
Artigo Científico

Metodologia para observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora

Methodology to observation and quantification of EEG signs related to cognitive evidences of motor learning

Ana Clara Bonini-Rocha^{a, *}, Maria Isabel Timm^b, Marilda Chiaramonte^{c, d}, Milton Zaro^{a, c}, Alberto Antonio Rasia-Filho^{a, e, f}, Daniel Wolff^g, Elnora de P. Ayres^h e Ricardo Demétrio de S. Petersen^a

^aPrograma de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano (PPGCMH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^bCentro Nacional de Supercomputação (CESUP-RS), UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^cPrograma de Pós-Graduação em Informática na Educação (PGIE), UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^dDepartamento de Engenharia e Informática, Universidade de Caxias do Sul (UCS), Campus Universitário de Bento Gonçalves, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brasil; ^ePrograma de Pós-Graduação em Neurociências, UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^fPrograma de Pós-Graduação em Fisiologia, Fundação Federal Faculdade Ciências Médicas (FFFCM), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^gPrograma de Pós-Graduação em Música (PPGMUS), UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil; ^hHospital da Criança Santo Antonio de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão sobre questões cognitivas – de processamento de informações - envolvidas na aprendizagem motora, para consolidar pesquisa empírica a esse respeito. Propõe metodologia de observação e quantificação de sinais bioelétricos neurofisiológicos – de EEG – para identificação das modificações que ocorrem durante o processo de aquisição de tarefa cognitivo-motora. Descreve experimento-piloto em projeto de tese de doutorado na área das Ciências do Movimento, que monitora, quantifica e interpreta a alteração de sinais de base em relação a vários momentos da tarefa: prática deliberada de partitura musical por violonistas. © Cien. Cogn. 2008; Vol. 13 (2): 27-50.

Palavras-chave: educação; cognição; aprendizagem motora; EEG.

Abstract

This article presents a revision to the cognitive issues - to processing of information - involved in the motor learning, to consolidate empiric research to that respect. The text proposes observation and quantification of electrophysiological signs - of EEG - for identification of the modifications that happen during the process of acquisition of cognitive-motor task. It describes experiment-pilot in project of doctorate in the area of the Sciences of the Human Movement, which monitors, quantifies, and interprets the alteration of base signs in relation to several moments of the task: deliberate practice of musical score for guitarists. © Cien. Cogn. 2008; Vol. 13 (2): 27-50.

Keywords: *teaching; cognition; motor learning; EEG.*

1. Introdução

Este artigo apresenta resultados de pesquisa destinada a observar e descrever o processo de aprendizagem humana, nos seus aspectos cognitivos e motores¹, com base:

- a) na teoria de processos adaptativos (Tani e Manoel, 2001; Tani, 2000, 2005) para explicar o desenvolvimento de padrões de coordenação e de controle motor que acontece com a prática deliberada de uma determinada tarefa;
- b) nas Neurociências, para buscar explicar a base neural desses padrões emergentes.

Utiliza como instrumentos, a observação de sinais eletroencefalográficos, como possíveis indicadores das alterações eletrofisiológicas dos referidos padrões musculoesqueléticos, que ocorrem no sistema nervoso, e modelo da Matemática para o processamento dos sinais. Será apresentado um estudo-piloto de tese de doutorado em Ciências do Movimento Humano para aquisição de sinais de Eletroencefalograma (EEG) durante aprendizagem de tarefa motora específica (execução de partitura musical desconhecida) cujo desenho do experimento se constitui da observação e monitoramento, em tempo real, dos sinais, durante quatro etapas: base (situação controle - pré-execução), leitura silenciosa da partitura, audição da partitura e prática no violão. Cada uma das etapas foi relacionada ao sinal de base, comparando-se a dinâmica das frequências das respectivas ondas, procurando-se interpretar as mudanças observadas segundo o modelo descrito pela Neurofisiologia (Purves., 2005; LaMantia e Katz, 2005ab; Ganong, 2003; Squire e Kandel, 2003; Lent, 2001a, 2001b, 2001c; Schmidt e Lee, 1999a, 1999b; Kandel, 1997a, 1997b; Brooks, 1988a). Para permitir a contextualização da pesquisa e seus resultados, serão descritas brevemente as teorias da aprendizagem motora e a base neurofisiológica que sustenta os estudos em aprendizado cognitivo-motor na atualidade.

1.1. Aprendizagem cognitivo-motora

A questão da aprendizagem, do ponto de vista puramente cognitivo, sempre esteve presente na pesquisa educacional, no Brasil, moldada pela cultura e pelo contexto de cada momento histórico, ora voltada às técnicas de apoio, ora à adaptação de currículos às necessidades sociais, ora às necessidades de formação de recursos humanos (Gatti, 2001, 2004). Os instrumentos utilizados para lidar com a observação sobre os processos relacionados à aprendizagem, da mesma forma, foram sendo desenvolvidos e utilizados segundo a cultura da pesquisa de cada época, sendo que nas últimas décadas esses instrumentos foram prioritariamente voltados às pesquisas qualitativas, de cunho etnográfico (como as entrevistas e os questionários abertos, por exemplo) e, portanto, mais comprometidos com a descrição e a subjetividade do que com o olhar científico e com a observação, descrição e quantificação precisa dos fenômenos (idem). Ressaltando-se a importância de pesquisadores com perfil de cientistas, como o suíço Jean Piaget (1987) - que pela primeira vez transpôs a barreira da especulação filosófica e dedicou-se a observar e descrever os processos biológicos da aprendizagem e do desenvolvimento humano, - a cultura de observação e experimentação empírica da aprendizagem na pesquisa educacional não tem sido frequente².

A questão da aprendizagem do ponto de vista puramente motor tem sido historicamente estudada com bases científicas pela Biomecânica e pela análise estatística dos dados. Pode-se observar que, apesar da visão biomecânica não levar em consideração o processamento neuro-glial³ das informações necessárias para a decisão e o comando interno ao movimento, desde a sua origem o aspecto cognitivo está proposto⁴. Desde a década de 70 do Século XX, pesquisadores interessados no controle dos movimentos vêm mostrando que:

- 1 - o potencial humano pré-motor ocorre sobre o córtex sensório motor, aproximadamente, 0,8 segundos antes do movimento do corpo;
- 2 - a consciência do desejo de iniciar o movimento ocorre, aproximadamente, 3 segundos antes do sinal do Eletromiograma (EMG);
- 3 - programas e instruções (resultado da cognição) são modificados de acordo com a retro-alimentação (resultado do movimento).

Estes estudos discutem o alto grau de hierarquia do sistema nervoso sobre o sistema musculoesquelético (Brooks, 1986b; Sage, 1984).

1.2. Processo adaptativo na aprendizagem motora

No início do Século XXI, Go Tani (2000, 2005) e Tani e colaboradores (2001) marcaram de forma definitiva a então turbulenta discussão paradigmática denominada pelos pesquisadores da área do comportamento motor⁵ de *controvérsia motor-ação* (Turvey, 1977; Meijer, 1988; Albernethy e Sparoow, 1992; Bongaardt e Meijer, 2002). Esta controvérsia contrapunha, em pólos opostos, os partidários da chamada abordagem de processamento de informação e os partidários da chamada abordagem dos sistemas dinâmicos, para fundamentar como ocorreria a aprendizagem motora (ou o desenvolvimento da coordenação e do controle motor). Diziam os primeiros que ocorre uma programação motora (equivalente a um processamento cognitivo de informação) anterior à aprendizagem mecânica, que acarretaria um planejamento do respectivo movimento, pelo cérebro. Já os defensores dos sistemas dinâmicos postulavam, pela teoria dos sistemas de ação⁶, que o desenvolvimento da coordenação e do controle motor deveria acontecer em tempo real, por ação direta da percepção de estruturas coordenativas musculares, isto é, sem planejamento e sem programação (portanto, sem processamento cognitivo de informação). Estes pesquisadores contribuíram para esclarecer a natureza operacional do sistema efetor e sua implicação na coordenação e no controle de movimentos em tempo real. Todavia, esta perspectiva isolada não dá conta do processo de re-alimentação da aprendizagem humana. Mostra uma visão parcial do sistema de aprendizagem motora, sem dar conta de sua funcionalidade tanto de forma instantânea (sem memória) quanto dinâmica (com memória) (Monteiro, 2002a). Sujeitos são capazes, sim, de captar a informação diretamente pelo seu sistema sensorial e agir sobre o ambiente em tempo real, mas a marca da experiência fica na estrutura nervosa, desde o córtex cerebral, de forma descendente e hierárquica, passando pelo tronco encefálico, cerebelo e medula espinhal até as terminações nervosas musculares (Thelen e Smith, 1994; Goldfield, 1995), sendo possível, hoje, com o auxílio da tecnologia não-invasiva, identificar estas trajetórias.

Go Tani resgatou a importância da evidência empírica da programação motora, sem abrir mão da também evidente percepção direta e da importância da ação do sistema neuro-musculoesquelético durante todo o processo de aprendizagem motora⁷. O autor sugeriu a construção de estruturas (conjuntos) de *programas de ação*, que ao mesmo tempo em que são dinâmicos, alterando-se em tempo real, simultaneamente são capazes de armazenar a memória

(informação) da experiência, a qual será evocada no planejamento e programação do próximo movimento (em tempo de milissegundos, bem entendido). Estas estruturas ocorrem como resultado da transformação de um tipo de linguagem cognitiva em linguagem neuromuscular⁸, que significa *adaptação*, a qual, por sua vez pode significar *aprendizado* motor. Com esta proposta teórica, Taní abriu o caminho para a superação da controvérsia motor-ação e, com o auxílio das Neurociências, pode-se, hoje, propor metodologia de pesquisa científica integrando ambas as vertentes, para estudar o processo de desestabilização/estabilização eletrofisiológica, considerado-a como base neuromotora do desenvolvimento da coordenação e do controle motor e adaptação do comportamento à tarefa (aprendizado).

