumento da participação dos estudantes em atividades escolares (motivação) provocando mudanças na atenção e aumentando a aproximação afetiva com as informações aprendidas em sala de aula (Turk et al., 2008). Para Vygotsky, citado por Oliveira (1992) "os processos pelos quais o afeto e o intelecto se desenvolvem estão inteiramente enraizados em suas inter-relações, e influências mútuas" (Oliveira, 1992, p. 76). A partir dessa afirmação, podemos induzir que quanto mais o professor aproxima afetivamente seu estudante ao objeto de estudo, maiores seriam as possibilidades para este aluno se desenvolver de forma positiva com relação aos seus aspectos cognitivos.

É importante analisar a motivação pelo viés da neurociência educacional, pois ela envolve tanto a afetividade, quanto a cognição (Ribeiro, 2011). Assim, a motivação pode ser uma ferramenta pedagógica útil do educador já que este é um fator intermediário nítido entre o desenvolvimento cognitivo e desenvolvimento sócio emocional (Vygostky, 1998), permitindo que o educador possa prever e orientar a conduta do estudante dentro de sala de aula (Ribeiro, 2011).

Os resultados encontrados no AR3 reforçam sobre a importância da construção de ferramentas educacionais que levem em conta a individualidade dos estudantes, visto que cada pessoa possui seu próprio processo de aprendizagem e que a autonomia dos alunos é importante nesse processo (Koch et al., 2013). Então, atividades em que crianças referenciam a si mesmas podem parecer simplórias, mas a partir dos trabalhos apresentados aqui, as atividades de auto referenciar podem, na verdade, possuir uma real aplicabilidade na educação já que envolvem tanto contribuições para quem aplica as atividades, quanto para os próprios estudantes. A metodologia proposta no AR3 permite avaliar o desenvolvimento cognitivo de diferentes estudantes por meio da análise do processo de aprendizagem desses indivíduos de forma mais específica (Szucs e Goswami, 2007).

Esse tipo de metodologia é importante na neurociência educacional, pois é criado um ambiente em que é possível analisar o processo de aprendizagem por meio da aplicação de diferentes intervenções e de diferentes formas de avaliação para compreender os processos cognitivos de cada estudante (Ansari, 2011). Esse ambiente é essencial pois permite que os educadores tenham maior controle sobre como aplicar a atividade e possibilita que eles deem um enfoque maior em determinado conhecimento a ser aprendido (Howard-Jones, 2014). Assim, o AR3 abre caminhos para pesquisas futuras sobre a eficácia do uso de autorreferenciamento com o

intuito de beneficiar a aprendizagem de estudantes. Os resultados reportados nesse artigo, demonstram que a aplicação do "eu" ("self") na aprendizagem da soletração/escrita aumenta tanto a participação nas atividades quanto a retenção de informação por parte dos estudantes. Desta forma, podemos considerar como uma ferramenta cognitiva com potencial de aplicação valioso, de alto impacto e sem custo na educação (Humphreys e Sui, 2016; Turk et al., 2008).

Semelhantemente ao AR3, o AR6 trata sobre a aplicação do "eu" em atividades voltadas para a melhora da memória por meio do "efeito de autorreferenciamento" (SRE). Ambos trabalhos apresentam resultados parecidos, no qual evidenciam que o SRE pode ser aplicado de forma efetiva em sala, reforçando o efeito positivo do autorreferenciamento na aprendizagem de crianças por meio do melhoramento da atenção e da memória, agindo como uma possível ferramenta pedagógica (Cunningham et al., 2018). A diferença essencial observada entre os dois trabalhos foi que o primeiro trata sobre o uso de autorreferenciamento na construção de frases e na soletração, enquanto o segundo analisa o efeito de tarefas voltadas às associações com posse ("ownership") (Cunningham et al., 2018). Isso demonstra relevância do "eu" no contexto da NE, pois demonstra que atividades relacionadas a si próprio ou atribuir elementos visuais ao próprio aluno são duas formas semelhantes e práticas de melhorarem a participação, memória e performance em resolução de tarefas dos alunos, apresentando potencial para aplicação em sala de aula (Humphreys e Sui, 2016; Turk et al., 2008).

Os resultados apresentados pelo AR6 demonstraram que os itens que eram dos próprios participantes foram mais bem lembrados do que os itens de "posse" de outros e os "sem posse". Isto condiz com o AR3, em que o autorreferenciamento pode ser uma forma adaptável e prática de ser aplicada no contexto educacional para melhorar o processamento de informações, ajudando tanto no processo de memorização quanto de atenção voltadas às funções executivas no processo de cognição (Humphreys e Sui, 2016). A descoberta que a auto propriedade, uma das formas de utilizar o efeito de autorreferenciamento, isoladamente melhora a aprendizagem de novas informações mesmo sem a inclusão de escolha pessoal demonstra que este paradigma em particular pode ser útil no contexto educacional real (Turk et al., 2008). Essa informação reforça a possível aplicabilidade desse tipo de tarefa, já que grande parte dos trabalhos publicados nessa área tendem a se distanciar do contexto de sala de aula (Bowers, 2016).

Outra informação importante que o AR6 traz, é que a melhora da memória atribuída aos itens de posse dos próprios estudantes não diminuiu as lembranças de outras informações armazenadas. Isto é importante, pois os educadores podem dar um enfoque especial no material que contém atribuição ao próprio aluno ("self-owned"), visto que ele tenderá a lembrar mais dessa informação, mas não deixará de lembrar das outras (Humphreys e Sui, 2016). Esse é mais um fator que aumenta a aplicabilidade desta metodologia, por tornar essa atividade mais prática, por permitir que professores levem em consideração diferenças individuais ou entre grupos, na aplicação de determinados conteúdos (Varma et al., 2008).

Desta forma, tais tipos de materiais podem aumentar o engajamento dos alunos em tarefas, afetando ainda mais positivamente a atenção deles do que materiais que não possuem autorreferenciamento, e assim contribuindo para atenção e motivação dos estudantes (Reeve, 2013). Assim, tanto o AR3, quanto o AR6 tratam sobre os efeitos positivos na memória e na atenção por meio do "efeito de autorreferenciamento" e que esta ferramenta pode ser uma forma eficaz de trazer conhecimentos neurocientíficos para aplicações educativas (Humphreys e Sui, 2016).

