

Artigo de Revisão de Literatura

O processo de aprendizagem motora e a neuroplasticidade

The motor learning process and the neuroplasticity

Margarida Florindo^{1*}, Ricardo Pedro¹

¹ Escola Superior de Saúde da Cruz Vermelha Portuguesa

Conceitos recentes de neuroplasticidade e aprendizagem motora sugerem o estímulo de experiências sensoriomotoras e perceptuais, como mecanismos responsáveis pela constante reorganização estrutural e funcional do Sistema Nervoso Humano. Distintas áreas de representação cortical e de associação podem ser influenciadas pelo input sensorial, demonstrando a vulnerabilidade e capacidade de adaptação do sistema à informação que constantemente recebe.

O objetivo desta pesquisa foi o de realizar uma revisão da literatura sobre os mecanismos de aprendizagem e memória, subjacentes ao comportamento motor normal do adulto humano. A bibliografia para esta revisão foi recolhida nas Bases de dados da PubMed, Web of Science e PMC, entre Janeiro e Abril de 2014, cruzando as palavras-chave: motor learning, cognitive learning, neuroplasticity, physiotherapy and memory. Foram recolhidos 1663 artigos, dos quais foram integrados no estudo 34. Após a leitura dos artigos, foram identificados os temas de maior relevância de acordo com o objetivo estabelecido. Os paradigmas de aprendizagem motora e memória requerem uma reorganização do Sistema Nervoso, com grande dependência da repetida exposição do indivíduo ao estímulo sensoriomotor, em tarefas funcionais do dia-a-dia.

Recent concepts of neuroplasticity and motor learning suggest the stimulation of perceptual and motorsensory experiences as the main mechanism for the constant structural and functional reorganization of the Human Nervous System. Distinct areas of cortical representation as well as association areas may be influenced by sensory input, demonstrating the vulnerability and adaptability of the system for the information that constantly receives.

The purpose of this study is to review the learning and memory mechanisms, underlying normal adult human motor behavior. To achieve this purpose, we conducted a literature review in PubMed, Medline, Web of Science and PMC databases, using the key-words: motor learning, cognitive learning, neuroplasticity; physiotherapy; memory. One

thousand, six hundred sixty-three articles were collected and 34 studies were selected for the study. The main aspects that should be considered, besides the natural motor differences between individuals, the paradigms of motor learning and memory, require a reorganization of the nervous system and a large variability and repetition of motorsensory information exposure.

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizagem motora; aprendizagem cognitiva; neuroplasticidade; fisioterapia; memória.

KEY WORDS: Motor learning; cognitive learning; neuroplasticity; physiotherapy; memory.

Submetido em 21 maio 2014; Aceite em 8 julho 2014; Publicado em 31 julho 2014.

* **Correspondência:** Margarida Florindo **Email:** mflorindo@esscvp.eu

INTRODUÇÃO

A aprendizagem motora é descrita como um conjunto de processos dinâmicos, associados à experiência e prática motoras, que permitem a aquisição e modificação, mais ou menos permanente, das capacidades do indivíduo para realizar determinada ação ou tarefa¹. A Fisioterapia pode ser vista como um processo de aprendizagem desafiador, não só de padrões de movimento normais como também de um conjunto de comportamentos sociais e cognitivos, com significado para o indivíduo.

Várias teorias têm sido desenvolvidas nos últimos anos para o entendimento dos mecanismos que maximizam a aprendizagem de competências motoras. Tanto quanto se sabe, está relacionada com o dinamismo das alterações neuronais que ocorrem no sistema nervoso^{2,3}, mas que estão dependentes de um conjunto de estímulos sensoriomotores intrínsecos e extrínsecos.

Dos fatores limitativos da aquisição de novas competências funcionais, referimos o déficit cognitivo, a falta de motivação e de atenção para o estímulo, dificuldades de memória, a fadiga e problemas de compreensão e verbalização⁴⁻⁹. A possibilidade de identificar estes fatores, pode

facilitar a aprendizagem de padrões de movimento mais adequados, em diferentes contextos ambientais.

Este estudo pretende rever os mecanismos de aprendizagem e memória subjacentes ao comportamento motor normal do adulto humano. O conhecimento destes mecanismos durante a intervenção em Fisioterapia, pode contribuir para a orientação do tipo de estímulo utilizado, facilitando a capacidade do indivíduo adquirir novos *skills* e resolver problemas motores do dia-a-dia.