Sintetizando o tema, pode-se dizer que "*aprendizagem seja a aquisição da informação que faz a mudança de comportamento e memória retém ou armazena essa informação*" (Ganong, 2003: 259). Em outras palavras, seria um processo comum a todos os animais, pelo qual *nova informação é adquirida (aquisição) pelo sistema nervoso que armazena memórias (consolidação) e evoca essa informação quando necessária à meta da tarefa motora*. A capacidade para aprender seria, então, *aquisição e/ou desenvolvimento de habilidades para alterar comportamentos com base na experiência*. A influência do comportamento motor nas reatividades neurofisiológicas, e vice-versa, mostra como é fértil o terreno da pesquisa cognitiva em aprendizagem motora. Desde a demanda motivacional (emoção), passando pelo processamento cognitivo (orientação, planejamento, programação, seleção) até o movimento (execução pelo sistema músculo esquelético), muitos níveis do sistema nervoso estão envolvidos e ainda não foram explorados pela pesquisa científica da área.

Atualmente, sabe-se que, durante o processo de aprendizagem cognitivo-motora, o sistema nervoso parece alterar suas conexões neuro-gliais, acrescentando novos circuitos a um circuito inato ou de complexidade menor, fazendo comparação com um ou mais padrões na circuitaria, acionando algum outro circuito, ou executando outras operações lógicas elementares enquanto vão aumentando a rapidez, a facilidade e a precisão do desempenho do comportamento motor. As células nervosas têm capacidade de sinalizar entre si padrões de informações modulatórias adquiridas durante a atividade e vivência. (Shaw, 1996) e vão melhorando a performance do sujeito, complexificando o nível da habilidade aprendida. Este processo influencia na resposta neurofisiológica e vice-versa. Um iniciante pode investir esforço mental consideravelmente grande durante o desempenho de uma tarefa, de acordo com a dificuldade que ele encontra para realizá-la, e suas reatividades neurofisiológicas serão altas se comparadas às respostas de um experto (Faircough *et al.*, 2005). Esta foi uma informação relevante para a realização do estudo que será descrito neste trabalho.

Do ponto de vista empírico, o processo de aprendizagem começa com um indivíduo sendo *confrontado com uma determinada tarefa* que requer - no caso da aprendizagem motora - *ação da musculatura esquelética* para atingir seu objetivo. Depois de *conhecida* a tarefa (através dos comportamentos de comunicação e identificação cognitiva), o processo passa ao estágio motor (prática deliberada) para refinar a habilidade e organizar eficientemente os *padrões* de movimentos, desenvolvendo coordenação e controle motor. Finalmente, após prática extensiva, quanto mais complexa a atividade motora, os *novos padrões que emergiram durante a experiência são memorizados e automatizados*. Isto significa que o indivíduo não mais necessita fazê-los conscientemente e derivar toda a sua atenção sobre todos os componentes motores da habilidade que está executando. Neste estágio final de automatização dos movimentos aprendidos, existe aumento na eficiência, autoconfiança e capacidade para detectar, reconhecer e corrigir erros decorrentes de uma seleção muscular imperfeita que gera a execução inapropriada do comportamento pretendido frente à tarefa (Schmidt e Wrisberg, 2001).

Especificamente, em relação à aprendizagem cognitiva, cada pensamento, cada palavra dita e ouvida, cada olhar, ou imaginação, cada ação na qual o ser humano se engaja, o próprio sentido que tem de si mesmo e da sua conexão com os outros, é registrado no sistema nervoso, o qual filtra, armazena ou não estas experiências, em curto ou em longo prazo, e tem capacidades para aprender a lidar com o seu meio interno e externo, controlando ou não controlando todas as variáveis, consciente ou inconscientemente (Rossini e Pauri, 2000; Rasia-Filho, 2006). Especificamente em relação à motricidade, o processamento das informações do encéfalo, provenientes das aferências do ambiente externo e interno do corpo, resultado do próprio comportamento motor em tempo real, com e sem retroalimentação, gera o armazenamento de memórias associadas à capacidade de modificar padrões de coordenação e de controle motor do sistema musculoesquelético. Sabe-se que existem diferentes códigos neuronais para diferentes fatores biomecânicos, como, por exemplo, para força muscular e para os vetores de direção, amplitude e velocidade dos segmentos corporais (Kelso, 1999).

Segundo Tani (2000), adquirir uma habilidade motora significa, através da prática, num processo de estabilidade (equilíbrio) e instabilidade (desequilíbrio), ver emergir novos padrões de movimentos cujas adaptações modificam a informação adquirida e organizam-na em um nível superior de complexidade. Parece que o sistema nervoso tenta adaptação quando se organiza frente à meta da tarefa que quer executar, pela instabilidade gerada pelo próprio comportamento musculoesquelético (Tani, 2000, 2005), e isto parece envolver sensibilidade, percepção, planejamento, estratégias de ação por programação e comando, memorização e evocação da informação estocada.

Até agora, as pesquisas que falam sobre performance humana foram incapazes de explicar as diferenças entre a alta qualidade de atletas que se destacam em habilidades complexas e em habilidades médias, de um indivíduo qualquer. Elas têm explicado o processo de estabilização da performance na aquisição de habilidades motoras quando se concretiza a automatização do gesto (Tani, 2005). A dificuldade destes pesquisadores é exatamente aquela que motivou a curiosidade científica de Piaget e que motivou o desenho experimental do estudo piloto que será descrito adiante: onde procurar e como observar os indicadores do aprendizado. Neste caso, parece que não basta mais observar comportamentos, mas é necessário identificar quais são as variáveis neurofisiológicas envolvidas neste processo (Kelso, 1999; Choshi, 2000); qual a base eletrofisiológica do processo; qual a base neural da aquisição, consolidação, memórias e aprendizagem; como monitorar, medir, entender, descrever e explicar o processo; quando e como perturbações eletrofisiológicas podem produzir o desencadeamento do processo adaptativo da aprendizagem motora. O estudo apresentado procurou responder apenas algumas dessas questões: observar e interpretar modificações na dinâmica cerebral no tempo, a partir da variável *freqüência das ondas eletroencefalográficas* relacionadas com a prática de uma tarefa específica. Trata-se de uma tentativa de medir sinais biológicos envolvidos em aprendizado, de quantificar as mudanças no sistema nervoso enquanto se aprende e se lembra uma tarefa, e de buscar informações que possam atestar que a metodologia proposta é capaz de medir alterações de estados entre o não-saber e o saber, bem como pesquisar a melhor forma de interpretar a natureza dessa mudança.

Considera-se a revisão neurofisiológica que segue abaixo necessária para o entendimento da metodologia científica proposta no experimento.

1.3. Revisão neurofisiológica

Quando vários potenciais locais são registrados no EEG, em uma freqüência particular, em um determinado lado do cérebro, modificações no potencial de membrana, de

uma determinada população de neurônios, devem estar acontecendo. Esse fluxo, produzido pelos potenciais pós-sinápticos a partir dos potenciais de ação dos axônios pode disparar tanto de forma simultânea como periódica, como um código, onde a informação parece estar integrada por uma rede cooperativa de neurônios interconectados que se manifestam em padrões de modulação espaço-temporal através de oscilações entre frequências. (Bressler, 1990; Mackay, 1997; Shadlen e Newsome, 1994). O cérebro monta sua rede neuro-glial em concordância com o fluxo de impulsos que passam pelos circuitos em desenvolvimento (Squire, 2004).

Pela clássica teoria da polarização dinâmica, e uma das bases da Neurofisiologia, o processo de codificação e transmissão da informação neuronal segue a seguinte lógica: eventos provocam a chegada de corrente aos dendritos a partir de um determinado axônio; a soma das correntes dendríticas que chegam a esse neurônio supera o seu limiar de excitabilidade e gera um potencial de ação que é conduzido ao longo do axônio do elemento pós-sináptico, podendo ser transmitido para o dendrito de um próximo axônio por uma sinapse química, até chegar ao seu alvo (Ganong, 2003). Estes eventos são decorrentes de grande número de células nervosas com conexões entre si cuja atividade se dá na ordem de milissegundos (ms) enquanto que, basicamente, cada neurônio possui uma região receptiva e outra efetora em relação à condução da sinalização e o processamento de informações (Jessel, 1997a). Um neurônio e cada célula da neuroglia correspondem ao menor sistema dinâmico do sistema nervoso. Assume-se que a unidade funcional básica não é um neurônio isolado, mas um conjunto, ou interações entre duas populações de células cujos axônios terminam em sinapses excitatórias ou inibitórias num determinado instante de tempo (Monteiro, 2002b). O potencial pós-sináptico que aparece sobre cada membrana celular dendrítica após a despolarização e repolarização são, provavelmente, os principais responsáveis pela geração de campos elétricos extracelulares que vão influenciar na formação do registro cortical captado através do EEG (já que o potencial de ação é de curta duração e tem transmissão assíncrona pelo axônio) (Lopes, 2005). A sinapse produz voltagem como resposta a estimulações e se fortalece, primeiramente temporariamente (memória de curto prazo) e depois, se o estímulo for repetido, de forma permanente (memória de longo prazo). Em experimento neurofisiológico, Frey e Morris (1997) descreveram, em ratos, que um mesmo estímulo de alta frequência sendo aplicado repetidamente (no experimento: três vezes com intervalos de 10 minutos de inatividade) é capaz de fortalecer uma sinapse de modo permanente (Frey e Morris, 1997).

Com o EEG, podem-se captar, por eletrodos fixados no couro cabeludo, sinais amplificados que registram, aproximadamente, 6 cm² da superfície do córtex cerebral humano, o que corresponde a, aproximadamente, 100 mil neurônios por eletrodo. Essa medida reflete a atividade elétrica de uma população de células cujos sinais produzidos representam o somatório das ativações locais (Gevins *et al.*, 1979a; Hjorth, 1975). Este instrumento, criado para fins de diagnóstico clínico, permitiu monitorar, identificar e classificar sinais bioelétricos eletrofisiológicos em faixas de frequências, bandas de atividade, ou também chamados ritmos, relacionando-os aos estados de vigília e não vigília. Descrevem-se na literatura, bandas de atividade Alfa, Beta, Teta (Niedermeyer e Silva, 1993; Andrew e Pfurtscheller, 1997) e, mais recentemente, Gama (Bressler, 1990; Hirai, 1999; Basar-Eroglu *et al.*, 1996; Mackay, 1997; Pfurtscheller *et al.*, 1993; Popivanov *et al.*, 1999; Cantero *et al.*, 2004). Todas elas relacionadas ao comportamento cognitivo e aos níveis de consciência, e estados de prontidão e de movimentos, condições consideradas fundamentais para a função biológica da aprendizagem humana.