Diferentemente dos dois trabalhos supracitados, o AR4 estuda o comportamento de transferência de aprendizagem (conhecimentos) de crianças quando estas enfrentam tarefas de resolução de problema. Nesse caso, analogias são utilizadas para avaliar o processo de aprendizagem dos estudantes, apresentando outra forma em analisar processos vinculados a cognição, também relacionados a memória, que demonstra ser um fator de extrema importância em estudos sobre aprendizagem (Humphreys e Sui, 2016).

O uso de analogias tem crescido cada vez mais em pesquisas científicas voltadas para educação por possuírem um papel importante na ativação de vias cognitivas e por ser uma forma útil de aproximar informações já conhecidas a novos conhecimentos a serem obtidos facilitando o processo de aprendizagem e tornando-se uma possível ferramenta prática de ser utilizada dentro de sala de aula (Ferraz e Terrazan, 2001). As analogias têm grande importância no contexto educacional principalmente por facilitarem a transferência do conhecimento de um domínio conceitual que não é familiar para um domínio mais familiar (Ferraz e Terrazan, 2001), reforçando também que o conceito de transferência de conhecimentos é importante no processo de aprendizagem (Ferraz e Terrazan, 2001; Resing, Tunteker e Elliot, 2015).

Os resultados que compõem o trabalho AR4 demonstraram que, o raciocínio analógico das crianças quando apresentadas tarefas de analogia foi afetado positivamente. Essa melhora se deu como consequência de os estudantes terem acesso a várias práticas não guiadas, incluindo ou não o treinamento por meio de um teste dinâmico (TD). Segundo Haglund e Jeppsson (2012), este teste demonstra ser um bom avaliador de aprendizagem.

O grupo com treinamento teve um aumento no raciocínio analógico maior do que o efeito da prática não-guiada isoladamente, a partir do número de analogias completamente resolvidas e pelas explicações verbais acerca de como eles resolveram as tarefas (Resing et al., 2016). Esse resultado indica que os treinamentos formulados com uso de teste dinâmico podem ser ferramentas eficazes no processo de aprendizagem durante a resolução de determinadas tarefas escolares, favorecendo, por exemplo, o raciocínio indutivo dos estudantes (Harpaz-Itay, Kaniel e Ben-Amram, 2006). O teste dinâmico possui três vantagens da perspectiva da neurociência educacional em relação a outros testes: ele foca em quantificar os processos psicológicos envolvidos na aprendizagem e nas mudanças; utiliza o feedback como uma ferramenta que permite avaliar os processos de aprendizagem no momento de aplicação e pode favorecer a retenção de determinadas informações; e permite que ocorra uma relação mais

interativa entre o pesquisador que aplica a metodologia e o participante, criando uma atmosfera de aprendizagem mais complexa e afetiva (Resing, et al., 2015).

No contexto educacional, esse trabalho é relevante, pois demonstra que tarefas do tipo "open construction task" (tarefas em que os participantes têm autonomia) (Haglund e Jeppsson), podem ser uma boa medida para calcular a transferência de aprendizagem, fornecendo informações importantes sobre os níveis (o quanto eles estão aprendendo) e o potencial de aprendizagem de estudantes durante um certo período de tempo (Harpaz-Itay et al., 2006), semelhantemente a metodologia aplicada nos estudos AR3 e AR5.

O uso de uma atividade "open construction task" é um tipo de tarefa que estimula o uso do raciocínio indutivo (analógico), como utilizado no AR4. O raciocínio analógico é um componente básico do pensamento e é um dos fatores mais estudados na cognição e aprendizagem (Resing et al., 2015). Esse tipo de raciocínio está envolvido com diversas funções cognitivas centrais importantes no processo de aprendizagem (Resing et al., 2015). Assim, esse tipo de tarefa educacional "aberta" pode ser feita pelo uso de analogias e metáforas como o caso do AR4 e AR6, e como descrito anteriormente, a aplicação destas metodologias pode ser uma ferramenta educacional importante para facilitar o entendimento de conceitos que muitas vezes são difíceis de serem compreendidos por estudantes, reforçando a importância do uso de analogias como instrumento pedagógico (Ferraz e Terrazan, 2001).

A partir dos resultados obtidos pelo uso do teste dinâmico, tais informações podem ser benéficas para uso prático de educadores, já que esse tipo de teste avalia o progresso da aprendizagem ao longo do tempo a partir de encontros em que o pesquisador (ou educador) intervêm com determinados feedback ou dicas durante uma ou mais sessões específicas de resolução de tarefas para analisar como esse tipo de treinamento irá beneficiá-los (ou se não vão) futuramente na resolução de outras atividades similares (Resing et al., 2015).

Assim, os resultados apresentados pelo AR4 sugerem que o conhecimento dos tipos de estratégias de resolução de tarefas que as crianças utilizam são relacionadas à melhora na performance de aprendizagem (Resing et al., 2015). Então, essas estratégias podem produzir compreensões sobre o potencial cognitivo dos estudantes, quando analisadas de forma periódica (Siegler, 2007), apresentando possíveis implicações educacionais reais a nível individual e em larga-escala (Haglund e Jeppsson, 2012). Contudo, essas informações ainda precisam ser testadas mais vezes para entender de que forma os resultados podem ter real aplicabilidade no contexto educacional, já que ainda há muitas lacunas de conhecimento nessa área (Ansari, 2011). Além disso, seria interessante o uso de grupos controles para avaliar de forma mais aprofundado os impactos de uma prática não-guiada com ou sem treinamento no processo de aprendizagem. Vale ressaltar que muitas pesquisas sobre neurociência educacional não empregam grupos controles adequados o que possibilita uma interpretação errada de informações (Bowers, 2016; Koch et al., 2013).

Outro trabalho semelhante ao AR4 é o AR5, desenvolvido pela mesma autora. No AR5, o objetivo do artigo também está vinculado a entender os progressos das estratégias de resolução de tarefas, contudo, diferentemente do AR4, neste caso adicionou-se a influência da variabilidade inicial (VI) e da memória de trabalho viso-espacial na progressão de uso de estratégias cognitivas (Resing et al., 2017). O AR6 possui mais especificidade em relação ao AR4 já que trabalha com funções executivas (FE) mais bem definidas (VI e memória de trabalho viso-espacial) e que são dois fatores importantes para compreender a aprendizagem (Siegler, 2007).