METODOLOGIA

De acordo com o objetivo do estudo, a bibliografia foi recolhida nas bases de dados PubMed, Medline, Web of Science, entre Janeiro e Abril de 2014, cruzando as palavras-chave: *motor learning; cognitive learning; neuroplasticity; physiotherapy; memory*. Foram reunidos 1663 artigos, selecionados 107 estudos com diferentes metodologias e, após a leitura destes, foram integrados 34 trabalhos nas referências deste estudo. Após a leitura e análise dos artigos, foram identificados os subtemas para a estruturação da revisão.

A APRENDIZAGEM E O SISTEMA NERVOSO

Num contexto funcional, diferentes regiões do Sistema Nervoso estão identificadas como responsáveis pela aquisição de competências físicas, cognitivas, psicológicas e vocacionais⁴.

O processamento de informação e a memória óculo-espacial parecem ser fatores influenciadores do comportamento humano⁹⁻¹², no apoio de qualquer tarefa que requer a capacidade de associação entre um estímulo e a ação voluntária. O armazenamento de informação permite relacionar factos e entendê-los através da associação de significados. Do conjunto destes mecanismos emerge uma melhor capacidade para resolver problemas perante uma situação desconhecida ou na exposição a situações semelhantes^{10,13}.

O desenvolvimento e maturação do cérebro ocorrem sobretudo durante a infância e adolescência, de forma consistente em diferentes regiões cerebrais, mas não simultaneamente. É necessário que estejam desenvolvidas as áreas primárias sensoriomotoras, para que se complete o desenvolvimento das áreas de associação. Áreas de associação do Sistema Nervoso Central, como a pré-frontal (atenção e comportamento orientado ao objetivo), a parietotemporal (integração sensorial, a resolução de problemas, compreensão da linguagem e relação de espaços), a límbica (emoções, motivação e processos de memória) e o núcleo estriado (núcleo dos gânglios da base mais envolvido durante um processo de aprendizagem), estão envolvidas em capacidades complexas de aquisição de conhecimentos, moldando a personalidade, permitindo a interpretação e integração sensorial, facilitando processos de memória e consolidando padrões motores^{11,12,14,15}.

A constante comunicação entre estas áreas permite a aprendizagem de tarefas complexas, implicando a utilização de vários processos perceptuais e envolvendo áreas cerebrais de maior volume. Este facto reforça a importância dos mecanismos de feedback bidirecionais entre as regiões pré-frontais, somatosensoriais, feixes descendentes, e região límbica. Estas associações são fundamentais para o

controlo postural, para o controlo seletivo e padrão de execução do movimento¹⁵.

Relativamente ao volume de cada área do cérebro, este pode ser influenciado pela quantidade de experiências diferentes, permitindo ao próprio indivíduo analisar a *performance* em funções, mais ou menos complexas, da sua aprendizagem. A plasticidade de outras áreas do Sistema Nervoso, como o cerebelo e o hipocampo, permite a aprendizagem e a memória de novas experiências, sendo importante o uso sistemático de tarefas diárias relevantes, durante as quais, várias informações são retiradas, nomeadamente, o sucesso da actividade ou a identificação do erro^{8,16,17}.

A memória de reconhecimento de um objeto ou situação, está dependente do confronto que o indivíduo faz entre a informação antiga e a nova, associando a ativação das regiões do córtex pré-frontal e parietal. Vários autores ao investigarem as regiões corticais ativas, durante a aprendizagem de uma tarefa realizada com e sem erro, concluíram que, a atividade sem erro é de mais fácil aprendizagem^{1,12-14}.

A aprendizagem cognitiva e a aprendizagem motora

A aprendizagem é o processo através do qual ganhamos conhecimentos sobre o mundo, enquanto a memória é um fator e concomitantemente um produto desse processo de aprendizagem, com forte relação entre níveis de actividade física e a função cognitiva no Ser Humano^{6,17}.

Quer a aprendizagem, quer a memória processam-se em praticamente todas as regiões do Sistema Nervoso, envolvendo circuitos simples ou mais complexos. Consiste numa quantidade de mudanças nas conexões sinápticas ao longo da cadeia neuronal, determinadas por fatores genéticos e ambientais.