Teta (4-7,5 Hz)	Alfa (8-13 Hz)	Beta (14-40 Hz)	Gama (40-100 Hz)
Vigília com estado de atenção forçada (concentração); Resolução de problemas lógicos e processamento de memórias.	Vigília com relaxamento.	Vigília com estado de atenção.	Vigília com estado de programação motora; Transmissão de informações corticais antes do evento motor acontecer.

Ressalta-se a importância da Banda Gama, relacionada, tanto no modelo animal como no humano, aos processos sensorial e cognitivo do controle motor. Dentre as funções descritas, está a de construir bloqueios para evitar a perda de atenção seletiva necessária para o aprendizado do controle (Mackay, 1997). Desta forma, a monitorização de frequências acima de 40 Hz, em várias áreas do escalpo, parece representar capacidade para o processamento geral de informação no sistema nervoso (Basar-Eroglu *et al.*, 1996) já que é uma atividade difusa relacionada ao planejamento do comportamento, antes mesmo do tempo de reação e do tempo de movimento acontecerem (Bressler, 1990; Pfurtscheller *et al.*, 1993; Schieber e Hibbard, 1993; Mackay, 1997; Popivanov *et al.*, 1999; Babiloni *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2005).

Um exemplo de experimento que reforça a dinâmica de diferenças entre frequências, que serviu como referência para este estudo, submeteu sujeitos a um período de aprendizagem cognitiva e motora por 64 minutos. Eles foram confrontados a tarefas de dois graus de dificuldade, fácil e difícil. Como resultado, um efeito típico de aprendizado foi detectado somente em tarefas de alta demanda de atenção, ou seja, na tarefa difícil. Foram utilizados 4 canais de EEG (CZ, P3, P4, PZ). Quando era aumentada a dificuldade da tarefa, aumentando-se a necessidade de trabalho da atenção e memória, aumentava o padrão característico de atividade de ritmo Beta em CZ (indicativo de aumento na ativação cortical) com supressão de atividade Alfa. Os indivíduos que memorizaram a tarefa aumentaram a distribuição central de atividade Alfa, indicativo de redução na ativação cortical. Nas regiões CZ, PZ e P4 houve aumento na atividade de ritmo Teta, que foi associado ao estado de atenção forçada (concentração) necessária para manter o desempenho para ambas as tarefas (Fairchough *et al.*, 2005). Outro estudo que, com EEG, corroborou com a descrição do menor esforço cerebral depois da tarefa ser aprendida, demonstrou o retorno para uma atividade de baixa frequência de onda (Alfa) após predominância de vigília com máxima atenção (Beta) nas áreas pré-motora e motora (CZ, P3 e P4) (Luft e Andrade, 2007). Sobre este retorno para Alfa, sugere-se uma adaptação do sistema nervoso à tarefa.

É importante ressaltar, neste momento, que as células ordenadoras do controle da contração e relaxamento musculares não são as envolvidas na programação cortical cerebral para sua elaboração. Populações de motoneurônios e interneurônios da medula espinhal recebem as informações descendentes do encéfalo e, conectando-as a cada grupo de cada músculo, modulam a atividade excitando um número maior ou menor de unidades motoras, ocasionando diferentes recrutamentos e controles amplos e precisos da musculatura. A força de cada unidade motora pode aumentar com a elevação e modulação da frequência de potenciais de ação cerebrais assim como com o progressivo treinamento da atividade de automatização - quando conjuntos de motoneurônios adquirem a habilidade de coordenar e controlar em tempo real. Sendo assim, o sistema nervoso tem capacidade para graduar a força de uma contração muscular variando o número de unidades motoras que são ativadas pelo motoneurônios controlando a sensibilidade dos fusos musculares. O controle fino conferido por essa inervação motora exige complexo processamento perceptivo ao interpretar os sinais originados nas fibras intrafusais e correlacionar evento sensorial com evento motor (Jessel,

1997b). Em contrapartida, com base em dados monitorados em situações experimentais e metodologia científica criteriosa, no momento em que é ativada a rede muscular de uma dada articulação são ativadas informações das estruturas articulares (*rede articular*) que, muitas vezes, são suficientes para acessar um *padrão* medular de controle motor por ajuste automático do *parâmetro* de força muscular (Bullock e Grossberg, 1988). Os destaques aos termos neste parágrafo têm por função salientar, ao leitor, alguns indicadores que caracterizam aprendizado endógeno e que, pela sua natureza, dialogam com os instrumentos tecnológicos e matemáticos de identificação de padrões e parâmetros, apontando para a possibilidade de aquisição de informações biológicas e sua quantificação (como os sinais bioelétricos eletrofisiológicos neuromotores, monitorados por EEG e Eletromiograma (EMG), por exemplo).

Neste cenário neurofisiológico, o sistema nervoso do animal humano parece ser *a base neuromotora do seu comportamento*. Seus conjuntos de células agrupadas, suas relações e grandezas que se modificam no tempo, e que processam e motivam todas as experiências, têm papel destacado em todos os níveis da ação motora, desde a percepção (identificação dos estímulos que entram em paralelo de maneira contínua ou em série, no sistema), passando pela *intenção, seleção, programação e acionamento* da ação necessária, baseada em aprendizado.

Aplicando-se estas premissas ao fato de que a aprendizagem cognitivo-motora é processo que envolve prática deliberada com *aquisição, consolidação e evocação* de determinada informação, e que memória e atenção são responsáveis por *perceber, decidir e organizar* os movimentos nessa prática, propõe-se que a aquisição e consolidação de memória requerem estimulação combinada de várias entradas sinápticas causadas por sensações e percepções sinestésicas e abstratas. A ampla literatura eletrofisiológica mostra como a dinâmica das frequências parece ser a fonte de interação neural entre as áreas sensoriomotoras frente a tarefas específicas.

1.3.1. Morfologia funcional e eletrodos

Para a compreensão de como o EEG pode mediar o conhecimento sobre aprendizagem cognitivo-motora, deve-se considerar a forma e a estrutura do órgão (no caso o cérebro) integrada a sua função, ou seja, à atividade do corpo e sua relação específica com a área de processamento desta atividade (de acordo com o referencial eletro-neurofisiológico); as regiões onde estão posicionados os 10 eletrodos de superfície posicionados sobre as áreas bilaterais no escalpo; e a característica do seu sinal de aquisição. Neste experimento, os eletrodos foram escolhidos de acordo com esta íntima relação entre a morfologia e a função. As regiões estão, esquematicamente - e apenas com finalidade didática -, classificadas como Áreas de Projeção (ou Primárias), relacionadas diretamente com sensibilidade e motricidade, e Áreas de Associação (Secundárias e Terciárias), responsáveis por relacionar as informações das áreas primárias e de realizar funções cognitivas complexas e estratégias comportamentais a partir delas. Estas representações corticais recebem ou dão origem às informações relacionadas à função que se quer observar, neste caso, de aquisição cognitivo-motora de uma informação representada por um objeto de aprendizagem (uma partitura musical).

Simplificadamente, pode-se dizer que uma informação quando chega no cérebro, dirige-se primeiramente para áreas primárias, que são específicas, e depois fica difusa pelas áreas associativas (secundárias e terciárias) justapostas a elas. Áreas secundárias e terciárias associam essas informações primárias específicas às memórias (área terciária temporoparietal), à emoção (área terciária límbica), ao movimento (área secundária motora-suplementar), e à sensibilidade (área sensitiva secundária), refinando sua estrutura básica

original. De modo geral, para cada tipo de sensibilidade específica (visual, auditiva, vestibular, olfatória, gustativa) corresponde uma área primária sensitiva que converge para área chamada Somestésica Primária, que se relaciona às áreas secundárias correspondentes e repassam as informações recebidas às áreas terciárias do córtex. Áreas de associação secundárias têm relação indireta com uma modalidade sensorial ou motora, pois suas conexões se fazem, predominantemente, com a área primária da mesma função (por exemplo, a área de associação secundária motora recebe fibras predominantemente da área de projeção primária motora). As áreas terciárias não se ocupam do processamento primário ou secundário motor ou sensitivo, mas mantêm conexões com áreas secundárias ou com outras áreas terciárias envolvidas com atividades cognitivas como memória, pensamento abstrato e processamentos simbólicos (Machado, 2004; Squire e Kandel, 2003; Jessel, 1997a).

Esta revisão de literatura introduz e justifica a continuação deste texto, de modo que influenciou na escolha da abordagem metodológica do experimento piloto descrito com detalhes a seguir, que objetivou produzir conhecimento específico sobre as condições de aprendizado cognitivo e motor e, simultaneamente, desenvolver pesquisa científica, experimental, utilizando instrumentos teóricos e técnicos das Neurociências (EEG), da Matemática (modelos matemáticos de tratamento de sinais) e da Informática e Engenharia Elétrica (*software Labview* de processamento matemático).

2. Relato do experimento: EEG para observar aprendizado cognitivo-motor em tempo real

Um grupo de pesquisadores das Universidades Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e da Universidade de Caxias do Sul (UCS - Região dos Vinhedos) está interessado em monitorar e processar sinais de EEG obtidos sobre a efetividade do processamento neural e – possivelmente – do aprendizado motor (ambos relacionados à execução de uma partitura musical). Para isso, confluíram os interesses da pesquisa sobre aprendizagem cognitiva e motora com os da Engenharia, da Matemática, da Informática, da Biologia, da Medicina, e da Fisiologia, através de teorias, metodologias e instrumentos das Neurociências. Essa interdisciplinaridade culminou com experimento-piloto que será descrito, cujo modelo de aquisição de EEG foi taxa de impedância de até 3Kohms, taxa de amostragem de 1500, velocidade de aquisição de 4500 amostras por canal e 3 segundos por janela de aquisição; segundo sistema internacional 10/205 Jasper; sendo utilizada Transformada Rápida de Fourier (*FFT*) como modelo matemático para o processamento dos sinais. A *FFT* normalizou o sinal original de amplitude por tempo, no âmbito da densidade espectral de potência por pico de frequência. A aquisição e processamento dos sinais foram realizados no *software Labview* versão 7.1.