Ambos artigos (AR4 e AR5) apresentam relevância para a neurociência educacional pelo fato de que trabalham com a progressão de aprendizagem de crianças ao longo de cinco encontros. Este tipo de análise é essencial para uma possível aplicação de conhecimentos de neurociência cognitiva na educação, visto que é necessário compreender como ocorre o desenvolvimento no uso de estratégias de aprendizagem em resposta a diferentes situações (Szucs e Goswami, 2007). Os resultados encontrados no AR5 apontam para a importância do uso de metodologias específicas para aprendizagem (p.ex. TD + metodologia microgenética) e com métodos de análise adequados que geralmente ocorrem a partir de vários encontros (Ansari, 2011; Koch et al., 2013). O uso desse tipo de metodologia é muito importante para estabelecer uma relação real entre neurociência e educação, já que é necessário examinar como ocorre o progresso e as mudanças cognitivas enquanto as pessoas estão respondendo a atividades em sala de aula para compreender os mecanismos principais envolvidos no processo de aprendizagem (Szucs e Goswami, 2007).

Além disso, AR4 e AR5, o AR3 e o AR6 também trabalham com um elemento em comum entre si e de alta importância para a aprendizagem: a memória de trabalho (St Clair-Thompson e Gathercole, 2006). Apesar de trabalharem com perspectivas diferentes, tais trabalhos supracitados direcionam para a importância da memória de trabalho (MT) quando necessário resolver problemas, ou analogias ou problemas literários.

Os trabalhos discutidos até aqui apresentam importantes contribuições para aprendizagem pois: (a) apresentam metodologias que levam em consideração o processo de aprendizagem e diferentes fatores que o influenciam (Siegler, 2007; Szucs e Goswami, 2007); (b) analisam principalmente a memória de trabalho, que é um fator chave na aprendizagem (St Clair-Thompson e Gathercole, 2006); (c) utilizam metodologias e análises estatísticas adequadas e bem estabelecidas, fatores imprescindíveis para a aplicação de tais conhecimentos no contexto educacional (Bowers, 2016); (d) apresentam conceitos semelhantes, mas com desenhos experimentais diferentes (p.ex. construção de frases, figuras, analogias), e por isso ampliam sua aplicabilidade educacional (Ferraz e Terrazan, 2001); e (e) por fim, utilizam diferentes fatores associados a aprendizagem, não só a memória, como a atenção, motivação, transferência de conhecimentos, entre outros, trazendo novas perspectivas que são importantes para formular hipóteses relevantes para o contexto da educação (Guerra, 2011; Varma et al., 2008).

Outro trabalho que apresenta conceitos de funções executivas relacionadas a aprendizagem, mas de forma diferente do que discutido anteriormente é o AR2, em que os autores trabalham com as interações entre inteligência fluída e o controle atencional e seus efeitos no potencial de aprendizagem, e não com a memória de trabalho de forma abrangente. O controle atencional também faz parte do núcleo das funções executivas e está envolvido com a capacidade de estar alerta, orientar e com a atenção executiva (Varma et al., 2008). Contudo, tanto o controle atencional quanto a inteligência fluída são funções que podem ser coordenadas por funções executivas de maiores ordens hierárquicas, como a memória de trabalho, dificultando a interpretação de resultados observados, visto que é complexo diferenciar dois fatores tão semelhantes em termos de funções neurológicas (IF e CA) por meio de diferenças comportamentais (Colom, Rebollo, Palacios, Juan-Espinosa e Kyllonen, 2004), como é o caso deste trabalho.

O resultado principal do AR2 é que a relação entre o potencial de aprendizagem (PA) e inteligência fluída são invariáveis em relação o nível de controle atencional. Assim, nessa pesquisa não houve relação significativa bivariada entre o controle atencional e o potencial de aprendizagem (Filičková et al., 2015). Independente se as informações encontradas foram produzidas por uma real falta de efeito ou por erros de medição (como atenuação da correlação por erro de variância), o possível efeito do controle atencional no potencial de aprendizagem pode ser totalmente mediado por funções de ordens mais altas como a memória de trabalho, como já foi demonstrado anteriormente (Ropovik, 2014). Os resultados indicam que as aplicações metodológicas utilizadas nesse tipo de pesquisa devem ser feitas de forma mais específica já que boa parte dos problemas dos trabalhos sobre neurociência educacional advém da falta de clareza e de análises adequadas (Bowers, 2016), como é o caso deste artigo.

Por fim, o AR1, apresenta-se como o único trabalho que analisa os efeitos da emoção na aprendizagem, neste caso por meio do feedback emocional, e não diretamente por meio de funções cognitivas, como apresentadas nos demais trabalhos. Este trabalho é importante pois a emoção influencia indiretamente a cognição e desta forma é um fator importante para compreender a aprendizagem (Tzeng, 2004). Vale salientar que AR1 é o único trabalho dentro todos apresentados que analisa a aprendizagem dentro de um contexto de aprendizagem eletrônica (uso de computadores) e não de forma tradicional.

Tais informações reforçam a importância da aprendizagem-e no contexto da aprendizagem, principalmente por meio da emoção (Tzeng, 2004). A motivação gerada por esse tipo de metodologia é uma possível ferramenta didática a ser utilizada para aumentar a motivação de estudantes no contexto educacional, já que pode ser feita em uma aula de informática (Turner e Patrick, 2004). As informações encontradas no AR1 indicam que as expressões faciais utilizadas neste estudo não foram adequadas para as crianças, por não serem familiares, reduzindo seu efeito. Já na condição auditiva, o estímulo foi feito a partir de vozes reais humanas o que pode ter apresentado um efeito estimulatório maior já que a voz se aproximava mais da realidade dos estudantes. Essas informações reforçam ainda mais o fato de que desenhos experimentais devem ser utilizados de forma ainda mais

adequados por tratar com tantos níveis de complexidade desde fatores teóricos até o fato de trabalharem com um público extremamente jovem (Bowers, 2016). Os resultados indicam que componentes multimídia podem permitir que designers criem dispositivos instrucionais ou material com feedback emocional de novas formas para transformar a aprendizagem em algo mais interessante e atraente para os estudantes (Tung, et al., 2003). Além de indicarem a importância de construir ambientes de aprendizagem dentro do contexto escolar, agindo como uma ferramenta útil e afetiva (Tzeng, 2004), quando utilizada a partir de uma metodologia bem delimitada (Bowers, 2016).

