O ritmo e a sua relação com som: a influência do contexto sensorial na precisão da percepção e produção de ritmo

Thenille Braun (USP)
José Thales S. Rebouças (USP)
Ronald Ranvaud (USP)

Resumo: O presente artigo apresenta os resultados finais de uma pesquisa neurocientífica realizada no Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento da Universidade de São Paulo. Partindo da hipótese de que a modalidade sensorial das informações temporais pode influenciar diretamente o funcionamento dos relógios internos, foi desenvolvida uma pesquisa cujo objetivo central foi verificar se a precisão da sincronização das batidas sucessivas do dedo a estímulos externos seria alterada em função das modalidades sensoriais dos eventos temporais. Para tanto, foram realizados dois experimentos psicofísicos, cujos resultados confirmaram a hipótese de que a percepção de ritmo é mais fortemente ligada ao sistema auditivo do que ao sistema visual. Os dados obtidos neste trabalho também permitiram sugerir que o mecanismo de temporização interno aparentemente não é único, e apresenta alterações se funcionar em contexto auditivo ou visual.

Palavras-chave: cognição musical; ritmo; percepção de tempo; produção de ritmo; relógios internos.

Abstract: This article presents the final results of a neuroscientific research conducted at the Graduate Program of Neuroscience and Behavior, University of São Paulo. Assuming that the sensory modality of the temporal information can directly affect the functioning of the internal clocks, a research was developed to verify whether the synchronizing accuracy of successive finger tappings to external stimuli would be altered as a function of the sensory modalities of the timing events. To do so, two psychophysical experiments were carried out. Their results confirmed the hypothesis that the perception of rhythm is more strongly linked to the auditory system than to the visual system. The data obtained in this work also suggests that the internal timing mechanism apparently is not unique and changes when working in an auditory or visual context.

Keywords: music cognition; rhythm; time perception; rhythm production; internal clocks.

BRAUN, Thenille; REBOUÇAS, José Thales S.; RANVAUD, Ronald. O ritmo e a sua relação com som: a influência do contexto sensorial na precisão da percepção e produção de ritmo. *Opus*, Goiânia, v. 15, n. 2, dez. 2009, p. 8-31.

A percepção do tempo enquanto essência daquilo que nos permite a mensuração e internalização da noção do *quando* é, sem dúvida, uma das atividades cognitivas mais importantes e fascinantes, pois é fundamental para sequenciar e ordenar eventos, definir durações e intervalos, e ainda, para quantificar movimento. Até mesmo a nossa consciência e sensação de unicidade e continuidade dependem de memória e, nesse sentido, dependem também de um registro temporal, ou seja, da percepção de tempo.

Dentre as diversas atividades nas quais o tempo é uma dimensão fundamental, a capacidade de sincronização de uma ação de forma temporalmente coordenada com estímulos externos é uma competência particularmente importante (LEWIS *et al*., 2004; JANTZEN *et al*., 2004, 2005, 2007; MAUK; BUONOMANO, 2004; REPP, 2005). Essa peculiar habilidade de sincronização sensório-motora é indispensável para atividades nas quais os movimentos devem ser coordenados de maneira precisa, e pode ser observada em sua forma mais apurada e complexa em atividades, como o esporte, a dança, e a música.

No esporte, como, por exemplo, o tênis, os jogadores possuem apenas alguns milissegundos para antecipar a direção da bola, posicionar o seu corpo no ângulo mais favorável, e coordenar a ação motora de forma precisa para atingir a bola no momento exato (WALLISCH, 2008). Além do esporte, há muitas outras atividades humanas em que o tempo tem papel de destaque. Isso ocorre inevitavelmente toda vez que o movimento, ou qualquer tipo de mudança, seja importante. Na dança, por exemplo, os movimentos do corpo devem estar em contínua sincronia com o pulso da música (FLACH, 2005).

Porém, de todas as atividades humanas, talvez seja na música que a experiência de tempo seja a mais íntima, a mais pura, e mais direta (RANVAUD; JANZEN, 2009). Isso porque, a música certamente é uma das artes mais vinculadas à mudança e, portanto, ao tempo. A expressão musical, o tocar de uma peça, tudo ocorre no tempo. A música é uma arte no tempo por excelência.

É preciso lembrar que isso também acontece no cinema e teatro, pois também são expressões artísticas nas quais a dinâmica e a duração temporal são intrínsecas em sua expressão (ao contrário da pintura ou da escultura). Mas na música, assim como na dança, o tempo tem um papel diferenciado, pois o ritmo pode ser considerado a base ancestral dessas artes performáticas. É sobre essa base rítmica que na música se enxertam a melodia e harmonia.

Por essa razão, a música é uma das atividades humanas na qual a sincronização sensório-motora é fundamental. Músicos tocando em um grupo de câmara, por exemplo, devem sincronizar suas ações com os demais instrumentistas de forma muito precisa, utilizando, para tanto, pistas temporais visuais e auditivas. Músicos de orquestra possuem

um desafio adicional que é seguir os gestos do maestro, cujos movimentos apresentam como objetivo central a condução do grupo de instrumentistas em sincronia no tempo. Solistas têm como referência temporal apenas um metrônomo interno que lhes garante a precisão necessária para executar com precisão uma música, em qualquer que seja seu andamento (REPP, 2005).

Também se observa que uma das reações mais naturais a música é bater palmas, estralar os dedos e bater os pés em sincronia com o pulso da música. Pesquisas têm mostrado que os seres humanos possuem uma capacidade muito grande de sincronizar a batida do dedo com estímulos temporais externos, pois pessoas sem qualquer experiência musical podem realizar tarefas de sincronização a estímulos rítmicos com um desvio padrão de aproximadamente 4 %, enquanto músicos treinados apresentam um desvio padrão de apenas 2%. Esse valor é ainda menor quando se tratam de percussionistas, apenas 0.5% (REPP, 2005).

Mas, que mecanismos neurais nos permitem sincronizar nossos movimentos com a música de forma tão precisa? Como isso é possível do ponto de vista neurofisiológico e cognitivo?

Em busca de repostas para estas e outras perguntas, importantes pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de compreender os mecanismos envolvidos na percepção e produção de ritmos (JANTZEN *et al*., 2005; PATEL *et al*., 2005; REPP, 2005; CHEN; REPP; PATEL, 2002). Para analisar as características fisiológicas inerentes ao processamento das informações temporais e da produção de ritmos em laboratório, um dos protocolos mais utilizados é o de *finger tapping*, que consiste na tarefa de coordenação da ação de bater o dedo em sincronia com eventos rítmicos externos. Através deste protocolo experimental, uma linha de pesquisas muito ampla tem produzido resultados com implicações muito significativas, tanto do ponto de vista neurofisiológico quanto para o campo prático da música.

O presente artigo apresenta os resultados finais de uma pesquisa realizada no Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento da Universidade de São Paulo. Este trabalho teve como objetivo verificar se a precisão da sincronização das batidas do dedo a estímulos externos seria alterada em função das modalidades sensoriais dos eventos temporais. Este artigo apresenta uma breve introdução ao tema de estudo a partir de uma revisão de pesquisas recentes, e destaca ainda os materiais e métodos deste estudo. Por fim, são apresentados e discutidos os resultados obtidos.