O desenho experimental foi realizado com amostra de um violonista, que recebeu a tarefa de, primeiramente, ler uma partitura musical (5 minutos); num segundo momento, ouvi-la (5 minutos); e logo após praticá-la livremente (15 minutos). A tarefa constituía-se de uma seqüência de notas com tempo de, aproximadamente, 20 segundos - construída especialmente para o experimento-, de alto grau de dificuldade por não apresentar sucessão convencional de acordes (para garantir a motivação e atenção máxima do violonista). Neste estudo, a prática cognitivo-motora comportou *aquisição* e início no processo de *consolidação*, memória de curto prazo e *evocação* de memórias prévias. Supõe-se que houve *aquisição* das informações necessárias para melhorar o nível do desempenho motor, relativas ao objeto de aprendizado, e fortalecimento temporário da tarefa.

Este estudo piloto⁹, foi uma tentativa de medir etapas deste processamento de informação por EEG e propor metodologia científica para estudar o processo de

desestabilização/estabilização eletrofisiológica que parece ser a base neuromotora do desenvolvimento da coordenação e do controle motor e adaptação do comportamento à tarefa.

A variável observada foi: *freqüências de ondas eletroencefalográficas*, em função de achados já consolidados da literatura internacional, relacionando estas mudanças com atividades cognitivas em geral (Fairchough *et al.*, 2005; Gevins *et al.*, 1979a; Gevins *et al.*, 1979b; Shaw, 1996; Basar-Eroglu e Struber, 1996; Slobounov, *et al.* 2002). Tais neurocientistas informam ter identificado padrões de altas freqüências nas ondas eletroencefalográficas relacionadas ao esforço cognitivo de tarefa que exigiu atenção, ou seja, a correlação entre sinais bioelétricos e significância funcional, conforme já foi antes relatado. Esses estudos mostram que as ondas captadas pelo EEG podem ser interpretadas como indicação de ocorrência de prontidão corporal (atenção) para a aprendizagem, modificando-se por aumento e/ou diminuição de bandas de freqüência quando o sujeito fica exposto a uma tarefa que deverá cumprir.

Os dados foram agrupados por bandas e etapas da tarefa em programa *Excel 2003*, de onde foram extraídos médias e medianas dos picos (unidades) de freqüência no tempo de 60.000 milissegundos. Serão apresentados e discutidos os dados que mostraram o aumento nas freqüências, dentre os 10 canais de EEG monitorados (C3, C4, CZ, P3, P4, PZ, T3, T4, T5, T6) (quadro 1), de acordo com o desenho experimental quadro 2), relacionando-se com a classificação das bandas eletroencefalográficas (alcançadas por filtragem passa-bandas) e as regiões cujos eletrodos supostamente representaram, quadro 3. Foram comparados sinais de situação de pré-execução da tarefa (sinais de Base) com Leitura, Audição, Prática 1 (1-2,5min) e Prática 4 (14-15,5min), objetivando-se monitorar processo de aprendizagem motora, antes e após o período de prática deliberada. Foram escolhidas de forma não aleatória¹⁰ as primeiras 20 janelas de 3 segundos). O momento de aquisição descrito no quadro 2 tem como referência o ponto 0 (zero) do cronômetro, o sinal verbal de *OK* e o acionamento da tecla *ON* no PC de mesa (*off line*), tendo sido um procedimento igual para todas as etapas descritas.

As hipóteses que foram investigadas, no tempo de 30 minutos que durou a sessão destinada à prática da tarefa cognitivo-motora e aquisição de sinais de EEG, são de que: (1) quando o violonista recebe informação sobre o que deverá aprender (processamento cognitivo) a dinâmica eletrofisiológica cortical sofre aumento de freqüência por exigir ativação cortical que gera *atenção para aquisição cognitiva* da tarefa motora; e (2) que a prática deliberada da tarefa (comportamento motor) exige um estado eletrofisiológico cortical menos ativado em relação às tarefas puramente cognitivas porém ainda maior do que o estado Base, por exigir ativação cortical que gera *atenção para aquisição motora e evocação de memória cognitiva e motora, para identificação visual e cognitiva dos sinais da partitura, adequação da posição dos dedos (todo o corpo)*, entre outras posturas relevantes para a execução da tarefa¹¹. A observação e sua respectiva interpretação serão apresentadas a seguir, buscando-se interpretações plausíveis com base na neurofisiologia e na teoria da adaptação motora.

3. Resultados e discussão¹²

Os dados interpretados são derivados de 1 minuto de monitoração, de acordo com o desenho do experimento mostrado no quadro 2. São apresentados valores de média e mediana das 20 janelas de tempo consecutivas em que foi feita a aquisição de todas as etapas (leitura, ouvida, prática 1 e prática 4, confrontadas com médias e medianas do sinal de base), por eletrodo, segundo a classificação teórica das bandas eletroencefalográficas. O quadro 3 apresenta os eletrodos com aumento de freqüência confrontando-se o sinal de base com as

etapas do experimento relacionadas à função da região cortical. A tabela 1 mostra esses aumentos com valores das médias simples e das medianas das frequências (em Hz). Os cálculos das médias medianas foram feitos com finalidade de verificar qual deles descreve melhor a dinâmica do sinal adquirido no tempo.

Eletrodos	Regiões dos Hemisférios Cerebrais
CZ, C3, C4	Região Frontal e Parietal: Área Motora Primária, Área Motora Suplementar. Área Somestésica Primária
PZ, P3, P4	Região Parietal - Área Sensitiva Secundária
T3, T4, T5, T6	Região Temporal e Parietal - Área Sensitiva Primária Área Auditiva Primária Área Sensitiva Secundária, Área Temporo-Parietal Terciária Região Límbica - Área Límbica Terciária

Quadro 1 - Os eletrodos CZ e PZ são supostamente colocados entre os dois hemisférios cerebrais (no vérmix do encéfalo). Eletrodos ímpares correspondem às regiões corticais do hemisfério cerebral esquerdo e eletrodos pares ao hemisfério cerebral direito. Morfologia dos eletrodos.

Etapas do experimento (tempo da aquisição)	Expectativa com base na classificação de bandas e localização dos eletrodos
Sinais de <u>Base</u> (2m)	Vigília com relaxamento Maiores médias e medianas de frequência em Alfa e os eletrodos proeminentes.
Sinais de <u>Leitura</u> (5m)	Atenção para <i>aquisição da informação gráfica</i> – disponibilidade para aprender
Processamento cognitivo	Maiores médias e medianas de frequência em Beta e Teta e os eletrodos C e P proeminentes
Sinais de <u>Audição</u> (5m)	Atenção para <i>aquisição da informação sonora</i> - disponibilidade para aprender
Processamento cognitivo	Maiores médias e medianas de frequência em Beta e Teta e os eletrodos C, P e T proeminentes
Sinais da <u>Prática</u> (15 m) 1 (entre 1 e 2,5 m) e 4 (entre 14 e 15,5 m)	Ação da musculatura esquelética Prática1- <i>aquisição</i> da informação motora e <i>evocação</i> de memórias motoras Maiores médias e medianas de frequência em Alfa e Beta e os eletrodos C e P, e em Teta, nos eletrodos T proeminentes
Comportamento motor	Prática 4 - <i>aquisição</i> da informação motora e processo de <i>consolidação</i> Maiores médias e medianas de frequência em Gama e Teta e os eletrodos P e T proeminentes

Quadro 2 - Desenho Experimental X Expectativas Investigadas.

Eletrodo	Morfologia	Função	Banda	Etapa
CZ	Lobo Frontal	Área Motora Primária tem correspondência com as partes do corpo; é ativada juntamente com Área Motora Suplementar (secundária) quando um movimento complexo seqüencial é planejado e executado.	Alfa	Prática 1, Prática 4
C4	Lobo Parietal	Área Somestésica Primária tem correspondência com as partes do corpo, é ativada sempre que algum receptor sensitivo ou sensorial específico for estimulado.	Alfa	Prática 1, Prática 4
P4	Lobo Parietal	Área Sensitiva Secundária	Alfa	Leitura, Prática 1, Prática 4
P3			Beta	Audição, Prática 1
T3	Lobos Temporal e Parietal	Área Sensitiva Primária Área Auditiva Primária Área Sensitiva Secundária	Alfa/Beta	Leitura, Audição, Prática 1, Prática 4
			Teta	Leitura, Audição, Prática 1, Prática 4
T4	Lobo Límbico	Área Límbica Terciária		

Quadro 3 - Eletrodos que apresentaram aumento de médias e medianas (em Hz). Morfologia, função, bandas eletroencefalográficas e etapas da tarefa relacionadas aos sinais de Base.

Pode-se observar que, nos eletrodos que mostraram aumento de frequência em relação ao sinal de base, a média representou um sinal, na grande maioria dos casos, maior do que o valor da mediana, o que significa que picos de frequência podem extrapolar o valor das frequências que caracterizaram a organização do sinal no tempo¹³. Isso talvez tenha ocasionado, em outros casos, que a média tenha sido maior enquanto que a mediana permaneceu igual ou menor ao sinal de base, o que vice-versa também ocorreu. Os eletrodos que apresentaram essas diferenças entre médias e medianas foram C3 e C4 (em Alfa) na Leitura; CZ, C3, P3 e P4 (em Alfa) e P3 (em Gama) na Audição ; CZ (em Gama) e P3 (em Gama) na Prática 1; T4 na Leitura (em Gama) e na Audição (em Alfa); e C3 e P3 (em Alfa) na Prática 4, (descritos na tabela 3). Ainda, houve eletrodos e bandas que não apresentaram valores maiores do que o sinal de base, mantendo-se inalterados ou diminuídos em médias e medianas de picos de frequência (estes eletrodos estão apresentados no item 4.1).

Diferentes bandas de frequência foram monitoradas em 1 eletrodo ao mesmo tempo, e isso foi observado e descrito após filtragem, passa-bandas, possível pelo processamento matemático, numa magnitude que oscilou, aproximadamente, entre 0,165 e 0,0037 de unidade de pico de frequência. Um mesmo eletrodo capturou, num mesmo instante de tempo, altas e baixas frequências, e diferentes picos, oscilantes entre as bandas.

Conforme a expectativa já descrita, verificaram-se suposto aumento na ativação cortical nos eletrodos relacionados às áreas somestésico-motoras primárias bilaterais assim como às áreas primária e secundária da sensibilidade, (C4, CZ, P3 e P4), além das áreas terciárias do hemisfério cerebral esquerdo (T3 e T4), predominando Alfa nos eletrodos C e P, Beta e Gama em eletrodos P, e Teta especificadamente em T4.