Desta forma, todos os artigos selecionados para este corpus da análise corroboram com as ideias propostas por Bruer (1997) que apontam sobre a necessidade de utilizar três áreas do conhecimento (a neurociência, educação e psicologia cognitiva) ao invés de apenas duas neurociência e educação). Essa necessidade ocorre, pois é a psicologia que provê as ferramentas necessárias para analisar sistemas cognitivos e estes sistemas são essenciais para conectar neurociência e educação (Szucs e Goswami, 2007).

Os trabalhos discutidos aqui (AR1 até AR6) são os primeiros passos tomados em relação a criação de novos desenhos experimentais voltados para educação, isto é, novas metodologias e análises específicas para o entendimento do processo de aprendizagem (Cunningham et al., 2018; Filičková et al., 2015; Resing, et al., 2016, 2017).

Como pode ser observado, a maioria dos trabalhos discutidos utilizam o teste dinâmico, em grande parte dos casos para analisar memória de trabalho, relacionada à atenção e motivação (AR3, AR4, AR5, AR6) enquanto alguns trabalhos examinaram questões como a emoção, inteligência fluida e apenas a performance de aprendizagem (AR1, AR2). Assim, essas pesquisas apontam para a diversidade de metodologias que possuem potencial de serem utilizadas dentro da neurociência educacional e seus possíveis benefícios quando bem aplicadas (Koch et al., 2013). Além disso, as pesquisas mostram a necessidade em entender processos específicos dentro da cognição, para que em conjunto com outros trabalhos, as informações se completem e se estabeleçam corretamente, se tornando dados possíveis de serem aplicados no contexto educacional, principalmente voltados a aprendizagem.

Por fim, também é essencial que exista uma via de mão dupla entre educadores e cientistas, compartilhando conhecimentos, analisando resultados e pesquisando em conjunto, para construir novos conhecimentos úteis para ambos os lados, e assim, permitindo a ampla divulgação dos dados em prol da educação e da sociedade, e não por interesses próprios (Bowers, 2016; Hruby, 2012; Varma et al., 2008).

Problemas relacionados

Os estudos sobre neurociência voltados para educação são baseados em pesquisas altamente complexas que necessitam de uma metodologia bem estruturada tanto em quesitos de aspectos neurológicos e aspectos educacionais como aprendizagem, resolução de tarefas e transferência de conhecimentos (Szucs e Goswami, 2007)

Por essa complexidade, esta é uma área passível de possuir algumas dificuldades a serem superadas, desde problemas experimentais até problemas de aplicação dentro do contexto educacional, causado por uma gama de fatores (Bowers, 2016) que serão discutidos a seguir a partir dos trabalhos apresentados no referencial teórico.

Problemas experimentais

De acordo com Varma e colaboradores (2008) a metodologia aplicada em estudos de neurociência não fornece respostas a importantes considerações educacionais para os educadores e assim não se tornam de uso prático dos mesmos. Outros vários não se adaptam aos métodos propostos para a aplicação no contexto do ensino-aprendizagem (Bowers, 2016). Assim, é necessário que desenhos experimentais, isto é, a metodologia por trás das pesquisas, sejam inovadores no sentido de permitir que neurocientistas pesquisem variáveis do interesse da educação (p.ex. contexto), e não só o da ciência (Varma et al., 2008).

Os trabalhos AR1 até AR6 utilizam metodologias que analisam as variáveis pelo viés comportamental, e não por testes de mapeamento cerebral. Esses tipos de experimentos são importantes, pois eles respondem a certas questões da neurociência educacional voltadas para o desenvolvimento mental a partir de resolução de tarefas, aproximando mais esse tipo de conhecimento do contexto escolar (Szucs e Goswami, 2007). Entretanto, para compreender de que forma o cérebro funciona e de que forma as pessoas aprendem, é necessário que haja uma série de trabalhos voltados não só para o comportamento (Goswami, 2004), mas sim pesquisas que analisam desde funções mentais (controle de atenção, funções executivas, memória de trabalho, entre outros) até implicações de contexto social (transferência de aprendizagem, motivação, resolução de analogias, entre outros) (Slavin, 2002).

Desta forma, tais trabalhos apresentam informações importantes, que em conjunto com outras pesquisas (não apenas comportamentais) podem dar suporte para criação de novas metodologias que tenham capacidade de ficarem adaptadas para o contexto educacional e não só científico (Szucs e Goswami, 2007). Assim, entender os problemas experimentais pode permitir novas visualizações acerca da neurociência educacional e apontar para possíveis melhorias que podem ser feitas em futuros trabalhos que utilizam metodologias semelhantes.

No AR1 há a falta de um grupo controle negativo que não tivesse acesso nem ao feedback auditivo, nem ao visual, para analisar se tais benefícios apontados pelo autor realmente são causados pelo feedback em específico ou não por outro fator. Além disso, as mesmas atividades deveriam ter sido aplicadas a outros grupos de estudantes sem ser no contexto de ambiente de aprendizagem remota. O trabalho como foi desenvolvido, não permite inferir se o ambiente de aprendizagem-e pode gerar efeitos positivos em relação a métodos convencionais de resolução de exercícios. Desta forma, existe um problema experimental que dificulta a compreensão desses dados para a aplicação educacional (Bowers, 2016; Varma et al., 2008).

O AR2, investigou se o controle atencional iria moderar o esperado efeito positivo da inteligência fluída no potencial de aprendizagem em crianças de

nove anos. Neste caso, não foi encontrado nenhuma relação significativa nas três variáveis (inteligência fluída, potencial de aprendizagem e controle de atenção), ao contrário do esperado. Tal resultado pode ser explicado por ter sido produzido a partir de problemas de medição das variáveis (Bowers, 2016), como atenuação da correlação por erro na variância. Ou pelo fato de que o potencial de aprendizagem pode ser mediado por outras funções cerebrais, como a memória de trabalho, e não pelo CA, principalmente nessa idade (Ropovik, 2014).