Relógios internos: os metrônomos neurais

Um dos modelos de relógio interno mais aceito para explicar os processos internos subjacentes à percepção de tempo é o modelo proposto por Treisman (1963). Segundo esse modelo de relógio interno, existem três estágios de processamento da informação temporal: estágio de relógio, estágio de memória e, finalmente, estágio de decisão ou comparação.

Sendo assim, uma primeira estrutura neural atuaria como um *marca-passo*, sendo responsável pelo envio de um fluxo regular de pulsos que traduziria as informações dos estímulos temporais. Essas informações seriam então enviadas a um *acumulador* que integraria esses pulsos de forma linear, de acordo com a duração do evento. O número de pulsos coletados é então comparado com uma amostra armazenada na *memória*, onde então, um *comparador* atuaria a fim de decidir uma resposta adequada àquele estímulo (cf. RIJN; TAATGEN, 2008; DROIT-VOLET; MECK, 2007).

Há indícios que o funcionamento deste relógio interno seria influenciado por diversos fatores psicológicos e fisiológicos. Dentre os fatores que modificam a atuação do relógio interno, pode-se citar a temperatura corporal e variações circadianas. Wearden e Penton-Voak (1995) mostraram que a percepção de tempo é significativamente influenciada pela temperatura corporal, pois, temperatura elevada acima do normal provoca uma rápida passagem do tempo subjetivo. Kuriyama *et al.* (2005) também observaram que a produção de tempo exibe uma variação diurna e também está fortemente correlacionada às variações circadianas da temperatura corporal e aos níveis de melatonina. Através de pesquisas como as supracitadas, tem sido sugerido que a percepção de tempo de curta duração em humanos estaria sob a influência de marca-passos circadianos.

Outros estudos também apontam que *stress*, drogas, emoções e depressão modificam a percepção de tempo (MURATA *et al*., 1999; STETSON; FIESTA; EAGLEMAN, 2007; DROIT-VOLET; MECK, 2007; GIL; DROIT-VOLET, 2009). Dentre estas pesquisas, Gil e Droit-Volet (2009) demonstraram, por exemplo, que o relógio interno de pacientes com depressão atua de forma alterada, já que a percepção de tempo dos pacientes "corre mais devagar". Stetson, Fiesta e Eagleman (2007) sugerem que a percepção da passagem do tempo é superestimada em 36 % em situações assustadoras, como, por exemplo, em um acidente de trânsito, gerando assim, a sensação de que estes eventos seriam mais longos do que realmente são.

Meck e Church (1983) elaboraram um modelo que sugere que a atenção atuaria como um *interruptor*, que permite ou mesmo impede o fluxo de pulsos do marca-passo para o acumulador. Dessa forma, a atuação da atenção seria baseada na relevância da informação temporal.

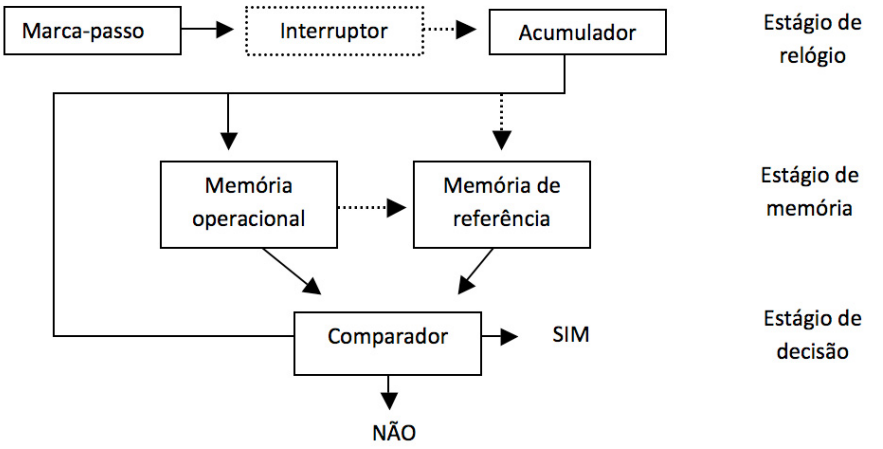

Fig. 1: Modelo de Relógio Interno proposto por Mech e Church (1983). Adaptado de Droit-Volet; Meck (2007).

O modelo inicial proposto por Treisman (1963), predominante nos trabalhos de percepção de tempo e sincronização sensório-motora, tem sido modificado e também questionado por recentes estudos psicofísicos e de neuroimagem (JANTZEN *et al*., 2007; MAUK; BUONOMANO, 2004; LEWIS *et al*., 2004). Isso porque dados empíricos têm apontado que é possível perceber e estimar a duração de diferentes eventos externos apresentados simultaneamente. Esses resultados têm dado suporte à ideia de que o processamento de informações temporais poderia ser mediado por várias estruturas neurais, isto é, não existiria apenas uma estrutura responsável pela percepção de tempo (RIJN; TAATGEN, 2008; JANTZEN *et al*., 2007). Mauk e Buonomano (2004) propõem ainda que, a percepção de tempo não provém de relógios ou sistemas corticais especialmente dedicados ao processamento de tempo, pois todos os circuitos neurais possuiriam uma capacidade inerente para processar informações temporais a partir de mudanças estado-dependentes na dinâmica das redes neurais.

Tendo como premissa a divergência presente na literatura acerca dos modelos de relógios internos que estariam envolvidos com a percepção de tempo e sincronização

sensório-motora, estudos de neuroimagem têm buscado revelar as estruturas neurais relacionadas com a percepção de tempo, o que tem permitido inferir o papel de cada uma das regiões corticais e subcorticais para a percepção e produção de ritmos.

As estruturas neurais envolvidas no processamento de ritmo

Pesquisas mostram que algumas regiões neurais estão diretamente ligadas ao processamento das informações temporais. Dentre as áreas já mapeadas é possível citar, o córtex sensório-motor, área motora suplementar, cerebelo, gânglios da base, tálamo e córtex sensorial (LEWIS *et al*., 2004; JANTZEN *et al*., 2004, 2005, 2007; MAUK; BUONOMANO, 2004; REPP, 2005)

Nos últimos anos, diversos estudos visaram compreender a função específica de cada uma destas áreas para a realização de tarefas, como por exemplo, de *finger tapping*. Lewis *et al*. (2004) desenvolveram uma pesquisa que procurou identificar as áreas neurais ativadas durante a tarefa de bater o dedo em sincronia com estímulos auditivos através do protocolo de sincronização e continuação. Neste protocolo os participantes são instruídos a sincronizar a batida do dedo com estímulos sonoros, e, em um segundo, continuar a bater o dedo no mesmo ritmo, porém, na ausência das pistas. Com isso, os pesquisadores observaram as regiões ativas em três momentos distintos da tarefa: na iniciação da tarefa, na sincronização, e por fim, na continuação da produção de ritmos na ausência das pistas externas.