Nas tabelas 1 e 2, a relação entre bandas de frequência e suas dinâmicas de distribuição nos eletrodos por tarefa, sugerem que altos picos de Alfa, proeminentes nos eletrodos P4, T3, T4 nas duas tarefas cognitivas, e difusamente nos eletrodos C, P e T nas práticas, signifiquem aumento na demanda nas áreas corticais primárias - sensitiva e motora. Com estados de Alfa entre 9,0 e 10 Hz na situação de controle (Base), a Tarefa como um todo manteve Alfa entre 9,3 a 11 Hz. Maiores picos difusos desta banda parecem significar predisposição do organismo para aprender, incremento na demanda do estado de vigília. Também a descrição de Alfa na literatura eletrofisiológica, como banda indicadora de vigília com relaxamento do sistema musculoesquelético, parece, na etapa de Leitura, ter sido fortalecida. Picos de frequência estão aumentados nas práticas, proeminentes em eletrodos não só de áreas associativas, mas sensitivas: primária no hemisfério esquerda do cérebro, e secundária bilateral, marcados pela ativação Alfa em P3 e T3, Teta em T4, e Gama em P3, CZ e PZ. Beta, que predominou em P3 e T3 durante Prática e Audição, (picos entre 16,2 e 24,5 Hz), parece estar relacionada com processamento de informações externas e internas devido ao estado de atenção que a banda representa. Todas as etapas do experimento apresentaram aumento de frequência em T3, T4 e P3, divididos entre Alfa, Beta e Teta (picos entre 4,45 e 5,65 Hz proeminentes em T4). Altos valores em Gama (picos entre 47 Hz em CZ e 73 Hz em C3), proeminentes nos quatro eletrodos T, bilaterais, e também em eletrodos P, sugerem que, mesmo somente lendo e ouvindo a partitura, memórias motoras complexas talvez tenham sido evocadas difusamente e memórias de programação motora ativadas. Os eletrodos CZ e P4, (em Gama e Alfa), apresentaram aumento de médias e medianas em todas as etapas do experimento. No que diz respeito à frequência Teta, apareceu predominando o eletrodo T4 em todas as etapas do experimento, indicando demanda da ativação cortical (processamento cognitivo) para memória, pensamento abstrato e processamentos simbólicos gerada pelo confronto com a tarefa.

Especificadamente em relação à Audição, áreas sensitivas - primária e secundária esquerdas, tiveram aumento de Alfa em T3 sugerindo relação sensitiva ao estímulo auditivo e associação com memórias auditivas relacionadas com a tarefa motora. Teta em T4 pode indicar memórias do hemisfério direito que são acionadas. Beta em P3 e T3 parecem garantir o estado de atenção reforçado em regiões associativas no hemisfério esquerdo.

Quanto à Prática 1, área motora e somestésica primária bilateral (CZ, C4), e secundária bilateral (P3 e P4), áreas auditiva e sensitiva primárias, sensitiva secundária, terciária temporo-parietal e límbica (T3 e T4) tiveram aumento no pico de frequência em hemisfério esquerdo e direito em Alfa (T3, CZ, C4 e P4), Teta (T4) e Beta (P3 e T3) e estes indicadores mostraram que o sistema exige do córtex bilateral para a realização da tarefa motora. Durante a Prática 4, ativaram-se área motora e somestésica primária bilateral (CZ e C4), e secundária bilateral (P3 e P4). Áreas auditiva e sensitiva primárias, sensitiva secundária, terciária temporo-parietal e límbica mostraram aumento de atividade no hemisfério esquerdo em Alfa (CZ, C4, P4 e T3), em Beta (P3), e em Teta (T3 e T4).

Curiosamente, Gama não apareceu na Prática 1, dando lugar a atividades de Alfa, Beta e Teta em CZ e C4, P3 e T3, e T4, respectivamente. A proeminência de Gama na área de associação relacionada à Prática 4 (e não à Prática 1), talvez indique que dinâmicas em Gama possam ser mais predominantes em estados onde a tarefa motora esteja caminhando para a automatização, em fase de consolidação de memória de programação motora. Os maiores picos de frequência de banda Gama, sempre em relação à Base, na Prática 4, nos eletrodos T4 e T6, reforçam a suposição de que é uma atividade que planeja para o movimento, evoca memórias motoras - programas motores, de áreas do córtex relacionadas com a tarefa.

Resumindo, picos aumentados de frequência Gama (em área associação sensitiva P3) em Leitura e Prática 4 confirmaram a literatura que descreve altas frequências relacionada com memórias motoras complexas próprias do hemisfério cerebral esquerdo, em destros, ou seja, atividade cognitiva para aquisição e para o caminho da consolidação e automatização da tarefa motora. Da mesma forma, esta condição em Alfa, em área sensitiva e motora primária e secundária, sugeriu função de manter um aumentado estado basal que predispõe o aprendizado da tarefa motora. Beta aparece como uma banda de associação, de atenção máxima do hemisfério dominante, que se presta, possivelmente, para planejamento de estratégia motora pois aparece predominantemente em P3 e T3. Teta foi banda exclusiva de T4 neste experimento, e apareceu em todas as etapas do experimento, sugerindo a associação permanente das informações motoras armazenadas e evocadas da memória. Nota-se, de acordo com a tabela 2, que Gama parece ser uma atividade difusa porque foi proeminente bilateralmente em 8 eletrodos, seguida por Alfa, bilateralmente proeminente em 6 eletrodos, Beta, proeminente em 2 eletrodos à esquerda, e Teta em 1 eletrodo à direita. Observam-se aumentos de magnitude de frequência em Alfa proeminentes em T3, da mesma forma que Teta em T4, durante as quatro etapas do experimento, indicando sincronismo entre mesmas regiões associativas do lado esquerdo e direito do cérebro frente à tarefa motora solicitada. Pode-se supor que Beta e Teta não sejam atividades de característica difusa, comparando-se com as atividades Alfa (que difusa, parece garantir um estado basal de vigília e atenção para aquisição da informação gerada pelo confronto com a tarefa) e Gama (quedifusa, parece garantir a transmissão de informação processada e a programação motora).

Estas dinâmicas entre eletrodos, bandas e áreas corticais, ligadas à sensibilidade, percepção e às estratégias comportamentais, conforme a literatura neuroanatômica e eletrofisiológica, parece mostrar que, mesmo durante o processamento cognitivo da aquisição visual e auditiva de uma tarefa motora, o sistema nervoso está buscando memórias para planejar e organizar padrões motores, e estabilizar-se frente à desestabilização causada pela tarefa, e adaptar-se ao ambiente por meio do comportamento motor otimizado em coordenação e em controle. Pode-se pensar com este experimento piloto e, de forma hipotética, sugerir que aumentos em magnitude de frequência em Alfa, Beta, Teta e Gama, em áreas de processamento sensorial, sinestésico e motor, estejam relacionadas com a desestabilização eletrofisiológica cortical causada pela tarefa.

Leitura	Base (pré-execução)	Audição	Base (pré-execução)
CZ Gama	58,70 – 47,00	CZ Gama	58,60 – 47,00
P3 Gama	57,07 – 47,00	P3 Beta	19,12 – 17,00
P4 Alfa	10,31 – 10,60	T3 Beta	24,52 – 24,50
T3 Alfa	09,89 – 10,00	T3 Alfa	10,58 – 10,58
T4 Teta	04,89 – 04,65	T4 Teta	05,45 – 05,30
T4 Alfa	09,50 – 09,30	P4 Gama	57,30 – 53,00
		T4 Gama	60,30 – 57,00
		T5 Gama	55,30 – 55,30

Prática 1	Base (pré-execução)	Prática 4	Base (pré-execução)
Cz Alfa	10,20 – 10,00	CZ Gama	58,20 – 55,00
C3 Alfa	09,45 – 09,30	CZ Alfa	10,45 – 10,45
C4 Alfa	10,42 – 11,00	C3 Gama	69,50 – 73,00
PZ Gama	74,50 – 76,00	C4 Alfa	10,26 – 10,30
P3 Beta	22,50 – 21,30	P3 Gama	52,65 – 50,00
P3 Alfa	09,87 – 09,50	P3 Beta	18,50 – 16,20
P4 Alfa	00,29 – 10,30	P4 Alfa	10,52 – 10,45
P4 Gama	55,30 – 54,50	P4 Gama	53,60 – 52,00
T3 Beta	23,30 – 23,00	T3 Alfa	09,90 – 10,00
T3 Alfa	10,14 – 09,65	T4 Teta	04,92 – 04,70
T4 Teta	05,24 – 05,30	T4 Alfa	09,90 – 09,60
T4 Alfa	10,10 – 09,60	T4 Gama	64,30 – 65,00
		T5 Gama	56,50 – 52,50
		T6 Gama	61,90 – 66,50

Tabela 1 - Aumento de médias e medianas de freqüências em relação aos sinais de pré-execução (base) e as etapas da tarefa. Eletrodos X Bandas X Etapas (em Hz).

Gama	Médias e medianas (em HZ)	Alfa	Médias e medianas (em HZ)
P3 Leitura	57,07 – 47,00	P4 Leitura	10,31 – 10,60
P3 Prática 4	52,65 – 50,00	P4 Prática 1	10,29 – 10,30
CZ Leitura	58,70 – 47,00	P3 Prática 1	09,87 – 09,50
PZ Leitura	74,50 – 76,00	T4 Leitura	09,50 – 09,30
C3 Audição	69,50 – 73,00	T4 Prática 4	09,90 – 09,60
P4 Audição	57,30 – 53,00	T3 Leitura	09,89 – 10,00
T4 Audição	60,30 – 57,00	T3 Audição	10,58 – 10,58
T4 Prática 4	64,30 – 65,00	T3 Prática 1	10,14 – 09,65
T5 Audição	55,30 – 55,30	T3 Prática 4	09,90 – 10,00
T5 Prática 4	56,50 – 52,50	C4 Prática 1	10,42 – 11,00
T6 Prática 4	61,90 – 66,50	C4 Prática 4	10,26 – 10,30
		CZ Prática 1	10,20 – 10,00
		CZ Prática 4	10,45 – 10,45

Beta	Médias e Medianas (em HZ)	Teta	Médias e Medianas (em HZ)
P3 Audição	19,12 – 17,00	T4 Leitura	04,89 – 04,65
T3 Audição	24,52 – 24,00	T4 Audição	05,45 – 05,30
P3 Prática 1	22,50 – 21,30	T4 Prática 1	05,24 – 05,30
T3 Prática 1	23,30 – 23,00	T4 Prática 4	04,92 – 04,70
P3 Prática 4	18,50 – 16,20		
T3 Prática 4	23,69 – 21,00		

Tabela 2 – Aumentos em médias e medianas de frequência (em Hz) por classificação em bandas em relação a Eletrodos X Tarefas.