Essa segunda explicação condiz com o fato de que crianças, até aproximadamente nove anos, possuem suas funções executivas organizadas de forma unitária, referindo a um construto único (Brydges et al., 2012). Já nas crianças mais velhas, adolescentes e adultos observa-se que as funções executivas se organizam em funções mais específicas, distintas umas das outras (Ropovik, 2014). No caso dessa pesquisa, a variável inteligência fluída é altamente correlacionada com a memória de trabalho por conta da idade dos participantes, dificultando a diferenciação entre inteligência fluída e controle atencional, já que o controle de atenção também faz parte da memória de trabalho (Colom, et al., 2004). Desta forma, a metodologia do AR2 necessitaria diferenciar de forma mais bem definida a inteligência fluída do controle atencional, por serem dois componentes cognitivos com funções semelhantes (Brydges, et al., 2012), para que assim pudessem analisar o efeito de cada um de forma correta.

Além disso, o trabalho não descreve de forma clara a metodologia e utiliza nomenclaturas complexas, dificultando a compreensão para quem desconhece sobre neurociência (Koch et al., 2013), semelhantemente aos resultados encontrados no AR1. O AR1 e o AR2 reforçam a importância em aproximar a neurociência da educação, visto que a escrita desse tipo de trabalho muitas vezes dificulta que profissionais da educação tenham acesso útil a esses tipos de conhecimentos (Bowers, 2016; Hruby, 2012).

Além disso, as estratégias pedagógicas utilizadas por professores no ensino-aprendizagem são pautadas em estímulos que promovem mudanças nos circuitos neuronais dos indivíduos, permitindo que haja mudanças comportamentais (Guerra, 2011). As metodologias empregadas pelos educadores são, muitas vezes, realizadas por meio de mecanismos relacionados à neurociência cognitiva, porém muitos professores não percebem que estão utilizando esse tipo de conhecimento por não terem acesso às bases científicas. Por isso é essencial que pesquisadores que trabalhem com neurociência educacional levem essas informações para a educação, permitindo que os dados obtidos possam ser utilizados como ferramentas pedagógicas (Guerra, 2011) como também, os professores deveriam ser escutados sobre a realidade de cada sala de aula.

Já o AR3 e AR4 trabalham com a aplicação de intervenções educacionais voltadas para melhoria de aprendizagem. No primeiro caso por meio de atividades literárias, e no segundo, por meio jogos com figuras geométricas (Turk, et al., 2015; Cunningham, et al., 2018). Apesar de terem encontrado resultados positivos em ambas as pesquisas, os autores discutem sobre um problema em comum: a falta de compreensão sobre quais os efeitos da aplicação de tais atividades ao longo do tempo na aprendizagem.

Mais trabalhos são necessários para compreender quais são os benefícios a longo prazo causados pelo referenciamento a si próprio, e não só por um período relativamente curto de retenção de conhecimento (Turk, et al., 2008), como no caso de ambos os trabalhos. Outros trabalhos apresentam que diferentes formas de codificação de materiais para intervenções educacionais, de forma não-usual, podem possuir efeito ao longo do tempo na aprendizagem, apesar de não existir nenhum artigo voltado especificamente para o autorreferenciamento. Essas informações condizem com o fato de que muitos trabalhos de neurociência não levam em consideração que a aprendizagem é um processo contínuo e por isso deve ser analisado por períodos mais longos (Koch et al., 2013), principalmente na infância (Brydges et al., 2012).

Por fim, o AR5 e o AR6 formam um outro grupo de trabalhos que possuem problemas metodológicos em comum. Ambos aplicaram um teste dinâmico, então em cada experimento ocorreu pelo menos uma fase de treinamento em um dos grupos experimentais (Resing, et al., 2015). Contudo, nos dois trabalhos os autores perceberam que o treinamento poderia ter contribuído de forma mais eficaz se ele tivesse sido aplicado de outra forma (p.ex. com incentivos diferentes) ou por um período mais longo de tempo (Koch et al., 2013).

Os problemas encontrados em ambos os artigos, apontam para duas possíveis soluções futuras quando pesquisando este tema: (a) o treinamento deve ser aplicado de forma mais extensiva, ou seja, ou adicionando mais itens ("prompts") a serem aprendidos ou aumentando o número de sessões de treinamento ou (b) talvez seja necessário que crianças, principalmente as mais jovens, precisem de instruções e feedback mais bem construídos e claros (Resing, et al., 2015) do que os apresentados em AR5 e AR6.

A partir das informações encontradas no AR5 e AR6, pode-se afirmar que em conjunto com os trabalhos AR3 e AR4, os quatro artigos possuem um problema em adaptar o contexto temporal da sala de aula para os estudos (Varma et al., 2008). Assim não possuem a capacidade de analisar os efeitos ao longo do tempo nem do treinamento (AR5 e AR6), nem dos efeitos das intervenções neuroeducativas (AR3 e AR5), dificultando a aproximação dos conhecimentos observados no contexto educacional (Bowers 2016; Szucs e Goswami, 2007).

Problemas de aplicação no contexto educacional

Grande parte dos obstáculos encontrados nas pesquisas sobre neurociência educacional estão vinculados à falta de aplicação desses resultados no contexto de ensino-aprendizagem (Bowers, 2016). Se neurocientistas respondessem a perguntas feitas por pesquisadores da educação e/ou educadores, talvez fosse possível que a educação conseguisse realmente se beneficiar destes conhecimentos para que assim, pudessem criar estratégias de ensino que ajudariam no processo de performance e de aprendizagem de alunos (Koch et al., 2013).

Nesta última etapa da Análise Textual Discursiva, foram debatidos os problemas na aplicabilidade dos dados obtidos no contexto da educação. Em relação ao AR1, o grande problema observado está relacionado com o fato

de que este é um trabalho que requer a necessidade da existência de uma sala de informática e de algum método para o próprio professor poder criar feedback viso-espaciais. No Brasil, os dados do CETIC Educação (2018) apontam que apesar de 96% das escolas públicas urbanas possuírem computadores com acesso a internet, apenas 60% das escolas possuem laboratório de informática e da totalidade de escolas, apenas 44% utilizam estes laboratórios.

Desta forma, atividades que necessitem tanto de computadores, quanto da criação de vozes e/ou de figuras dinâmicas, como no caso do AR1, talvez não sejam intervenções tão práticas de serem utilizadas em sala de aula. Este fato condiz com o fato de que certos trabalhos não consideram o viés econômico por trás da preposição das atividades neuroeducacionais (Varma et al., 2008). Corroborando com esta problemática Ansari (2011) reforça a necessidade de criar metodologias a partir da necessidade dos próprios educadores, e não de interesse único dos cientistas.