Foi observado que durante a iniciação da tarefa, onde ocorre a preparação para o teste e seleção dos movimentos, são ativadas áreas como córtex pré-motor, córtex motor suplementar e pré-suplementar bilaterais, córtex pré-frontal dorsolateral e gânglios da base. Já durante a fase de sincronização aos estímulos sonoros, pôde-se observar que o córtex motor suplementar continua ativo bilateralmente, porém, constatou-se que o córtex pré-motor ventral e dorsal, córtex pré-frontal dorsolateral e o córtex motor primário direito, estão envolvidos na sincronização sensório-motora a estímulos externos. Durante a fase de continuação da tarefa na ausência da apresentação das pistas sonoras não foi observada a ativação de nenhuma área diferente, contudo, houve maior ativação do córtex motor suplementar bilateral e dos gânglios da base (LEWIS *et al*., 2004).

Com estes resultados, Lewis e colaboradores sugerem que o córtex motor suplementar e o córtex pré-motor estão ligados à seleção dos parâmetros temporais, e, a ação do córtex pré-frontal estaria envolvida com o monitoramento dos erros temporais. A ausência de atividade significativa ligada à continuação da tarefa sugere que não existem ajustes posteriores dos processos de controle da produção de tempo uma vez que uma

determinada sequência de movimentos foi selecionada e iniciada (LEWIS *et al*., 2004, p. 1311).

Thaut, Demartin e Sanes (2008) mostraram que as atividades de sincronização da batida do dedo com estímulos de pouca complexidade provocam a ativação do córtex motor primário (M1), córtex somatossensorial primário (S1), área motora suplementar, área pré-motora, gânglios da base e cerebelo. Por outro lado, tarefas de sincronização a estímulos polirítmicos exigem uma maior ativação das áreas M1, S1, tálamo, putâmen e cerebelo, além da ativação de outras áreas que não estavam antes envolvidas, como, giro supramarginal, córtex cingulado e giro temporal superior e medial. Assim, foi concluído que quanto maior a complexidade da informação temporal, maior é a ativação do córtex motor suplementar e do cerebelo. Para os pesquisadores, a função do cerebelo para a percepção de tempo e sincronização sensório-motora estaria ligada a uma otimização da integração sensório-motora, enquanto o papel dos gânglios da base seria o de sequenciamento e percepção de aspectos temporais básicos.

Existe um grande debate na literatura a respeito da função do cerebelo na percepção de tempo e coordenação da sincronização sensório-motora. Tem sido sugerido, por exemplo, que a propriedade fundamental do cerebelo é a sua atuação como dispositivo de geração de previsibilidade (*feedforward*) (IVRY *et al*., 2002; MAUK; BUONOMANO, 2004). Resultados que têm dado suporte a essa hipótese mostram que o cerebelo está ativado durante testes nos quais os participantes apenas ouvem uma sequência rítmica (ZATORRE; CHEN; PENHUNE, 2007).

Por outro lado, também é sugerido que o cerebelo possui uma função na correção dos erros temporais. Alguns pesquisadores atribuem essa capacidade ao controle e correção dos erros *online*, baseados na retroalimentação (*feedback*) (ZATORRE; CHEN; PENHUNE, 2007; IVRY *et al*., 2002; MAUK; BUONOMANO, 2004).

Chen, Penhune e Zatorre (2008) propuseram uma pesquisa para estudar a modulação da atividade de determinadas áreas neurais provocada pelo treinamento musical. Seus estudos se basearam na hipótese de que durante tarefas de sincronização sensório-motora a estímulos externos, as regiões motoras estão menos ativadas em músicos. Isso estaria ligado a uma maior eficiência dos circuitos neurais dos músicos devido ao treino extensivo. No entanto, seus resultados mostraram que algumas áreas motoras estão igualmente ativas em músicos e não-músicos como o córtex motor suplementar e pré-suplementar, córtex pré-motor dorsal e o lóbulo VI do cerebelo. Também foi observado que houve ativação de áreas distintas em músicos, a saber, o córtex pré-frontal dorsolateral e áreas de Brodmann 44/45, o que sugere que estas regiões estariam relacionadas com a organização das informações temporais (CHEN; PENHUNE; ZATORRE, 2008; CHEN;

ZATORRE, PENHUNE, 2006).

A partir de resultados de estudos como os supracitados, há indícios de que as regiões neurais ativadas no processamento de informações temporais podem ser influenciadas pela forma como tais informações são disponibilizadas e apresentadas. Isso foi constatado através da observação que a complexidade dos padrões rítmicos, o protocolo experimental utilizado, bem como o treinamento dos participantes, pode modificar o processamento de informações temporais, pois gerariam respostas neurais diferentes (THAUT; DEMARTIN; SANES, 2008; ZATORRE; CHEN; PENHUNE, 2007; LEWIS *et al.* 2004; JANTZEN *et al.*, 2004; MAUK; BUONOMANO, 2004; CHEN; PENHUNE; ZATORRE, 2008).

Outro fator que parece influenciar o processamento das informações temporais é a modalidade sensorial das pistas apresentadas. Jantzen *et al.* (2005) compararam as áreas ativadas durante sincronização com pistas sonoras e luminosas (*beeps* de 1000 Hz e pontos vermelhos que piscavam no centro da tela) e observaram que durante a sincronização com estímulos luminosos as áreas da via visual dorsal estão ativas. O que mais chama a atenção, é que estas áreas continuaram ativas mesmo quando os estímulos não eram mais apresentados, o que sugere que os circuitos da via dorsal estão envolvidos com o processamento de informações temporais apresentadas na modalidade visual. Já na condição com pistas sonoras, foi possível detectar a ativação do giro temporal superior bilateral durante a tarefa de sincronização. No entanto, esta área não se manteve em atividade durante a continuação da tarefa. O que foi sugerido pelos pesquisadores é que as informações temporais sonoras são extraídas com maior facilidade e, portanto, seriam diretamente integradas no sistema motor.

Dados de diversos estudos psicofísicos também têm corroborado a ideia de que a percepção de tempo é mais fortemente ligada ao sistema auditivo do que ao sistema visual.

A influência da modalidade sensorial dos estímulos para a percepção e produção de ritmos

Pesquisas psicofísicas têm sugerido que a modalidade sensorial dos estímulos rítmicos pode modificar a percepção de tempo. Estímulos sonoros frequentemente aparentam ter duração mais longa comparados a estímulos luminosos de mesma duração. Este efeito foi descrito em 1974 por Goldstone e Lhamon (*apud* WEARDEN *et al.*, 1998) e, desde então, vem instigando pesquisas mais aprofundadas a fim de entender os mecanismos que subsidiam esta ilusão.

Wearden e colaboradores (1998) realizaram diversos experimentos onde os participantes estimavam e comparavam a duração de estímulos luminosos e sonoros. Seus resultados mostraram que pistas sonoras são julgadas como mais longas e menos variáveis do que estímulos luminosos. Para explicar esse fenômeno os pesquisadores sugeriram que o relógio interno corre mais rápido para estímulos sonoros do que para as pistas visuais. Já a variabilidade da percepção dos estímulos foi atribuída a uma variabilidade na operação do 'interruptor' do relógio interno relacionada à modalidade sensorial das pistas.

Diversos estudos têm corroborado a constatação de que a sincronização a estímulos luminosos é mais variável e imprecisa quando comparada às pistas sonoras (JANTZEN *et al*., 2005; PATEL *et al*., 2005; REPP, 2005; CHEN; REPP; PATEL, 2002).