Os eventos ambientais produzem sensações que contextualizam a ação (sistemas sensoriais), desenvolvem agentes que permitem a sua execução (sistema neuromusculoesquelético) e a possibilidade de alcançar o objetivo (sistema neuromotor). Existe

um momento inicial de reconhecimento da ação através do controlo visual e também auditivo, que permitem em determinadas circunstâncias, sintonizar o movimento com o ritmo ou tempo exato. Esta ferramenta justifica a integração multi-sensorial na realização de um movimento controlado e adaptado, após o indivíduo conhecer a actividade num ambiente específico. Problemas na ordem prioritária do controlo do movimento, podem afetar diretamente a eficácia e a *performance* na contextualização ambiental do mesmo^{18,19,20}. Outro aspeto interessante da aprendizagem, é a forte aquisição durante a fase inicial na exposição a um novo ambiente (estímulo), em que a concentração e o envolvimento cognitivo do sujeito atingem os níveis mais elevados⁷. A explicação para este facto poderá ser o confronto de diferentes informações novas e de memória, para um conhecimento da situação, em que o sistema procura determinar se a situação é inovadora, é uma experiência importante ou de possível nocividade. Quando dois neurónios são estimulados em simultâneo (em associação), ocorre uma modificação sináptica por sintetização de proteínas nesses dois neurónios. O facto de determinadas células (como o que ocorre nas células de Purkinje) estarem constantemente a receber informações sobre o movimento que decorre, permite um contacto sináptico com as células que as informam, fortalecendo ou enfraquecendo as suas conexões^{1,14,18}.

A representação interna da postura do corpo pode ser considerada como um mecanismo para a resolução de problemas sensoriais, através de um modelo dinâmico de controlo antecipatório da postura durante o movimento. A presença constante dos sistemas de atenção, sistema sensorial e sistema motor parece ser fundamental para o processo de aprendizagem e memória, permitindo ao indivíduo envolver-se ativamente, numa interação constante entre as suas capacidades e limitações, o ambiente e a continuidade e complexidade da tarefa que está a realizar²¹.

O efeito das experiências motoras e do exercício físico sobre as funções cognitivas do ser humano tem vindo a ser estudado com resultados benéficos

significativos. Num estudo experimental de controlo, em indivíduos com demência, os resultados demonstraram uma melhoria nas atividades funcionais da vida diária, na função cardiorrespiratória, *endurance* e força muscular, flexibilidade e equilíbrio⁶. A aprendizagem é facilitada pela influência de mecanismos, como o entendimento de uma indicação (ordem) ou a confusão entre indicações, o que pode criar interferências no seu entendimento, sobretudo quando utilizadas no domínio motor^{18,21,22}.

Na comparação entre a aquisição de modelos internos de memória cognitiva e motora, parece existir uma similaridade, que indica processos de consolidação semelhantes²³⁻²⁶.

Associação de significados

A repetição do mesmo estímulo permite ao indivíduo identificar a sua importância e ajustar o seu desempenho em atividades funcionais. Durante o desenvolvimento de várias capacidades, é fundamental a convergência de fatores orientadores, como a capacidade de categorizar estímulos e a exposição a novas informações que ajudam a categorizar esses estímulos⁴. Ao longo da vida o Ser Humano desenvolve uma linguagem interna que o ajuda a memorizar factos e o orienta empiricamente em comportamentos cognitivos e motores²⁷. Essa linguagem parece essencial, quando estamos envolvidos num objetivo comportamental e a utilização desta estratégia tem vantagens por não necessitar de uma linguagem complexa, sobretudo na capacidade simbólica de associação de significados, pois o indivíduo fala e repete para si próprio^{4,27}.

Outros mecanismos como a aprendizagem social da imitação podem ser facilitadores da aquisição de novos *skills*. Neste campo estão envolvidos processos como a imitação simples de um movimento ou actividade, e também a percepção de informação sensitiva e sensorial do que está a ocorrer no corpo de outra pessoa, através da memória do que anteriormente se sentiu, quando houve exposição ao mesmo estímulo. Esta aprendizagem ocorre em neurónios localizados na região frontal em associação

com outras regiões como o cerebelo e o núcleo estriado^{4,6,12,8}.

Relativamente à aprendizagem motora, conhece-se hoje a importância do envolvimento do cerebelo no processo de adaptação de movimentos voluntários, melhorando o desempenho de certos comportamentos previamente aprendidos, numa relação constante com os sistemas vestibulo-visual, somatosensorial e sensoriomotor.