Por conta dos resultados encontrados no AR2 terem sido negativos, como discutido na subcategoria acima, a relevância educacional do trabalho foi apontar para a necessidade de delimitar as variáveis a serem analisadas de acordo com a idade dos participantes. Do ponto de vista educacional, tal artigo não provê informações significativas para educadores por não possuir metodologias bem descritas e nem palavras adequadas para o público não cientistas (Koch et al., 2013).

O AR3, AR4, AR5 e AR6 são trabalhos com metodologias bem definidas no geral, que levantam argumentos relevantes tanto para educação quanto para neurociência e que utilizam atividades neuroeducacionais que podem afetar positivamente a aprendizagem, principalmente por meio do aumento da atenção e motivação, envolvidas com a memória de trabalho. Isto é, se adequam a várias questões discutidas nesta pesquisa a partir da análise do material bibliográfico acerca do tema (Bowers, 2016; Hruby, 2012; Koch et al., 2013; Szucs e Goswami, 2007; Varma et al., 2008).

Entretanto, os quatro artigos apresentam problemas semelhantes entre si na aplicação de seus dados no contexto educacional. De forma geral, todos eles utilizam palavras e termos que não são conhecidos por educadores, e que muitas vezes necessitam de uma compreensão mais complexa, apontando para a falta de interdisciplinaridade no processo de construção da pesquisa, em que se necessita de um pesquisador de educação ou um educador, para que o trabalho funcione no contexto da (Varma et al., 2008).

Outro problema nítido em todos os quatro trabalhos é que por serem atividades aplicadas em várias sessões, é necessário que o educador necessite de várias aulas para poder aplicar tais intervenções, corroborando com a análise de Bowers (2016) em que o autor constantemente aponta sobre a falta de contextualização dos trabalhos para o viés da educação.

De forma geral, o autor supracitado defende que os estudos de neurociência cognitiva não apresentam a capacidade de apresentar informações relevantes para a aplicação desses dados no âmbito educacional (Bowers, 2016). Na presente pesquisa foram apresentados trabalhos que analisam o comportamento os alunos durante o processo de

aprendizagem e não análises voltadas a medições cerebrais (Cunningham, et al., 2018; Tung, 2013). Assim, por serem artigos publicados a partir uma interface da neurociência cognitiva voltada para a psicologia cognitiva, estes possuem poucas chances de serem utilizados como ferramentas pedagógicas no futuro (Bowers, 2016). Contudo, apesar das informações encontradas nesta pesquisa corroborarem com certas afirmações do Bowers (2016), o autor deste trabalho crê que se os estudos de neurociência cognitiva forem feitos de forma multidisciplinar, em colaboração com a psicologia e pedagogia, é possível algum dia a neurociência cognitiva seja útil para a prática educacional.

Deste modo, é necessário que mais pesquisas sobre neurociência educacional adaptem seus problemas de pesquisa para as necessidades do professor, para que assim, possam prover as ferramentas necessárias para a aplicação desses conhecimentos (Szucs e Goswami, 2007). Por isso, trabalhos de neurociência educacional devem ser feitos em conjunto com educadores, para que estes possam participar da pesquisa e poder dar feedback acerca das metodologias empregadas nos estudos para que a educação possa usufruir desses conhecimentos de forma aplicável em sala de aula (Slavin, 2002).

O último problema encontrado está vinculado ao fato de que o AR3, AR4, AR5 e AR6 são todos trabalhos desenvolvidos por meio de experimentos administrados individualmente. Apesar das análises individuais serem essenciais para compreender de que forma ocorre o processo de aprendizagem (Szucs e Goswami, 2007), é difícil imaginar como um professor poderia aplicar tais metodologias para todas suas turmas, já que são atividades que requerem um período relativamente longo de tempo (Bowers, 2016). Mais trabalhos devem levar em conta que no contexto educacional, o professor tem que trabalhar com muitas turmas e por isso devem ser pensadas intervenções educativas que sejam mais práticas de serem utilizadas (Hruby, 2012).

Como discutido anteriormente, todos os trabalhos apresentandos nesta pesquisa possuem informações relevantes para a neurociência educacional e possivelmente para o ensino-aprendizagem. Apesar das informações encontradas serem relevantes de um ponto de vista experimental, não há relações definidas em como aplicar tais resultados em um contexto escolar (Varma et al., 2008) e nem a presença de educadores como colaboradores nos artigos (Szucs e Goswami, 2007), confirmando que ainda é extremamente necessário que cientistas tentem aproximar ainda mais suas questões, seus desenhos experimentais e seus resultados a realidade do educador (Bowers, 2016; Hruby, 2012).

Conclusões

Ao analisar trabalhos sobre neurociência educacional voltados a intervenções educacionais, publicados nos últimos seis anos, observa-se que eles apresentam informações relevantes principalmente para educadores que buscam utilizar conhecimentos da neurociência na sua prática educacional e para outros pesquisadores que também trabalhem nessa área. Além da análise sobre os dados obtidos nos artigos é de suma importância compreender de que formas tais conhecimentos podem ser

aplicados no contexto de sala de aula, visto que muitos trabalhos científicos de neurociência educacional propõem metodologias que se distanciam das reais necessidades dos educadores.

Assim, levando em consideração os objetivos propostos no começo desta pesquisa, os trabalhos AR1-AR6 respondem às duas indagações centrais. Os trabalhos apresentam informações relevantes e, na maioria dos casos, bem elaboradas sobre o processo de aprendizagem. Contudo, nenhum trabalho propõe uma possível adaptação da sua metodologia para o contexto educacional. Além disso, esses trabalhos utilizam termos e métodos não usuais para muitos educadores, dificultando a comunicação entre os profissionais das duas áreas. Alguns artigos sugerem possíveis intervenções educacionais que parecem promissoras, entretanto é nítido que são necessárias mais pesquisas sobre este tema para entender realmente os limites do uso de tais atividades e de como usá-las em sala de aula.

Apesar dos trabalhos não exibirem relações diretas com o contexto educacional, são apresentadas possíveis metodologias que podem ser adaptadas para dentro de sala no futuro, pois demonstraram ser eficazes na memória de trabalho, controle de atenção, transferência de conhecimento, raciocínio analógico, motivação e na aprendizagem como um todo. Isto indica que os trabalhos de neurociência cognitiva voltadas para educação são relevantes para o entendimento sobre o processo de aprendizagem, mas não contribuem diretamente em possibilitar a aplicação desses conhecimentos no contexto educacional, e por isto, não indicam de que forma tais informações científicas de NE podem ser adaptadas para serem aplicadas em sala de aula.