No estudo acima citado, Jantzen e colegas buscaram identificar as diferentes regiões neurais recrutadas para o processamento de informações temporais provenientes de estímulos sensoriais de modalidades distintas. Para tanto, os pesquisadores desenvolveram dois experimentos nos quais os participantes os participantes tinham a tarefa de sincronizar a batida do dedo ora a estímulos visuais e ora a estímulos sonoros. Em outro experimento, a tarefa dos voluntários era a de bater o dedo no contratempo, ou seja, exatamente no meio entre estímulos externos sucessivos (visuais ou auditivos). Dados comportamentais deste estudo apontaram que a sincronização a estímulos visuais é menos precisa e menos estável do que na condição auditiva na condição de sincronização. Já no experimento de contratempo, os resultados mostraram que esta tarefa é realizada significativamente mais devagar do que a tarefa de sincronização, o que se deve a dificuldade da tarefa (JANTZEN *et al*., 2005).

Já os dados de neuroimagem desta pesquisa mostraram que as áreas recrutadas nas tarefas com estímulos visuais estavam relacionadas à via dorsal, tendo atividade bilateral em V5, lobo parietal superior bilateral, e córtex pré motor ventral direito. Segundo os autores, estas áreas foram ativadas tanto durante a apresentação do estímulo quanto na tarefa de continuar a bater o dedo na sequência temporal apresentada na ausência dos estímulos. Esse dado sugere ativação de áreas específicas à modalidade sensorial tanto no processamento quanto na representação das informações temporais. Ou seja, Jantzen *et. al*. (2005) propõem que o tempo é representado por regiões corticais diferentes dependentes do contexto sensorial.

Outra evidência de que a percepção de tempo estaria mais ligada ao sistema auditivo é proveniente de pesquisas que enfocam o efeito da atração sonora na dimensão do tempo. Esse fenômeno é conhecido como *ventriloquismo temporal*, descrito por Aschersleben e colaboradores (ASCHERSLEBEN; BERTELSON, 2003; BERTELSON; ASCHERSLEBEN, 2003). Nestes estudos, as tarefas requerem que os participantes

sincronizem a ação de bater o dedo com estímulos isocrônicos sonoros enquanto são apresentados estímulos luminosos distratores de diferentes períodos, ou vice-versa, as pistas são luminosas e os distratores são estímulos sonoros (REPP; PENEL, 2004; KATO; KONISHI, 2006; ASCHERSLEBEN; BERTELSON, 2003). Os resultados de Repp e Penel (2004) mostraram que os distratores sonoros afetam a sincronização com estímulos visuais de forma mais significativa do que a influência dos distratores luminosos. Dessa forma, os participantes tendem a sincronizar sempre com os padrões rítmicos sonoros.

Kato e Konishi (2006) mostraram ainda que a precisão da sincronização foi influenciada pela irregularidade dos estímulos sonoros distratores, mesmo quando as perturbações não eram conscientemente percebidas. A conclusão deste estudo sugere que o processo de correção de erro é mais dependente das informações do sistema auditivo do que das informações provenientes do sistema visual.

Estudos de neuroimagem têm revelado uma conexão entre áreas auditivas e motoras. Evidências mostraram que o córtex pré-motor dorsal estaria envolvido na interação entre o sistema motor e sistema auditivo durante movimentos sequenciais. Chen, Zatorre e Penhune (2006) detalharam que a interação auditivo-motora pode ser observada na modulação da atividade do giro temporal superior posterior e do córtex pré-motor dorsal. Para esses pesquisadores, a área auditiva estaria ligada à codificação dos padrões rítmicos, enquanto o córtex pré-motor seria responsável pela integração entre a informação auditiva e a organização temporal das ações motoras.

Estudos indicam ainda que a modalidade sensorial dos estímulos possui uma relação direta com os limites de percepção e produção de ritmos. O limiar de sincronização com pistas sonoras, pelo menos para músicos, parece estar entre 100/150 ms a 1,800 ms (REPP, 2005, 2006). Estes valores possuem uma relação direta com o conceito de presente psicológico definido por Fraisse (1982). Através do estudo do limiar de percepção de tempo e sincronização a estímulos sonoros, Fraisse demonstrou que é possível perceber estímulos com até 100 ms de intervalos entre cada evento. Se os intervalos entre cada estímulo forem significativamente menores do que 100 ms ocorre o efeito de somação temporal, no qual os ouvintes tem a nítida sensação de estarem ouvindo um evento contínuo (já que não é mais possível perceber que há um intervalo entre cada estímulo). Também foi demonstrado que, se o intervalo entre dois eventos for maior do que 1,500 a 1,800 ms, o sistema nervoso parece ter dificuldade em definir uma ordem contínua entre estes eventos. Isso ocorre, pois a previsibilidade dos intervalos torna-se gradativamente mais difícil, o que, portanto, provoca a interpretação de que os eventos não possuem uma relação entre si (ver também THOMPSON, 2009, p. 113).

Já o limiar de sincronização a pistas luminosas, segundo pesquisas descritas por Repp, parece ser de 460 ms (REPP, 2006). No entanto, estudos anteriores desenvolvidos por Bartlett e Bartlett (1959) sugerem um limiar um pouco abaixo desse valor, afirmando que o menor intervalo para sincronização com estímulos luminosos estaria entre 300 e 500 ms (*apud* REPP, 2006).

Segundo Repp (2005, 2006) o desempenho em tarefas que apresentam simultaneamente estímulos sonoros e luminosos é semelhante ao desempenho nas tarefas apenas com estímulos sonoros. Nesta situação, a variabilidade e a imprecisão, tipicamente demonstradas nas tarefas de sincronização com pistas luminosas, não estariam mais presentes.

Através destes trabalhos foi possível constatar que diversos fatores modificam e influenciam a atuação dos mecanismos neurais envolvidos com a percepção e produção de ritmos. Diversas áreas corticais e subcorticais estão diretamente envolvidas com a percepção de tempo, cujo funcionamento pode ser alterado pela complexidade dos estímulos, protocolo de pesquisa, treinamento dos participantes.

Objetivos

Tomando como hipótese central que a modalidade sensorial das informações temporais parece influenciar diretamente o funcionamento dos relógios internos, foi desenvolvida uma pesquisa cujo objetivo central foi verificar se a precisão da sincronização das batidas sucessivas do dedo a estímulos externos é alterada em função das modalidades sensoriais dos eventos temporais. Com isso, buscou-se obter dados empíricos que permitissem identificar o papel do contexto sensorial em tarefas de sincronização sensório-motora a estímulos rítmicos.

Enquanto objetivos específicos, a presente pesquisa buscou medir a precisão na sincronização sensório-motora em tarefas de sincronia da batida do dedo a estímulos periódicos externos visuais e auditivos, e medir a precisão na continuação da tarefa de manter um ritmo constante, inicialmente definido por pistas externas, agora na ausência de apresentação destes estímulos.

Materiais e Métodos

Participantes

Participaram desta pesquisa 11 sujeitos voluntários (seis mulheres e cinco homens), com idade entre 18 e 30 anos (média de 23 ± 3,41 anos), destros, com visão normal ou corrigida, audição normal, saudáveis, e sem estudo formal de música. Todos os procedimentos obedeceram às recomendações éticas do CONEP, resolução nº 196.