A repetição da resposta a um estímulo sucessivo, em contextos diferentes, permite ao indivíduo identificar consciente ou inconscientemente algo em comum e integrar a sua importância. Esta teoria pode ser uma ferramenta de aprendizagem pois utiliza estratégias como a imitação de ações, a verbalização repetida durante o treino, e a sua repetição e aperfeiçoamento¹⁶.

A existência de lesões responsáveis pelo processamento de informação ou pelo raciocínio perceptual, como são as áreas pré-frontal, tronco encefálico e óculo-motora, levam a comportamentos tímidos e incapazes de resolver problemas, pelo que é reforçada a importância da alteração de estilos de vida, para melhorar a resposta adequada¹⁵.

Plasticidade sináptica e memória

A aprendizagem motora depende da plasticidade do sistema nervoso e requer uma prática por um período de tempo determinado. A distribuição de cadeias neuronais neste processo inclui uma grande quantidade de sistemas e estruturas, mas é determinada por modificações sinápticas expostas a eventos temporais e espaciais^{28,29}.

Durante o neurodesenvolvimento normal, a especialização das estruturas corticais para a memória, é mediada pela plasticidade funcional e estrutural entre neurónios. A plasticidade sináptica através do crescimento ou da retração dos dendritos, é provavelmente assumida como um mecanismo essencial para a formação da memória, embora não esteja bem esclarecido. A homeostase da região perisináptica e o equilíbrio neurotransmissor,

assegurados em grande parte pelos astrócitos e microglia, providenciam os substratos energéticos necessários ao neurónio durante os eventos celulares, como a plasticidade³⁰. O envolvimento dos astrócitos, no mecanismo de sinaptogenese e na regulação de conexões sinápticas já existentes, apresenta-se muito forte, quer pela proximidade espacial destes com a árvore dendrítica, quer pelo seu papel enquanto barreira seletiva permeável a hormonas e oxigénio, e preventiva à entrada de moléculas para o Sistema Nervoso^{30,31}. Os ajustes dos circuitos neuronais após uma aprendizagem, parecem ser modelados pela neurogénese hipocampal, que pode potencializar a memória comportamental a longo-prazo³². O reforço das alterações estruturais cerebrais pode também fazer-se por uma estimulação forte e prolongada, com ativação/inibição inter-hemisférica (via corpo caloso) que, segundo alguns autores³³, se faz de forma assimétrica devido à dominância hemisférica.

Funções normais como o reflexo óculo-vestibular, sinergias musculares, atividade cerebral e atividade cerebelosa, são mecanismos que contribuem para a formação de memória. A memória inicial e não condicionada (exposição natural ao estímulo) é iniciada no córtex cerebeloso. Contudo, para se prolongar temporalmente, terá que envolver as células de Purkinge que fazem o trajeto entre o córtex cerebeloso e os núcleos cerebelosos. Por outro lado, a memória chamada declarativa ou por estímulo condicionado, necessita da contribuição de sistemas cerebrais, como o hipocampo, o estriado (caudado e putamen) e o córtex cerebral^{28,29,34}.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a literatura, a aprendizagem motora e o processo de memória envolvem temporalmente diferentes regiões do Sistema Nervoso de acordo com o tipo de estímulo. No entanto, para um processo de aprendizagem a longo prazo, parece ser necessária uma ativação sistemática e paralela de regiões como o cerebelo, córtex pré-frontal, córtex sensoriomotor, lobo temporal, hipocampo e gânglios da base, assim como diferentes populações de neurónios e células

da glia. A neurogênese e a sinaptogênese são mecanismos celulares e intercelulares naturais que permitem flexibilidade e plasticidade no comportamento motor do indivíduo. O desenvolvimento de novas aptidões motoras pode também estar relacionado com outros fatores, como a inovação ou possível nocividade da tarefa, pela interação e reforço entre capacidades e incapacidades do indivíduo e pela complexidade da tarefa e ambiente.

Mais estudos são necessários para esclarecer um envolvimento associativo das várias áreas corticais no processo de aprendizagem e memória, assim como a identificação da qualidade e quantidade de estímulos sensoriomotores para a aquisição de novas capacidades motoras e memorização a longo prazo. É essencial uma discussão mais aprofundada sobre a interação hemisférica de ativação/inibição e do envolvimento dos sistemas durante os procedimentos de Fisioterapia em contexto de múltiplas tarefas motoras, favorecendo a evidência científica nesta área de intervenção.