3.1. Médias e medianas menores do que o estado de base

Observando-se as médias e/ou medianas que não se apresentaram maiores do que Base durante a exposição à tarefa em 60.000 milissegundos, desmembrando-se o sinal em janelas de 3.000 milissegundos, pode-se notar momentos de aumento de frequência nas quatro etapas da tarefa. Apresentam-se, nos gráficos 1 e 2, exemplos dos eletrodos T3 e T6. Sugere-se que em janela de tempo curto não estão contidas informações que representem aquilo que o sinal monitorado representa em relação à função biológica e o aprendizado da tarefa em processo. As informações contidas em janelas de curto tempo ficam mascaradas por médias e medianas medidas no longo tempo.

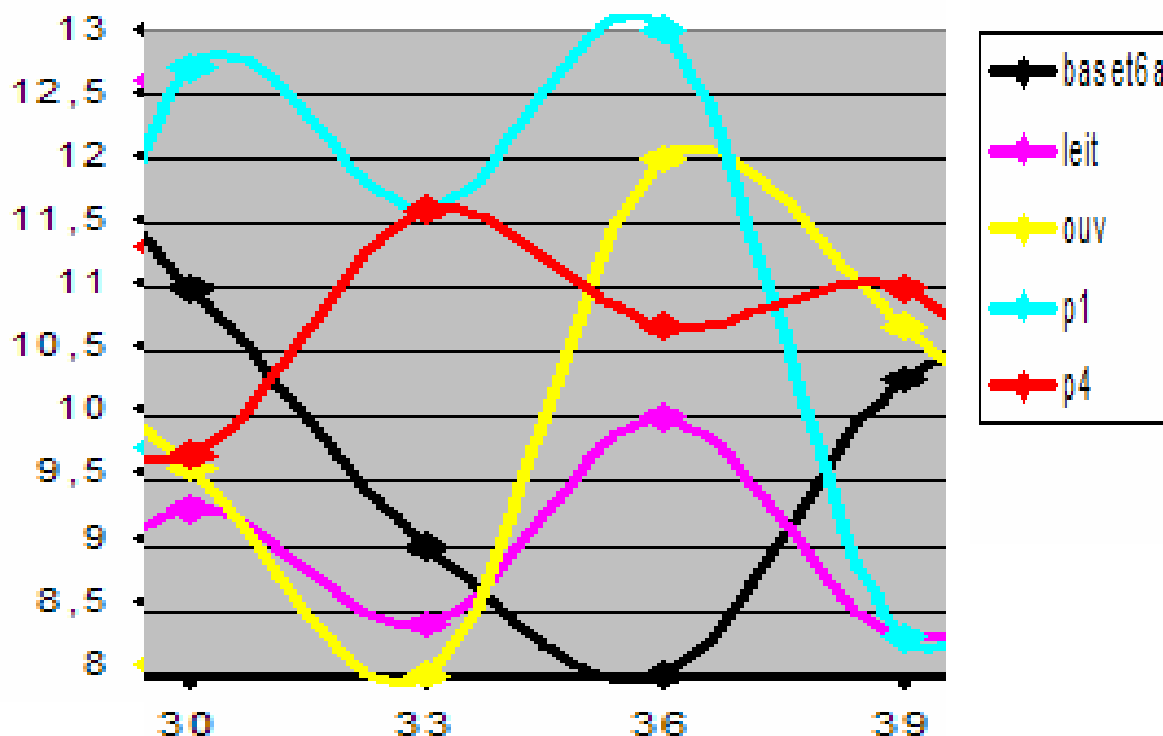


Gráfico 1 - Banda Alfa X tempo (eletrodo T6). Leit, leitura; ouv, audição.

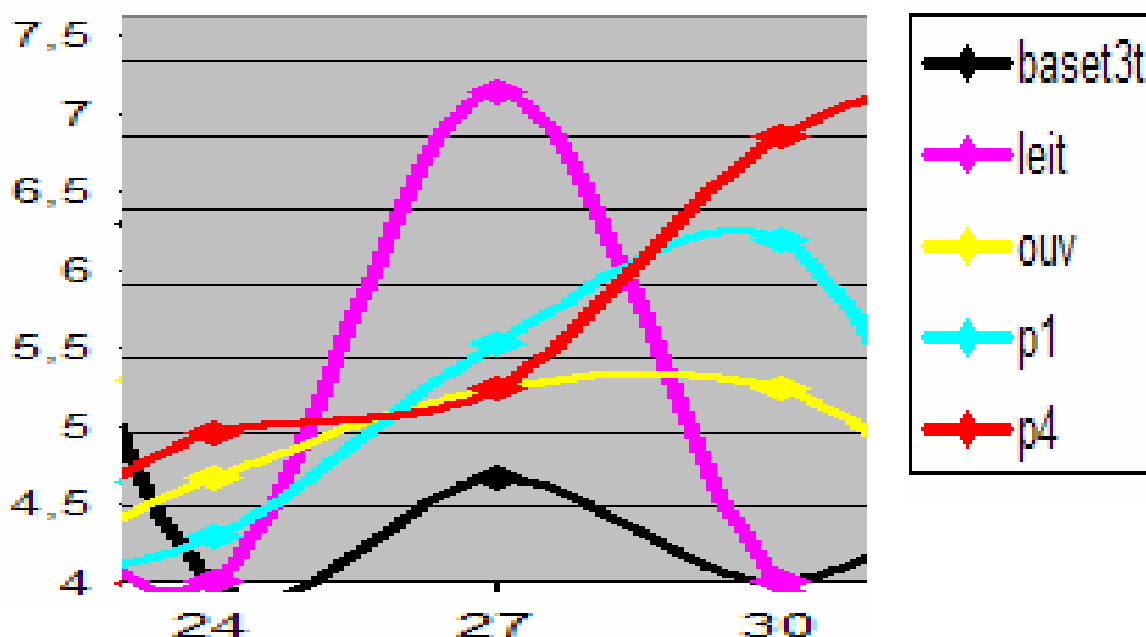


Gráfico 2 - Banda Teta X tempo. (eletrodo T3). Leit, leitura; ouv, audição.

4. Considerações finais

Este artigo apresentou uma revisão relativa à controvérsia que contrapõe sistema motor e sistema de ação, apontando para a relevância de integrar ambos esses paradigmas para a fundamentação de pesquisa empírica na área de aprendizagem. Baseou-se na Teoria dos Sistemas Adaptativos de Tani (2005), e na Neurofisiologia, para apontar evidências da ocorrência de alterações cognitivas (relativas a processamento de informação visual, sonora e sinestésica) relacionadas a várias fases da aquisição e consolidação de tarefa motora.

Apresentou resultado parcial de pesquisa em andamento para desenvolver metodologia de observação e quantificação de sinais bioelétricos – de EEG – relacionados à aprendizagem cognitivo-motora. Os resultados foram obtidos por experimento-piloto que monitorou, quantificou e interpretou a alteração de sinais de base em relação a vários momentos da tarefa: leitura, audição e prática deliberada de partitura musical por violonistas. A observação e descrição do comportamento dos sinais eletroencefalográficos permitiu descrever o comportamento da dinâmica das frequências corticais cerebrais ao longo das etapas.

Sinais bioelétricos neurofisiológicos adquiridos com 10 eletrodos de superfície no escalpo e foram tratados matematicamente pelo desenvolvimento de método de filtragem de acordo com a classificação das bandas descritas na literatura eletrofisiológica. Esses sinais filtrados foram analisados de acordo com picos de frequência dentro da faixa de frequência de cada banda, no tempo, usando-se parâmetros estatísticos de média e mediana na interpretação qualitativa.

A hipótese principal deste experimento foi a de que a exigência para a ativação cortical - ocorrida tanto na leitura da partitura e audição da gravação, quanto de sua prática – gera aumento nos picos de frequência em todas as bandas de sinais (sempre comparado com a situação de pré-execução da tarefa). Esse aumento nas frequências foi interpretado como sendo o resultado da combinação de várias entradas sinápticas e ativação cortical necessária para atenção, aquisição, consolidação e evocação de memória cognitiva e motora de curto prazo. Correspondem ao esforço em identificar tanto os sinais visuais (simbólicos) da

partitura quanto em executar os movimentos relativos às posições dos dedos (padrões de coordenação e de controle motor e postural) no violão. Houve predomínio de aumento dos picos de frequência, em todas as bandas, em todas as regiões monitoradas pelos eletrodos, o que mostra a evidente ativação cortical frente a todas as etapas da tarefa.

Concluindo-se, este trabalho foi considerado eficiente para adquirir, monitorar, observar e quantificar as mudanças nos ritmos cerebrais dos sinais bioelétricos – de EEG – e tal experimento serviu para validar, tanto o desenho experimental que será ampliado em tese de doutorado, quanto o *software* de aquisição e processamento de sinais, além de mostrar tendência metodológica para análise quantitativa e qualitativa. Por isso, constituiu importante aprendizado, corroborando com a intenção dos pesquisadores de consolidar metodologia científica para o estudo das atividades educacionais.

Agradecimentos

Liziane Bizarro (Programa de Pós-Graduação em Psicologia, UFRGS), André Luiz Andrejew Ferreira (Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, UFRGS), Giovani Carra (UCS), Lucas Vasconcelos (Instituto de Artes, UFRGS), Michel Carra (UCS), Leonardo Tartaruga (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, UFRGS), Gustavo Brum Mello (Worker Engenharia) e Cristina Gonzáles Macedo (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS).