Os sujeitos experimentais foram estudantes de diversos cursos de graduação e pós-graduação da Universidade de São Paulo. Foram excluídos da amostra, indivíduos com dominância manual esquerda, ambidestros, tabagistas e/ou etilistas, indivíduos com alguma patologia sistêmica, oftalmológica e/ou auditiva, uso crônico de medicamentos ou sob medicação controlada, considerando os relatos durante a anamnese.

Outro fator de exclusão importante para este estudo foi o estudo formal de música. Indivíduos músicos ou com instrução musical formal, considerando aulas de música em conservatório, particulares, universidade, ou escola, foram excluídos dos testes. Este critério de exclusão foi adotado, pois, o objetivo desta pesquisa era obter uma amostra que pudesse refletir a população de forma geral. Além disso, foi possível constatar que alguns trabalhos levantados não realizaram esta distinção (por exemplo, MADISON; MERKER, 2004; CHEN; REPP; PATEL, 2002; PATEL *et al*., 2005), apesar de estudos relevantes já apontarem que músicos treinados podem realizar tarefas de sincronização com estímulos de duração 1:1 com uma precisão significativamente maior do que não-músicos (REPP, 2005)



Fig. 2: Participante em situação experimental.

Equipamentos

Dentre os equipamentos utilizados para a realização desta pesquisa estão um microcomputador Athlon XP 2400/512, sistema operacional Windows 2000, e um monitor de vídeo de 19' Samsung modelo Syncmaster 997 DF, com taxa de renovação de tela de 100 Hz. Também foram utilizadas para apresentação dos estímulos sonoros dois alto falantes T.O.P. – S.P. 80 localizados à frente do participante a uma distância de 57 cm. A aquisição das respostas foi feita através de um joystick Leadership – Computer Acessors, conectado ao computador pela porta gameport com resolução e precisão da ordem de um milisegundo.

Os experimentos foram desenvolvidos no programa de computador E-Prime (E-Prime v. 1.1.4 – Psychology Software Tools Inc.) (SCHNEIDER *et al*., 2002). Este programa foi utilizado para a apresentação dos estímulos, bem como para a coleta das respostas dos participantes.

Estímulos

Os estímulos sonoros utilizados possuíam como característica a composição em ondas quadradas de frequência igual a 1000 Hz, duração de 20 ms e períodos de 200 ms, 400 ms, e 800 ms variados em três blocos experimentais distintos. Os estímulos sonoros foram gerados no programa de computador Sound Forge 8.0 e reproduzidos pelo programa E-Prime através de dois alto falantes, localizados ao lado da tela do computador, dispostos a 57 centímetros dos participantes.

Os estímulos luminosos utilizados nesta pesquisa foram pontos vermelhos, em oposição a um fundo de tela preto, apresentados ao centro da tela do monitor a 57 cm do participante, correspondendo a 1,78° de ângulo visual. Os estímulos apresentavam diâmetro de 1,78 cm, 25 cd/m² de luminância e duração de 20 ms. Todos os participantes utilizaram visão binocular e foram orientados a manter o olhar na tela ao longo de todos os experimentos.

O intervalo entre os estímulos (IOI: *inter onset interval*), tanto sonoros quanto luminosos, foi variado em três blocos experimentais apresentados de forma balanceada. Cada bloco experimental era composto por eventos isocrônicos com períodos 200 ms, 400 ms, ou 800 ms. Para tanto, as pistas com períodos de 200 ms eram compostos pela soma dos 20 ms de duração dos estímulos ao intervalo de 180 ms, preservando esta mesma composição para os estímulos de 400 ms e 800 ms.

Procedimentos Experimentais

Os procedimentos experimentais foram realizados em duas sessões distintas, sendo uma primeira sessão de familiarização e outra para coleta dos dados propriamente dita. Cada sessão foi composta por três experimentos, cada um com três blocos distintos, baseados na tarefa de *finger tapping* e no protocolo de continuação - *continuation paradigm* (WING; KRISTOFFERSON, 1973 *apud* REPP, 2005).

Experimento 1

O experimento 1 consistia na sincronização sensório-motora a pistas luminosas isocrônicas, com períodos de 200 ms, 400 ms e 800 ms, organizados em três blocos distintos. A tarefa dos participantes neste experimento era a de sincronizar a batida do dedo, da forma mais regular e precisa possível, aos estímulos luminosos (Fig. 3).

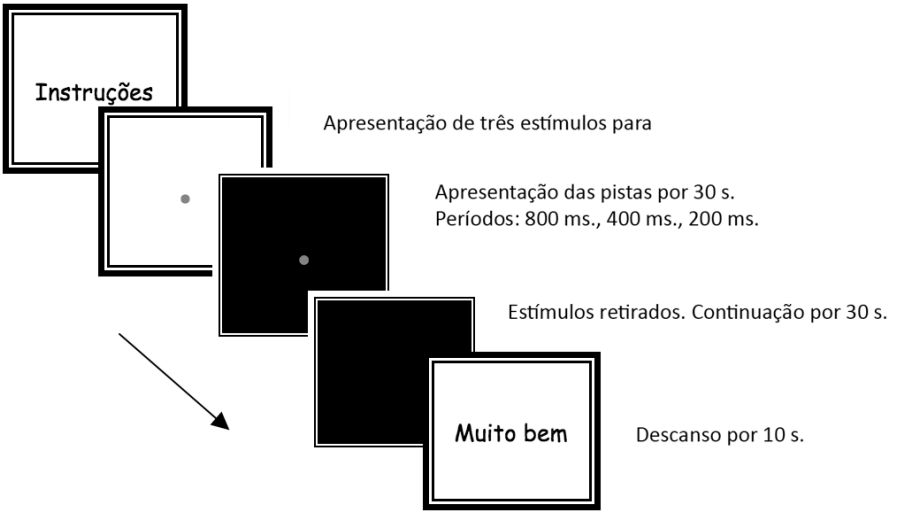

Fig. 3: Diagrama com a representação esquemática da apresentação dos estímulos luminosos em cada bloco do experimento 1.

Primeiramente, duas telas com instruções foram apresentadas, nas quais os participantes tinham o tempo que achassem necessário para ler, se concentrar, e então, autorizar o início do teste através de um clique no botão A do joystick.

Em seguida, os estímulos eram apresentados três vezes em oposição a um fundo de tela branca (FRAISSE, 1982). Durante essas três apresentações dos estímulos, os participantes deveriam se familiarizar com os períodos das pistas aos quais deveriam sincronizar, já que estes eram variáveis em cada bloco experimental. Após a apresentação dos três estímulos para familiarização, os participantes deveriam sincronizar a ação de apertar o botão A do *joystick* com a apresentação dos estímulos luminosos. O fundo da tela do monitor se tornava preta, e os estímulos eram apresentados durante 30 segundos. Após 30 segundos de apresentação/sincronização, os estímulos eram suspensos, e os participantes foram instruídos a continuar a responder na mesma ritmicidade das pistas luminosas previamente apresentadas, por mais 30 segundos. Ao final de um minuto de coleta de dados, o bloco experimental se encerrava com a apresentação de uma tela de descanso com a frase "Muito bem", que durava 10 segundos para descanso do participante.

Em seguida, um novo bloco experimental tinha início, mantendo a mesma organização experimental, porém, com apresentação de pistas de período distinto.