Em relação aos problemas vinculados às pesquisas de neurociência educacional, observou-se que existem problemas semelhantes entre todos os trabalhos, vinculados à problemas experimentais, como falta de clareza na metodologia, uso de termos de difícil compreensão para os docentes. Ainda, não há a presença de educadores ou pesquisadores de educação na elaboração dessas pesquisas e também vinculados à problemas de falta de aplicabilidade no contexto educacional, visto que os artigos apresentados não aproximam seus objetivos de pesquisa dos objetivos dos educadores, dificultando a aplicação desses conhecimentos no âmbito escolar.

Deste modo, esta pesquisa indica que novos passos estão sendo tomados em direção a unir áreas consideradas distantes, e que ainda são necessários muitos avanços neste campo de conhecimento, principalmente em relação a união entre cientistas, pesquisadores da educação e educadores nas pesquisas de neurociência educacional, para que estes conhecimentos sejam realmente utilizáveis no contexto da aprendizagem. Assim, a partir das análises apresentadas neste trabalho, sugere-se aos cientistas de futuras pesquisas sobre neurociência educacional que convidem educadores e pesquisadores da área de educação para acompanhá-los desde a formulação dos problemas de pesquisa até a análise dos resultados, para que assim os dados obtidos nestes trabalhos possam ser úteis tanto para neurocientistas quanto para educadores.

Referencias bibliográficas

- Ansari, D. (2011). Neuroeducation - A Critical Overview of an Emerging Field. *Neuroethics*, 5(2), 105-107. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>
- Bowers, J. S. (2016). The Practical and Principled Problems With Educational Neuroscience. *Psychological Review*, 1-13. <https://doi.org/10.1037/rev0000025>
- Brydges, C. R., Reid, C. L., Fox, A. M., & Anderson, M. (2012). A unitary executive function predicts intelligence in children. *Intelligence*, 40(5), 458-469. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.05.006>
- Bruer, J. T. (1997). Education and the Brain: A Bridge Too Far. *Educational Researcher*, 26(8), 4-16. <https://doi.org/10.3102/0013189X026008004>
- CETIC Educação (2 de outubro de 2018). Portal de dados. Recuperado de http://data.cetic.br/cetic/explore?idPesquisa=TIC_EDU
- Colom, R., Rebollo, I., Palacios A., Juan-Espinosa, M., e Kyllonen, P. C. (2004). Working memory is (almost) perfectly directed by g. *Intelligence*, 32, 277-296. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2003.12.002>
- Cunningham, S. J., Scott, L., Hutchison, J., Ross, J., e Martin, D. (2018). Applying Self-Processing Biases in Education: Improving Learning Through Ownership. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7, 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2018.04.004>
- Ferraz, D., e Terrazzan, E. A. (2001). O uso de analogias como recurso didático por professores de biologia no Ensino Médio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1. <https://doi.org/10.13140/2.1.1181.1528>
- Filičková, M., Ropovik, I., Bobaková, M., e Kovalčíková, I. (2015). The relationship between fluid intelligence and learning potential: Is there an interaction with attentional control? *Journal of Pedagogy*, 6(1), 25-41. <https://doi.org/10/1515/jped-2015-0002>
- Flanagan, D. P., e Ortiz, S. O. (2001). *Essentials of cross-battery assessment*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar um projeto de pesquisa*. São Paulo: Editora Atlas.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 1-14. <https://doi.org/10.1348/000709904322848798>
- Guerra, L. B. (2011). O diálogo entre a neurociência e a educação: da euforia aos desafios e possibilidades. *Revista Interlocução*, 4, 3-12.
- Haglund, J., e Jeppsson, F. (2012). Using Self-Generated Analogies in Teaching of Thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-24. <https://doi.org/10.1002/tea.21025>
- Harpaz-Itay, Y., Kaniel, S., e Ben-Amram, E. (2006). Analogy construction versus analogy solution, and their influence on transfer.

Learning and Instruction, 16, 583-591.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.10.007>

Howard-Jones, P. A. (2014). *Neuroscience and Education: A Review of Educational Interventions and Approaches Informed by Neuroscience*. Millbank, United Kingdom: The Education Endowment Foundation.

Hruby, G. G. (2012). Three requirements for justifying educational neuroscience. *British Journal of Educational Psychology*, 82, 1-23.
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.2012.02068.x>

Humphreys, G. W., e Sui, J. (2016). Attentional control and the self: the Self-Attention Network (SAN). *Cognitive neuroscience*, 7, 5-17.
<https://doi.org/10.1080/17588928.2015.1044427>

Koch, K. R., Timmerman, L., Peiffer, A. M., e Laurienti, P. J. (2013). Convergence of two independent roads leads to collaboration between education and neuroscience. *Psychology in the Schools*, 50, 577-588.
<https://doi.org/10.1002/pits.21692>

Milner, B., Squire, L. R., e Kandel, E. R. (1998). Cognitive Neuroscience and the Study of Memory. *Neuron*, 20(3), 445-468.
[https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80987-3](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80987-3)

Moraes, R. (2003). Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação* (Bauru), 9(2), 191-211.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132003000200004>

Oliveira, M. K. (1992). O problema da afetividade em Vygotsky. Em Y. La Taille, M. K. Dantas (Orgs.), *Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão* (pp. 75-84). São Paulo: Summus.

Reeve, J. (2013). How Students Create Motivationally Supportive Learning Environments for Themselves: The Concept of Agentic Engagement. *Journal of Educational Psychology*, 105, 579-595.
<https://doi.org/10.1037/a0032690>

Resing, W. C., Bakker, M., Pronk, C. M., e Elliott, J. G. (2016). Dynamic testing and transfer: An examination of children's problem-solving strategies. *Learning and Individual Differences*, 49, 110-119.
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.05.011>

Resing, W. C., Bakker, M., Pronk, C. M., e Elliot, J. G. (2017). Progression paths in children's problem solving: The influence of dynamic testing, initial variability and working memory. *Journal of Child Psychology*, 153, 83-109. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.09.004>

Resing, W. C., Tuntaker, E., e Elliot, J. G. (2015). The Effect of Dynamic Testing with Electronic Prompts and Scaffolds on Children's Inductive Reasoning: A Microgenetic Study. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 14, 231-251. <https://doi.org/10.1891/1945-8959.14.2.231>

Ribeiro, F. (2011). Motivação e aprendizagem em contexto escolar. *Profforma*, 1-5.