5. Referências bibliográficas

- Adams, J.A. (1976). *Human Memory*. New York: McGraw-Hill.
- Adams, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *J. Motor Behav.*, 3, 111-150.
- Adams, J.A. (1977). Feedback theory of how joint receptors regulate of timing and positioning of a limb. *Psychological Rev.*, 84, 504-523..
- Albernethy, B. and Sparoow, W. (1992). The rise and fall of dominant paradigms in motor behavior research. Summer, J.J. (Ed.). Em: *Approaches to the Study of Motor Control and Learning*. (pp. 2-16) Elsevier Science Publishes.
- Andrew C. e Pfurtscheller. G. (1997). On the existence of different alpha band rhythms in the hand area of man. *Neurosci. Lett.*, 222, 103-106.
- Babiloni, C.; Babiloni, F.; Carducci, F.; Cincotti, F.; Del Percio, C.; Hallet, M.; Kelso, S.; Moretti, D.; Liepert, J. e Rossini, P. (2003). Shall I move my right or my left hand? An EEG study in frequency and time domains. *J. Psychophysiol.*, 17, 69-86.
- Basar-Eroglu, C.; Strüber, D.; Schurmann, M.; Stadler, M. e Basar E. (1996). Gamma-band responses in the brain: a short review of phychophysiological correlates and functional significance. *Intl. J. Psychophysiol.*, 24, 101-112.
- Bongaardt, R. e Meijer, O. (2002). Bernstein's theory of movement behavior: historical development and contemporary relevance. *J. Motor Behav.*, 32, 57-71.
- Bonini-Rocha, A.C.; Timm, M.I.; Chiaramonte M.; Zaro. e Petersen R.D. (2008). Pesquisa Educacional no Brasil: intersdisciplinaridade como forma de agregar valor científico e experimental. *Revista Virtual e Anais, INTERTECH/2008, International Conference on Engineering and Technology Education* (pp 718-721). São Paulo.
- Bressler, S.L. (1990). The gamma wave: a cortical information carrier? *TINS*, 13, 161-162.
- Brooks, V. (1986a). Controlled Variables. Em: *The Neural Basis of Motor Control*. (pp. 129-147). New York: Oxford University Press.
- Brooks, V. (1986b). The Motor Control. Em *The Neural Basis of Motor Control*. (pp. 230-252). New York: Oxford University Press.

- Bullock, D. e Grosseberg, S. (1988). Neural dynamics of planned arm movements: emergent invariants and speed-accuracy proprieties during trajectory formation. *Psychological Ver.*, 95, 49-90.
- Callegari-Jacques, S.M. (2004). *Bioestatística*. Princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed.
- Campos-de-Carvalho, M.I. (2003). Pesquisas contextuais e seus desafios: uma contribuição a partir de investigações sobre arranjos espaciais em creches. *Est. Psicol.*, 8, 289-297.
- Cantero, J.; Atienza, M.; Madsen, J. e Stickgold, R. (2004). Gamma EEG dynamics in neocortex and hippocampus during human wakefulness and sleep. *Neuroimage*, 22, 1271-1280.
- Choshi, K. (2000). Aprendizagem Motora como um problema mal definido. *Rev. Paulista Ed. Fís.*, 3, 16-23.
- Devlin, K. (2000). *The Math Gene*, Weidenfeld & Nicolson, Great Britain.
- Fairchough, S.H.; Venables, L. e Tattersall, A. (2005). The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. *Intl. J. Psychophysiol.*, 56, 171-184.
- Fitch, H.; Tuller, B. e Turvey, M. (1982). The Bernstein perspective: Part III. Tuning of coordinative structures with special reference to perception. Kelso, J.A.S. (Ed.). Em: *Human Motor Behavior: an introduction*. (pp.271-282). New Jersey: LEA Publishers.
- Fitch, H. e Turvey, M. (1978). On the control of activity: some remarks from an ecological point of view. Landers, D.M. e Christina, R. W. (Eds.). Em: *Psychology of Motor Behavior and Sport*. (271-282). Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Fitts, M.P. e Posner, M.I. (1967). *Human Performance*. Belmont, California: Brooks-Cole.
- Frey, U. e Morris, R. (1997). Synaptic tagging and long-term potentiation. *Nature*, 385, 533-536.
- Ganong, W.F. (2003). "Higher Functions of the Nervous System": Conditioned Reflexes, Learning, Related Phenomena. Em: *Review of Medical Book of Physiology*. (pp. 259-269). 21^a Ed. New York: McGraw Hill.
- Gatti, B.A. (2001). Implicações e Perspectivas da Pesquisa Educacional no Brasil Contemporâneo. *Cadernos de Pesquisa*, 113, 65-81.
- Gatti, B.A. (2004). Estudos Quantitativos em Educação. *Ed. Pesq.*, 30, 11-30.
- Gevins, A.S.; Zeitlin, G.; Yingling, C.D.; Doyle, J.C.; Dedon, M.F.; Schaffer, R.E.; Roumasset, J.T. e Yeager, C.L. (1979a). EEG Patterns during 'cognitive' tasks. I. Methodology and analysis of complex behaviors. *Eletroencephalography Clin. Neurophysiol.*, 46, 693-703.
- Gevins, A.S.; Zeitlin, G.; Doyle, J.C.; Schaffer, R.E.; Callaway, E. (1979b). EEG Patterns during 'cognitive' tasks. II. Analysis of controlled tasks. *Eletroencephalography Clin. Neurophysiol.*, 46, 704-710.
- Gibson, J. (1991). *Na odyssey in learning an perception*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Goldfield, E. (1995). *Emergent Forms: origins and early development of human action and perception*. New York: Oxford University Press.
- Hirai, N.; Uchida, S.; Maehara, T.; Okubo, Y. e Shimizu, H. (1999). Enhance gamma (30-150 Hz) frequency in the human medial temporal lobe. *Neuroscience*, 90, 1149-1155.
- Hjorth, B. (1975). A on-line transformation of EEG scalp potentials into orthogonal source derivations. *Electroencephalography Clin. Neurophysiol.*, 39, 526-530.
- Jessel, L.T. (1997a). Ciência Neural Cognitiva. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel, L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.257-292). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Jessel, L.T. (1997b). Percepção. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel, L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.297-387). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

- Kandel, E.R. (1997a). Uma Visão Global. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.5-34). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Kandel, E.R. (1997b). Linguagem, Aprendizagem e Memória. Em: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. e Jessel, L.T.M. (Org.) *Fundamentos da Neurociência e do Comportamento*. (pp.501-554). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Keele, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bull.*, 70, 387-403.
- Keele, S.W. (1982). Part III: From Components Analysis to Motor Program. Em: Kelso, J.S. (Ed). *Human Motor Behavior: An Introduction*. (pp. 143-186). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Kelso, J.A.S. (1999). *Dynamic Patterns: the self organizations of brain and behavior*. Cambridge: The MIT Press.
- Kelso, J.A.S. (1977). Motor control mechanisms underlying human movement perception. *J. Exp. Psychol. Human Perception Performance*, 3, 529-543.
- Kim, J.A.; Wliassen, J.C. e Sanes, J. (2005). Movement quantity and frequency coding in human motor areas. *J. Neurophysiol.*, 94, 2504-2511.
- LaMantia, A.S. e Katz, L. (2005a). Modificações de Circuitos Encefálicos como resultado da Experiência. Em: Purves, D.; Augustine, G.J.; Fitzpatrick, D.; Katz, L.C.; LaMantia, A.S.; McNamara, J.O. e Williams, S.M. (Org.) *Neurociências*. (pp. 520-534). 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- LaMantia, A.S. e Katz, L. (2005a). Plasticidade de Sinápses. Em: Purves, D.; Augustine, G. J.; Fitzpatrick, D.; Katz, L.C.; LaMantia, A.S.; McNamara, J.O. e Williams, S.M. (Org.) *Neurociências*. (pp. 535-562). 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- Lent, R. (2001a). Os Neurônios se transformam. Bases Biológicas da Neuroplasticidade. Em: *Cem Bilhões de Neurônios*. (pp. 133-163). São Paulo: Atheneu.
- Lent, R. (2001b). As Bases Neurais da Percepção e Atenção. Em: *Cem Bilhões de Neurônios*. (pp. 555-586). São Paulo: Atheneu.
- Lent, R. (2001c). As Bases Neurais da Memória e Aprendizagem. Em: *Cem Bilhões de Neurônios*. (pp. 587-618). São Paulo: Atheneu.
- Lopes, C. (2005). *Análise de sinais de EEG utilizando a transformada de Wavelets discreta e as redes neurais artificiais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 46 p.
- Luft, C. e Andrade, A. (2007). A pesquisa com EEG aplicada á área de aprendizagem Motora. *Rev. Port. Ciências Desp.*, 6, 106-115.
- Machado, A. (2004). Estrutura e Funções do Córtex Cerebral. Em: Machado, A. *Neuroanatomia Funcional*. (pp. 257-274). 2ª Ed. São Paulo: Atheneu.
- MacKay, W.A. (1977). Synchronized neuronal oscillations and their role in motor processes. *TICS*, 1, 176-183.
- Niedermeyer, E. e Silva, F.L. (1993). *Elettroencefalography*. Em: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Field. 3ª Ed. Maryland: Willians & Wilkins.
- Marteniuk, R.G. (1976). *Information processing in motor skills*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Meijer, G. (1988). *The Hierarchy Debate*. Perspectives for a theory and history of movement science. Amsterdam: Free University Press.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven plus of minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Rev.*, 63, 81-97.
- Monteiro, L.H. (2002a). Classificação dos Sistemas Dinâmicos. Em: Monteiro, L.H. *Sistemas Dinâmicos*. (pp. 43-47). São Paulo: Editora Livraria da Física.