Experimento 2

Este experimento refere-se ao teste de sincronização sensório-motora a estímulos sonoros. A tarefa dos participantes neste teste foi de sincronizar a batida do dedo, da forma mais regular e precisa possível, com os estímulos sonoros. Os participantes também foram instruídos a manter a ritmicidade na tarefa após a remoção das pistas externas. A organização experimental foi idêntica à organização dos blocos no experimento 1.

Análise Estatística

Os estímulos sonoros e luminosos foram apresentados aos participantes por meio de programação de um software comercial, E-Prime, que, nominalmente, garante uma precisão de 1 ms. Este programa também foi utilizado para o registro das respostas manuais. Todos os dados coletados e armazenados estão disponíveis em arquivos com extensão .edat e .txt. A partir destes arquivos, a organização dos dados foi realizada através de rotinas em Python, enquanto as análises dos dados foram feitas no programa Matlab 7.4.

Tendo em vista o interesse em estudar a variabilidade presente em tarefas de

sincronização sensório-motora a estímulos externos e manutenção da ritmicidade induzida por pistas externas, a variável utilizada para verificar o desempenho dos participantes nos experimentos foi o desvio padrão e o coeficiente de variação. Portanto, a análise dos dados foi focalizada nos dados de variabilidade do intervalo entre batidas sucessivas, a partir das quais foram calculados os períodos médios dos intervalos entre as batidas sucessivas, o desvio padrão, bem como, o coeficiente de variação. Para tanto, as análises foram realizadas em Matlab 7.4.

Resultados

A análise estatística comparando as tarefas de sincronização sensório-motora nas condições com estímulos visuais e estímulos sonoros, apontou que a variabilidade na sincronização da batida do dedo a estímulos visuais é mais imprecisa e variável do que na condição de sincronização a estímulos sonoros (Teste t pareado; p = 0,005). Esta constatação pode ser observada no gráfico a seguir (Fig. 3), no qual são apresentados os desvios padrão médio (milissegundos – ms) apenas na fase de sincronização ao estímulos luminosos de 200 ms, 400 ms e 800 ms (barras escuras) e estímulos sonoros (barras claras).

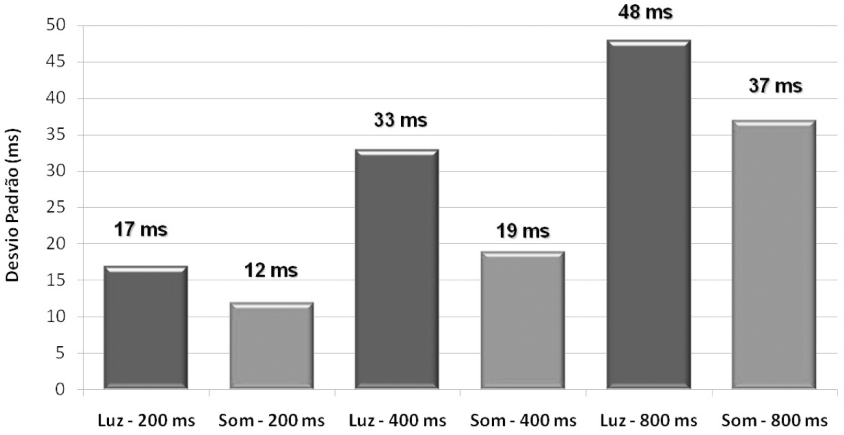

Fig. 4: Gráfico que apresenta os desvio padrão médio (ms) apenas para a fase de sincronização a estímulos luminosos de 200/400/800 ms (barras escuras) e a estímulos sonoros de 200 ms, 400 ms e 800 ms (barras claras). Acima das barras estão discriminados os valores de desvio padrão médio respectivos a cada estímulo.

Também foi verificado que, em geral, mesmo na condição de continuação da tarefa na ausência de apresentação das pistas temporais, a condição a estímulos luminosos apresenta desvio padrão maior que nas tarefas com pistas sonoras (Fig. 4).

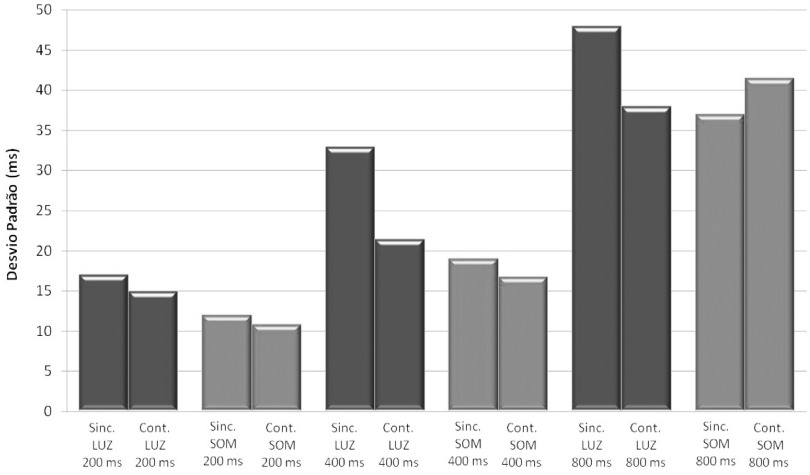

Fig. 5: Gráfico que apresenta os desvio padrão médio (ms) na fase de sincronização (Sinc.) a estímulos luminosos (barras escuras) e a estímulos sonoros de 200 ms, 400 ms e 800 ms (barras claras), como também, para a fase de continuação (Cont.), na ausência da apresentação dos estímulos.

Observa-se que a média dos desvios padrão para a condição de sincronização a estímulos luminosos de 200 ms foi de aproximadamente 17 ms, já na fase de continuação da tarefa sem os guias externos, o desvio padrão médio esteve em torno de 14 ms. Na condição de sincronização com estímulos sonoros de mesma periodicidade, o desvio padrão médio foi em torno de 12 ms, porém, na segunda fase da tarefa, na ausência dos estímulos, o desvio padrão médio foi de aproximadamente 10 ms.

Para os estímulos luminosos com período de 400 ms o desvio padrão médio foi por volta de 33 ms, enquanto na continuação da tarefa a variabialidade esteve em torno de 21 ms. Comparativamente, a variabilidade nas tarefas de sincronização com pistas sonoras, o desvio padrão médio esteve em aproximadamente 19 ms, e na continuação da tarefa a variabilidade foi 16 ms.

A tendência de diminuição da variabilidade na fase de continuação da tarefa

também foi verificada na tarefa com estímulos luminosos de 800 ms, pois quando as pistas luminosas foram removidas o desvio padrão médio foi de 37 ms, enquanto na sincronia foi em torno de 48 ms. No entanto, isso não foi verificado na condição com estímulos sonoros, já que a variabilidade na fase de sincronização esteve ao redor de 37 ms mas na continuação da tarefa o desvio padrão médio foi de 41 ms (Tab. 1).

Tab. 1: Comparação do desempenho nas condições de sincronia (Sinc.) e continuação (Cont.) na tarefa com estímulos luminosos e sonoros de 200 ms, 400 ms e 800 ms.