Ropovik, I. (2014). Do executive functions predict the ability to learn problem-solving principles? *Intelligence*, 44, 64-74.
<https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.03.002>

Sadoski, M. (2001). Resolving the effects of concreteness of interest, comprehension and learning important ideas from text. *Educational Psychology Review*, 13, 263-281. <https://doi.org/10.1023/A:1016675822931>

Siegler, R. S. (2007). Cognitive variability. *Developmental Science*, 10, 104-109. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00571.x>

Slavin, R. E. (2002). Evidence-Based Education Policies: Transforming Educational Practice and Research. *Educational Researcher*, 31, 15-21. <https://doi.org/10.3102/0013189X031007015>

Squire, L., Berg, D., Bloom, F., Lac, S. d., Ghosh, A., e Spitzer, N. (2008). *Fundamental Neuroscience*. Canada: Academic Press Elsevier.

St Clair-Thompson, H. L., e Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 745-759. <https://doi.org/10.1080/17470210500162854>

Szucs, D., e Goswami, U. (2007). Educational Neuroscience: Defining a New Discipline for the Study of Mental Representations. *Mind, Brain and Education*, 1(3), 114-127. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00012.x>

Tung, F. W. (2013). Effects of emotional feedback on children, using different modalities. *Interactive Learning Environments*, 31, 3-17. <https://doi.org/10.1080/10494820.2010.542758>

Turk, D. J., Cunningham, S. J., e Macrae, C. N. (2008). Self-memory biases in explicit and incidental encoding of trait adjectives. *Consciousness and Cognition*, 17, 1040-1045. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.02.004>

Turk, D. J., Gillespie-Smith, K., Krigolson, O. E., Havard, C., Conway, M. A., e Cunningham, S. J. (2015). Selfish learning: The impact of self-referential encoding on children's literacy attainment. *Learning and Instruction*, 40, 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.08.001>

Turner, J. C., e Patrick, H. (2004). Motivational Influences on Student Participation in Classroom Learning Activities. *Teachers College Record*, 106, 1759-1785. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2004.00404.x>

Tzeng, J. T. (2004). Toward a more civilized design: studying the effects of computers that apologize. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61, 319-345. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2004.01.002>

Varma, S., McCandliss, B. D., e Schwartz, D. L. (2008). Scientific and Pragmatic Challenges for Bridging Education and Neuroscience. *Educational Researcher*, 37(4), 140-152. <https://doi.org/10.3102/0013189X08317687>

Vygostky, L. (1998). *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Livraria Martins Fontes.

Anexo 1.- Artigos selecionados a partir das etapas de seleção ordenados cronologicamente por meio da data de publicação. AR = código para "artigo" / EF = código para "ensino fundamental" / GC = código para "grupo controle".

CÓD.	AUTORES	TITULO	ANO	FOCO	TIPO ENSINO	CAMPO ACADÊMICO	GC
AR1	Tung, F. W.	Effects of emotional <i>feedback</i> on children, using different modalities	2013	Aprendizagem	EF (11 anos)	Educação	N
AR2	Filickova <i>et al.</i>	The relationship between fluid intelligence and learning potential: Is there an interaction with attentional control?	2015	Aprendizagem	EF (9-10 anos)	Psicologia Cognitiva	S
AR3	Turk <i>et al.</i>	Selfish learning: The impact of self-referential encoding on children's literacy attainment	2015	Aprendizagem	EF (7-9 anos)	Literatura	S
AR4	Resing <i>et al.</i>	Dynamic testing and transfer: An examination of children's problem-solving strategies.	2016	Aprendizagem	EF (7-8 anos)	Língua	S
AR5	Resing <i>et al.</i>	Progression paths in children's problem solving: The influence of dynamic testing, initial variability and working memory	2017	Aprendizagem	EF (7-9 anos)	Pedagogia	S
AR6	Cunningham <i>et al.</i>	Applying Self-Processing Biases in Education: Improving Learning Through Ownership	2018	Aprendizagem	EF (7-9 anos)	Educação	S

Anexo 2.- Resumo individual de cada artigo a partir das ATDs dentro das categorias e subcategorias apresentadas no trabalho. AR = código para "artigo" / IF = código para "inteligencia fluída" / CA = código para "controle atencional" / MT = código para "memória de trabalho".

CÓD.	ASPECTOS DE APRENDIZAGEM	PROBLEMAS EXPERIMENTAIS	PROBLEMAS DE APLICAÇÃO NO CONTEXTO EDUCACIONAL
AR1	Feedback emocional na aprendizagem eletrônica	Falta de pelo menos dois grupos controle negativos para validação dos dados encontrados	Falta de contextualização socioeconômica e de informações bem descritas para aplicabilidade escolar
AR2	Efeito da relação entre IF e CA no potencial de aprendizagem	Problemas de medição das variáveis e falta de descrição metodológica	Metodologia não bem descrita e uso constante de palavras de difícil uso no âmbito escolar
AR3	Codificação por meio de autorreferenciamento e/ou posse	É necessário verificar quais efeitos das atividades propostas à longo prazo para contextualização dos resultados encontrados	Atividades extensas de mais para serem utilizadas por educadores, uso de termos de difícil compreensão, falta de interdisciplinaridade, entre outros
AR4	Transferência de aprendizagem na resolução de tarefas de analogia	É necessário verificar quais efeitos das atividades propostas à longo prazo para contextualização dos resultados encontrados	Atividades extensas de mais para serem utilizadas por educadores, uso de termos de difícil compreensão, falta de interdisciplinaridade, entre outros
AR5	Variabilidade inicial e MT na resolução de tarefas	Pouco tempo de treinamento, falta de variáveis de incentivo e falta de instruções mais claras para as crianças	Atividades extensas de mais para serem utilizadas por educadores, uso de termos de difícil compreensão, falta de interdisciplinaridade, entre outros
AR6	Tendências de autoprocessamento por meio da posse	Pouco tempo de treinamento, falta de variáveis de incentivo e falta de instruções mais claras para as crianças	Atividades extensas de mais para serem utilizadas por educadores, uso de termos de difícil compreensão, falta de interdisciplinaridade, entre outros