REFERÊNCIAS

- 597-613. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87565640701361120> Li, Medina, Frank, Lisberger. Acquisition of neural learning in cerebellum and cerebral cortex for smooth pursuit eye movements. *J Neurosci* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 31: 12716-26. Disponível em: <http://www.jneurosci.org/content/31/36/12716.full.pdf+html>
- Sosnik, Flash, Sterkin, Hauptmann, Karni. The activity in the contralateral primary motor cortex, dorsal premotor and supplementary motor area is modulated by performance gains. *Frontiers in Human Neuroscience* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 8. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fnhum.2014.00201/abstract>
- Imam, Jarus. Virtual reality rehabilitation from social cognitive and motor learning theoretical perspectives in stroke population. *Rehabil Res and Pract* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 2014: 873872. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3913076/pdf/RER2014-594540.pdf>
- van Tilborg, Kessels, Hulstijn. How should we teach everyday skills in dementia? A controlled study comparing implicit and explicit training methods. *Clin Rehabil* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 25: 638-48. Disponível em: <http://cre.sagepub.com/content/25/7/638.abstract>
- Mirolli, Parisi. Towards a Vygotskian cognitive robotics: The role of language as a cognitive tool. *New Ideas in Psychology* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 29: 298-311. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0732118X0900348>
- McDonnell, Smith, Mackintosh. Aerobic exercise to improve cognitive function in adults with neurological disorders: A systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 92: 1044-52. Disponível em: [http://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993\(11\)00086-4/pdf](http://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993(11)00086-4/pdf)
- Klinker, Hasan, Dowling, Paulus, Liebetanz. Dopamine D(3) receptor deficiency sensitizes mice to iron deficiency-related deficits in motor learning. *Behavioural Brain Research* [periódico online]. 2011 [citado 2014 07 09]; 220: 358-61. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166432811001264>
- Faldini, Stroobants, Lüllmann-Rauch, et al. Telencephalic histopathology and changes in behavioural and neural plasticity in a murine model for metachromatic leukodystrophy. *Behavioural Brain Research* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 222: 309-14. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166432811002622>
- Loh, Piek, Barrett. Comorbid ADHD and DCD: Examining cognitive functions using the WISC-IV. *Research in Developmental Disabilities* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 32: 1260-9. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891422211000837>
- Ameli, Kemper, Sarfeld, Kessler, Fink, Nowak. Arbitrary visuo-motor mapping during object manipulation in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: A pilot study. *Clinical Neurology & Neurosurgery* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 113: 453-8. Disponível em: [http://www.clineu-journal.com/article/S0303-8467\(11\)00031-X/abstract](http://www.clineu-journal.com/article/S0303-8467(11)00031-X/abstract)
- Brosseau, Potvin, Rouleau. Aging affects motor skill learning when the task requires Inhibitory Control. *Developmental Neuropsychology* [periódico online]. 2007 [citado 2014 Jul 09]; 32:
- Yin, Mulcare, Hilário, et al. Dynamic reorganization of striatal circuits during the acquisition and consolidation of a skill. *Nature Neuroscience* [periódico online]. 2009 [citado 2014 Jul 09]; 12: 333-41. Disponível em: <http://www.nature.com/neuro/journal/v12/n3/full/nn.2261.html>