Estímulo:	LUZ		SOM	
Condição:	Sinc.	Cont.	Sinc.	Cont.
200 ms	17 ms	14 ms	12 ms	10 ms
400 ms	33 ms	21 ms	19 ms	16 ms
800 ms	48 ms	37 ms	37 ms	41 ms

Portanto, comparando os desvios padrão entre as condições na fase de sincronização em relação à fase de continuação, pode-se constatar que a fase de continuação possui geralmente menor variabilidade do que a fase de sincronização às pistas periódicas externas.

Também foi verificado que o desvio padrão possui relação direta com o período dos estímulos, já que a variabilidade aumenta em função dos períodos dos estímulos. Em outras palavras, o desvio padrão aumenta linearmente conforme o aumento do período dos estímulos.

Discussão

Os dados obtidos nesta pesquisa confirmaram a hipótese de que a sincronização sensório-motora é mais precisa e menos variável seguindo pistas sonoras do que pistas luminosas. A maior instabilidade foi constatada quantitativamente devido ao maior desvio padrão no desempenho dos participantes na sincronização sensório-motora a estímulos luminosos. Este resultado confirma as sugestões apresentadas em trabalhos anteriores

(JANTZEN *et al*., 2005; PATEL *et al*., 2005; REPP, 2005; CHEN; REPP; PATEL, 2002).

Tem sido proposto que esta maior variabilidade na sincronia a estímulos visuais decorre de uma maior variabilidade na operação do 'interruptor' do relógio interno relacionada à modalidade visual (WEARDEN *et al*., 1998). Outra sugestão leva em consideração aspectos ligados à conexão neural entre áreas auditivas e motoras. Por exemplo, Chen, Zatorre e Penhune (2006) mostraram que o córtex pré-motor dorsal estaria envolvido na interação entre o sistema motor e sistema auditivo durante movimentos sequenciais, propondo assim que as informações temporais sonoras seriam diretamente integradas no sistema motor.

No entanto, esta pesquisa apresentou um dado ainda não identificado em estudos anteriores. Chama a atenção que a maior variabilidade na tarefa com pistas visuais se mantém na fase de continuação da tarefa, pois, os valores dos desvios padrão médio identificados nestes experimentos continua maior, mesmo na ausência de guias externos. Esse resultado é contrário ao esperado, pois, o desvio padrão, ao invés de aumentar, diminui quando o metrônomo externo é apagado.

A interpretação a este resultado levanta a conjectura de que a referência externa fornecida tanto por estímulos sonoros como luminosos, interfira com referências internas de sincronização motora. Isto levanta a hipótese de que possivelmente ressonâncias ocorram entre as referências externa e interna, de modo que quando as duas estão presentes, o desempenho fique abaixo do que se esperaria. Por outro lado, quando livre da referência externa, o relógio interno seria livre para agir sem interferências, e, portanto, com maior precisão. O ponto chave nessa discussão é que o metrônomo externo aparentemente não exclui a necessidade da participação de mecanismos de temporização internos para a coordenação de movimentos no tempo.

Surpreende que, mesmo na continuação, há melhor desempenho depois da definição de um ritmo por pistas sonoras do que depois de pistas luminosas. Em ambos os casos o padrão temporal do relógio interno aparentemente seria o guia único depois de apagar a pista externa, e, portanto, a variabilidade deveria ser igual nas duas situações. O resultado, que nega essa expectativa, implica que os padrões temporais definidos pelo relógio interno sejam diferentes quando definidos em modalidade visual e auditiva, dado empírico que corrobora indicações levantadas pelos estudos de neuroimagem de Jantzen e colaboradores (2005). Em outras palavras, os dados desta pesquisa sugerem que o mecanismo de temporização interna aparentemente não é único, e apresenta alterações se funcionar em contexto auditivo ou visual.

Conclusões

Partindo do pressuposto que a modalidade sensorial das informações temporais pode influenciar diretamente o funcionamento dos relógios internos, a presente pesquisa procurou verificar se a precisão da sincronização das batidas sucessivas do dedo a estímulos externos seria alterada em função das modalidades sensoriais dos eventos temporais.

Os resultados obtidos neste estudo confirmaram a hipótese de que a percepção de ritmo é mais fortemente ligada ao sistema auditivo do que ao sistema visual, pois constatou-se que a sincronização sensório-motora é mais precisa e menos variável a estímulos sonoros do que luminosos. A maior instabilidade foi constatada quantitativamente pelo maior desvio padrão no desempenho dos participantes na sincronização sensório-motora a estímulos luminosos. Os dados obtidos neste trabalho também permitiram sugerir que o mecanismo de temporização interno aparentemente não é único, e apresenta alterações se funcionar em contexto auditivo ou visual, pois os padrões temporais definidos pelos relógios internos seriam diferentes quando definidos em modalidade visual e auditiva.

A constatação de que a percepção e produção de ritmos estão intrinsecamente ligados ao som apresenta implicações muito relevantes para a prática musical, tanto do ponto de vista da aprendizagem e memorização, como da performance musical. Estudos têm revelado que a informação auditiva (*feedback*) é essencial para a performance, pois músicos tendem a memorizar as peças em termos de atributos auditivos, tais como a duração e a altura das notas (cf. FINNEY, PALMER, 2003). Diversas pesquisas também têm sido realizadas a fim de demonstrar qual o papel do feedback auditivo para a performance musical. Os resultados têm apontado que pequenos atrasos na apresentação do feedback sonoro têm um grande efeito sobre a precisão da execução musical (FINNEY, 1997, 1999; MACKAY, 1987 *apud* PFORDRESHER, PALMER, 2002). Esse é um fenômeno frequentemente percebido em salas de concerto com grande reverberação, e ainda em grandes grupos instrumentais nos quais a informação sonora pode chegar com algum atraso aos demais músicos, observação que reforça a ligação do som com a precisão na performance musical.

N.B.: A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Fisiologia do Comportamento, sob orientação de Ronald Ranvaud, Departamento de Fisiologia e Biofísica do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para obtenção do título de mestre em Neurociências do Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, do Instituto de Psicologia, da Universidade de São Paulo.

Referências

ASCHERSLEBEN, G.; BERTELSON, P. Temporal ventriloquism: crossmodal interaction on the time dimension: 2. Evidence form sensoriomotor synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, v. 50, 2003, p. 157-163.

BERTELSON, G.; ASHCERSLEBEN, G. Temporal ventriloquism: crossmodal interaction on the time dimension: 1. Evidence form auditory-visual temporal order judgment. *International Journal of Psychophysiology*, v. 50, 2003, p. 147-155.

CHEN, J. L.; REPP, B. H.; PATEL, A. D. Spectral decomposition of variability in synchronization and continuation tapping: comparisons between auditory and visual pacing and feedback conditions. *Human Movement Science*, v. 21, 2002, p. 515-532.

CHEN, J. L.; ZATORRE, R. J.; PENHUNE, V. B. Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *NeuroImagem*, v. 32, 2006, p. 1771-1781.

CHEN, J. L.; PENHUNE, V. B.; ZATORRE, R. J. Moving on time: brain network for auditory-motor synchronization is modulated by rhythm complexity and musical training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 20, n. 2, 2008, p. 226-239.

DROIT-VOLET, S.; MECK, W. H. How emotions colour our perception of time. *TRENDS in Cognitive Sciences*, v.11, n. 12, 2007, p. 504-513.