- Monteiro, L.H. (2002b). Osciladores de Fase Acoplados. Sincronismo. Em: Monteiro, L.H. *Sistemas Dinâmicos*. (pp. 414-423). São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Pfurtscheller, G.; Neuper, C. e Kalcher, J. (1993). 40-Hz Oscillations during behavior in man. *Neurosci. Lett.*, 164, 179-182.
- Piaget, J. (1987). *O Nascimento da Inteligência na Criança*. 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Pires, K.F. (2004). Análise dos efeitos de diferentes protocolos de eletroestimulação neuromuscular através de frequência mediana. *Rev. Bras. Ciências Mov.*, 12, 25-28.
- Popivanov, D.; Mineva, A. e Krekule, I. (1999). EEG patterns in theta and gamma frequency range and their probable relation to human voluntary movement organization. *Neurosci. Lett.*, 267, 5-8.
- Posner, M.I. (1969). Short term memory systems in human information processing. Em: Haber, R.N. (Ed.) *Information-processing approaches to visual perceptions*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Purves, D. (2005). A Memória Humana. Em: Purves, D.; Augustine, G.J.; Fitzpatrick, D.; Katz, L.C.; LaMantia, A.S.; McNamara, J.O. e Williams, S.M. (Org.) *Neurociências*. (pp. 665-661). 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- Rasia-Filho, A.A. (2006). Is there anything "autonomous" in the nervous system? *Adv. Physiol. Ed.*, 30, 9-12.
- Reed, E.S. (1982). Na outline of a theory of action systems. *J. Motor Behav.*, 14, 98-134.
- Rossini, P.M. e Pauri, F. (2000). Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas "plastic" reorganization. *Brain Res. Rev.*, 33, 131-154.
- Sage, G.H. (1984). *Motor Learning*. Em: A neuropsychological approach. Dubuque, Iowa: WCB.
- Schieber, M.H. e Hibbard, L.S. (1993). How somatotopic is the motor cortex hand area? *Science*, 261, 489-493.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Rev.*, 82, 225-260.
- Schmidt, R.A. (1982). Part IV: Generalized Motor Program and Schemas for Movement. Em: Kelso, J.S. (Ed.) *Human Motor Behavior: An Introduction*. (pp. 189-238). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. Inc.
- Schmidt, R.A. e Wrisberg, C. (2001). *Aprendizagem e Performance Motora*. Uma abordagem da aprendizagem baseada no problema. 2ª Ed. Porto Alegre: Artmed.
- Schmidt, R.A. e Lee, T. (1999a). Human Information Processing. Em: Schmidt, R.A. e Lee, T. *Motor Control and Learning. A Behavioral Emphasis*. (pp. 41-59). Champaign: Human Kinetics.
- Schmidt, R.A. e Lee, T. (1999b). Sensory Contributions to Motor Control. Em: Schmidt, R.A. and Lee, T. *Motor Control and Learning. A Behavioral Emphasis*. (pp.95-129). Champaign: Human Kinetics.
- Squire, L.R. (2004). Memory systems of the brain: a brief history and current perspective. *Neurobiol. Learn. Memory*, 82, 171-177.
- Squire, L. e Kandel, E. (2003). *Memória*. Da mente às moléculas. Porto Alegre: Artmed.
- Shadlen, M.N. e Newsome, W. (1994). Noise, neural codes and cortical organization. *Cur. Opin. Neurobiol.*, 4, 569-579.
- Shaw, J.C. (1996). Intention as a component of alpha-rhythm response to mental activity. *Intl. J. Psychophysiol.*, 24, 7-23.
- Slobounov, S.; Chiang, H.; Johnston, J. e Ray, W. (2002). Modulates cortical control of individual fingers in experienced musicians: an EEG study. *Clin. Neurophysiol.*, 113, 2013-2024.

- Swenson, R. e Turvey, M. (1991). Thermodynamic reasons for perception-action cycles. *Ecol. Psychol.*, 3, 317-348.
- Stelmach, G.E. (1982a). Information-processing framework for understanding human motor behavior. Em: Kelso, J.A.S. (Ed.) *Human Motor Behavior: An introduction*. (pp. 63-91). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Stelmach, G.E. (1982b). Motor Control and Motor Learning: the close-loop perspective. Em: Kelso, J.A.S. (Ed.) *Human Motor Behavior: An introduction*. (pp. 93-141). New Jersey, Lawrence Erlbaum Associated Inc.
- Tani, G. (2005). *Comportamento Motor*. Aprendizagem e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara/Koogan.
- Tani, G. e Manoel, E.J. (2001). Adaptive process in motor learning. Em: Faro, A. e Sobral, F. (Org.). *A multidisciplinary approach to human movement*. (pp. 77-107). Coimbra: Imprensa de Coimbra.
- Tani, G. (2000). Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora: o papel da variabilidade. *Rev. Paulista Ed. Fís.*, 3, 55-61.
- Thelen, E. e Smith, L. (1994). *A Dynamic System Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge: The MIT Press.
- Tuller, B.; Fitch, H. e Turvey, M. (1982). The Bernstein perspective. Part II. The concept of muscle linkage or coordinative structure. Em: Kelso, J.A.S. (Ed.) *Human Motor Behavior: An introduction*. (pp. 253-270). New Jersey: LEA Publishers.
- Turvey, M.T. e Carello, C. (1981). Cognition: the view from ecological realism. *Cognition*, 10, 313-321.
- Turvey, M. E Carello, C. (1986). The ecological approach to perceiving-acting: a pictorial essay. *Acta Psychologica*, 63, 133-155.
- Turvey, M.T. (1977). Preliminaries to a theory of action with reference to vision. Em: Shaw, R. e Bransford, G. (Eds.) *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an ecological psychology*. (pp. 211-265). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Welford, A.T. (1968). *Fundamentals of Skill*. London: Methuen,
- Winter, D.A. (2005). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. 3ª Ed. New Jersey: Wiley & Sons.

Notas

- (1) A pesquisa foi realizada no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPCMH/UFRGS) no período de março de 2004 a dezembro de 2007 e se refere à tese de doutorado na linha de Desenvolvimento da Coordenação e do Controle Motor.
- (2) Atualmente, alguns pesquisadores, como Devlin (2000), criticam o fato de que Piaget estabeleceu uma teoria geral a partir da observação de poucos sujeitos (seus filhos), em situações não controladas, possivelmente difíceis de serem completamente reproduzidas, em função de diferenças culturais e mesmo de alterações na metodologia de observação utilizada (Piaget, 1987). As críticas, entretanto, não diminuem a importância de sua obra e o pioneirismo do seu legado, na descrição do que chamou epistemologia genética, para explicar a gênese endógena da formação do conhecimento humano, através da construção ativa do conhecimento pelo sujeito. Este tema foi tratado de forma aprofundada em Bonini-Rocha e colaboradores (2008).
- (3) Neuro-glia - diferenciam-se duas linhagens celulares: os neurônios e as células da glia (ou neuroglia) que cumprem funções como sustentar, proteger, isolar e nutrir os neurônios, além de participar ativamente nas sinapses, sendo fundamentais para a função normal do sistema

- nervoso do ponto de vista citológico, molecular e comportamental. Há diversos tipos celulares na neuroglia, distintos quanto à morfologia, a origem embrionária e às funções que exercem.
- (4) Modelos de Performance Humana (Miller, 1956; Posner, 1969; Keele, 1973; Adams, 1976, 1971, 1977; Welford, 1968; Marteniuk, 1976; Stelmach, 1982ab).
- (5) A grande área de Comportamento Motor é composta pelas linhas de pesquisa em Desenvolvimento Motor, Aprendizagem Motora e Controle Motor.
- (6) Conferir em Fitch e Turvey, 1978; Reed, 1982; Tuller *et al.*, 1982; Fitch *et al.*, 1982; Turvey e Carelo, 1981, 1986; Swenson e Turvey, 1991; Gibson, 1991).
- (7) Os estágios cognitivo, associativo e autônomo de Fitts e Posner (1967) já ressaltavam a importância do sistema nervoso nesta função. O desenvolvimento da corrente ecológica da psicologia foi se sustentando partindo do consenso de que o ambiente é percebido e experienciado como mostrado nos testes psicológicos (Campos-de-Carvalho, 2003). Ver também em Sage (1984), Brooks (1986a). Keele (1968, 1982), Schmidt (1975, 1982), Schmidt e Lee (1999b) e Schmidt e Wrisberg (2001), conceitos clássicos das ciências do movimento humano fundamentados em pesquisas científicas com modelo animal e humano no âmbito da fisiologia.
- (8) Complementando-se a terminologia proposta pelo autor, se poderia propor que essas linguagens cognitiva e motora de que fala, seja a informação processada pelo sistema (sinais de um tipo e de outro).
- (9) Experimento-piloto que monitorou, além dos sinais de EEG, sinais neuro-musculares bilaterais da região do músculo extensor dos dedos, com EMG; captação de som; escala de unidade subjetiva de ansiedade (SUDS), e quinta etapa destinada à imaginação da tarefa com olhos fechados; e que não estão descritos neste artigo. O estudo principal foi realizado com o mesmo desenho experimental acrescentado a variável tempo, sendo que o violonista praticou a seqüência de notas lendo a partitura e, deliberadamente, tentando memorizá-la - automatizando-a, uma vez ao dia, e que no último dia de aquisição de sinais ele aprendeu a tarefa (no caso, tocou a seqüência de memória, i.e., sem ler a partitura). A amostra de ambos os experimentos foi composta por alunos de violão do Instituto de Artes (UFRGS), masculinos, destros; de idade entre 17 e 20 anos, que assinaram termo de consentimento livre e informado (aprovado por CEP/UFRGS n. 2006654).
- (10) Procurou-se estabelecer alguma coerência entre as amostragens em termos do tempo, correspondente a escolha de 20 janelas de 3 segundos considerado um *base-line* de 9 segundos desde o início do monitoramento dos sinais.
- (11) Na realidade, há um sem número de outras modificações no âmbito mental (raciocínios, inferências, etc.), no âmbito corporal (equilíbrio, regulação térmica e luminosa, entre outras), que foram desprezados no experimento, pela impossibilidade de isolar todas elas.
- (12) Os dados que serão apresentados testam o próprio desenvolvimento metodológico da pesquisa e a interpretação neurofisiológica do registro de EEG, não se prestando para generalizações ou comprovações sobre o estudo a que se propôs fazer.
- (13) Estudos sobre eletrofisiologia muscular mostram que a mediana da freqüência, por não ser afetada pelos extremos da série de dados, é uma opção mais eficiente do que a média aritmética, representada por um valor provável e amplamente afetada por valores de pico (Winter, 2005; Callegari-Jaques, 2004; Pires, 2004). Como as características de ondas captadas na superfície dos músculos têm a mesma característica aquelas captadas na superfície do escalpo, ou seja, forma periódica de onda, pode-se propor tratar os sinais de EEG da mesma forma.

 - **A.C.B. Rocha** é Graduada em Fisioterapia, Especialista em Administração e Planejamento para Docentes, Especialista em Fisioterapia Neurofuncional, Mestre em Educação e Doutoranda (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano; UFRGS). Atua como Professora da Especialização em Dança (Pontifícia Universidade Católica de Porto Alegre, PUCRS). Endereço para correspondência: Avenida Getulio Vargas, 670/08, Menino Deus, Porto Alegre, RS 90150-002. Telefones para contato: 55-051-3233-1709 ou 55-051-92090057. *E-mail* para correspondência: anabonini@via-rs.net.