13. Hammer, Tempelmann, Münte. Recognition of face-name associations after errorless and errorful learning: An fMRI study. *BMC Neuroscience* [periódico online]. 2013 [citado 2014 Jul 09]; 14. Disponível em: <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1471-2202-14-30.pdf>
14. Lundy-Ekman. *Neuroscience: Fundamentals for rehabilitation* (4th ed.). St. Louis: Elsevier; 2013.
15. Basak, Voss, Erickson, Boot, Kramer. Regional differences in brain volume predict the acquisition of skill in a complex real-time strategy videogame. *Brain & Cognition* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 76: 407-14. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278262611000649>
16. Menghini, Vicari, Mandolesi, Petrosini. Is learning by observation impaired in children with dyslexia? *Neuropsychologia* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 49: 1996-2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393211001746>
17. Shumway-Cook, Woollacott. *Motor control: Theory and practical applications*. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins; 2001.
18. Shankar, Levitan, Spence. Grape expectations: The role of cognitive influences in color-flavor interactions. *Consciousness and Cognition* [periódico online]. 2010 [citado 2014 Jul 09]; 19: 380-90. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053810009001342>
19. Biancotto, Skabar, Bulgheroni, Carrozzi, Zoia. Neuromotor deficits in developmental coordination disorder: Evidence from a reach-to-grasp task. *Research in Developmental Disabilities* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 32: 1293-300. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891422211000825>
20. Raine, Meadows, Lynch-Ellerington. *Bobath Concept: Theory and clinical practice in neurological rehabilitation*. Oxford: Wiley-Blackwell; 2009.
21. Boutin, Blandin. On the cognitive processes underlying contextual interference: Contributions of practice schedule, task similarity and amount of practice. *Human Movement Science* [periódico online]. 2010 [citado 2014 Jul 09]; 29: 910-20. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167945710001107>
22. Vo, Walther, Kramer, et al. Predicting individuals' learning success from patterns of pre-learning MRI activity. *PLoS ONE* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 6: e16093. Disponível em: <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0016093&representation=PDF>
23. Staines, Popovich, Legon, Adams. Early modality-specific somatosensory cortical regions are modulated by attended visual stimuli: Interaction of vision, touch and behavioral intent. *Frontiers in Psychology* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 5. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fpsyg.2014.00351/abstract>
24. Stockinger, Focke, Stein. Catch trials in force field learning influence adaptation and consolidation of human motor memory. *Frontiers in Human Neuroscience* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 8. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fnhum.2014.00231/abstract>
25. Taylor, Ivry. Flexible cognitive strategies during motor learning. *PLoS Computational Biology* [periódico online]. 2011 [citado 2014 Jul 09]; 7. Disponível em: <http://www.ploscompbiol.org/article/fetchObject.action?uri=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pcbi.1001096&representation=PDF>
26. Taylor, Klemfuss, Ivry. An explicit strategy prevails when the cerebellum fails to compute movement errors. *Cerebellum* [periódico online]. 2010 [citado 2014 07 09]; 9: 580-6. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09602011.2011.639619>
27. Middleton, Schwartz. Errorless learning in cognitive rehabilitation: A critical review. *Neuropsychological Rehabilitation* [periódico online]. 2012 [citado 2014 Jul 09]; 22: 138-68. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09602011.2011.639619>
28. Wang, Nakadate, Masugi-Tokita, et al. Distinct cerebellar engrams in short-term and long-term motor learning. *PNAS* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 111: E188-93. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/111/1/E188.full.pdf+html?sid=b998cc3f-2fea-4879-9989-c0b9f158596f>
29. Aziz, Wang, Kesaf, Mohamed, Fukazawa, Shigemoto. Distinct kinetics of synaptic structural plasticity, memory formation, and memory decay in massed and spaced learning. *PNAS* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 111: E194-202. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/111/1/E194.full.pdf+html?sid=20914434-44be-4939-8070-e548e6a475c8>
30. Bernardinelli, Muller, Nikonenko. Astrocyte-synapse structural plasticity. *Neural Plasticity* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 2014. Disponível em: <http://www.hindawi.com/journals/np/2014/232105/>

31. Ota, Zanetti, Hallock. The role of astrocytes in the regulation of synaptic plasticity and memory formation. *Neural Plasticity* [periódico online]. 2013 [citado 2014 Jul 09]; 2013. Disponível em: <http://www.hindawi.com/journals/np/2013/185463/>

32. Sierra, Beccari, Diaz-Aparicio, Encinas, Comeau, Tremblay. Surveillance, phagocytosis, and inflammation: How never-resting microglia influence adult hippocampal neurogenesis. *Neural Plasticity* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 2014. Disponível em: <http://www.hindawi.com/journals/np/2014/610343/>

33. Vidal, Banca, Pascoal, Cordeiro, Sargento-Freitas, Castelo-Branco. Modulation of cortical interhemispheric interactions by motor facilitation or restraint. *Neural Plasticity* [periódico online]. 2014 [citado 2014 Jul 09]; 2014. Disponível em: <http://www.hindawi.com/journals/np/2014/210396/>

34. Boele, Koekkoek, De Zeeuw, Ruigrok. Axonal sprouting and formation of terminals in the adult cerebellum during associative motor learning. *J Neurosci* [periódico online]. 2013 [citado 2014 Jul 09]; 33: 17897-907. Disponível em: <http://www.jneurosci.org/content/33/45/17897.full.pdf+html>