FINNEY, S. A; PALMER, C. Auditory feedback and memory for music performance: sound evidence for an encoding effect. *Memory & Cognition*, v. 31, 2003, p. 51-64.

FLACH, R. The transition from synchronization to continuation tapping. *Human Movement Science*, v. 24, 2005, p. 465-483.

FRAISSE, P. Rhythm and tempo. In: DEUTSCH, D. *The psychology of music*, p. 149-180**.** New York: Academic Press, 1982.

GIL, S.; DROIT-VOLET, S. Time perception, depression and sadness. *Behavioral Processes*, v. 80, 2009, p. 169–176.

IVRY, R.B.; SPENCER, R. M.; ZELAZNIK, H. N.; DIEDRICHSEN, J. The cerebellum and event timing. *Annals of the New York Academy of Sciences,* v. 978, 2002, p. 302-317.

JANTZEN, K. J.; STEINBERG, F.; KELSO, J. A. S. Brain networks underlying human timing behavior are influenced by prior context. *The National Academy of Sciences of the USA*, n. 17, 2004, p. 6818-6820.

JANTZEN, K. J.; STEINBERG, F.; KELSO, J. A. S. Functional MRI reveals the existence of modality and coordination-dependent timing networks. *NeuroImagem*, n. 25, 2005, p. 1031-1042.

JANTZEN, K. J.; OULLIER, O.; MARSHALL, M.; STEINBERG, F.; KELSO, J. A. S. A parametric fMRI investigation of context effects in sensorimotor timing and coordination. *Neuropsychologia*, v. 45, 2007, p. 673-684.

KATO, M.; KONISHI, Y. Auditory dominance in the error correction process: a synchronized tapping study. *Brain Research*, n. 1084, 2006, p. 115-122.

KURIYAMA, K.; UCHIYAMA, M.; SUZUKI, H.; TAGAYA, H.; OZAKI, A.; ARITAKE, S.; SHIBUI, K.; XIN, T.; LAN, L.; KAMEI, Y.; TAKAHASHI, K. Diurnal fluctuation of time perception under 30-h sustained wakefulness. *Neuroscience Research*, v. 53, 2005, p. 123–128.

LEWIS, P. A.; WING, A. M.; B, POPE, P. A.; PRAAMSTRA, P.; MIALL, R. C. Brain activity correlates differentially with increasing temporal complexity of rhythms during initialization, synchronization, and continuation phases of paced finger tapping. *Neuropsychologia*, v. 42, 2004, p. 1301-1312.

MADISON, G.; MERKER, B. Human sensoriomotor tracking of continuous subliminal deviations from isochrony. *Neuroscience Letters*, n. 370, 2004, p. 69-73.

MAUK, M. D.; BUONOMANO, D. V. The neural basis of temporal processing. *Annual Review of Neurosciences*, v. 27, 2004, p. 307-340.

MECK, W. H.; CHURCH, R. M. A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animated Behavior Processes*, v. 9, n. 3, 1983, p. 320-334.

MURATA, J.; MATSUKAWA, K.; SHIMIZUA, J.; MATSUMOTO, M.; WADAA, T.; NINOMIYA, I. Effects of mental stress on cardiac and motor rhythms. *Journal of the Autonomic Nervous System*, v. 75, 1999, p. 32–37.

PATEL, A. D.; IVERSEN, J. R.; CHEN, Y.; REPP, B. H. The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research*, v. 163, 2005, p. 226-238.

PFORDRESHER, P. Q.; PALMER, C. Effects of delayed auditory feedback on timing of music performance. *Psychological Research*, v. 16, 2002, p. 71-79.

RANVAUD, R.; JANZEN, T. B. O tempo no mundo, na vida e no laboratório. *Revista USP*, v. 81, março/maio 2009, p. 94-105.

REPP. B. H. Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review,* v. 12, n. 6, 2005, p. 969-992.

_____. Rate limits of sensoriomotor synchronization. *Advances in Cognitive Psychology,* v. 2, n. 2-3, 2006, p. 161-181.

REPP, B. H.; KELLER, P. E. Adaptation to tempo changes in sensoriomotor synchronization: effects of intention, attention, and awareness. *The Quartely Journal of Experimental Psychology Section A*, v. 57, n. 3, 2004, p. 499-521.

REPP, B. H.; PENEL, A. Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Pshychological Research*, v. 68, 2004, p. 252-270.

RIJIN, H. van; TAATGEN, N. A. Timing of multiple overlapping intervals: how many clocks do we have? *Acta Psychologica*, v. 129, 2008, p. 365-375.

SCHNEIDER, W.; ESCHMAN, A.; ZUCCOLOTTO, A. *E-Prime user's guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc., 2002.

STETSON, C.; FIESTA, M. P.; EAGLEMAN, D. M. Does time really slow down during a frightening event? *PLoS ONE*, v. 2, n. 12, 2007, p. e1295.

THAUT, M. H.; DEMARTIN, M.; SANES, J. N. Brain networks for integrative rhythm formation. *PLoS ONE*, v. 3, n. 5, 2008, p. e2312.

THOMPSON, W. F. *Music, thought and feeling: understanding the psychology of music*. New York: Oxford University Press, 2009.

TREISMAN, M. Temporal discrimination and the indifference interval: implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs*, vol. 77, n. 13, 1963, p. 1-31.

WALLISCH, P. An odd sense of timing. *Scientific American Mind*, Feb./Mar. 2008, p. 37-43.

WEARDEN, J. H.; PENTON-VOAK, I. S. Feeling the heat: body temperature and the rate of subjective time, Revisited, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, v. 48, n. 2, 1995, p. 129-141.

WEARDEN, J. H; EDWARDS, H.; FAKHRI, M.; PERCIVAL, A. Why "sounds are judged than lights": application of a model of the internal clock in humans. *The Quarterly Journal of Exp. Psychology Section B*, n. 51, 1998, p. 97-120.

ZATORRE, R. J.; CHEN, J. L.; PENHUNE, V. B. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Neuroscience*, v. 8, 2007, p. 547-558.

Thenille Braun é graduada em Música pela Universidade Federal de Uberlândia (2007) e mestre em Neurociências pela Universidade de São Paulo (2010). Atualmente é aluna de doutorado em Neurociências pela Universidade de São Paulo em co-tutela com a Macquarie University – Sydney, Australia, onde atua sob orientação do professor Dr. William F. Thompson. Tem experiência na área de Cognição Musical, com ênfase em Percepção e Atenção Temporal, e Performance Musical, atuando principalmente nos seguintes temas: sincronização sensorio-motora, percepção e produção de ritmos, atenção temporal, análise biomecânica dos movimentos de instrumentistas e performance musical.

José Thales S. Rebouças é doutorando em Fisiologia Humana na Universidade de São Paulo. Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Escola de Engenharia Mauá (1974), graduação em Direito pela Universidade de São Paulo (1989) e mestrado em Comparative Law - Cumberland School of Law (1999).

Ronald Ranvaud possui graduação em Física pela Oxford University (1967) e doutorado em Física pela Brown University (1973). Depois de cinco anos no Instituto Max Planck para o estudo da Física do Estado Sólido (1973-1978), atuou em pesqusa aplicada por dez anos no Instituto de Pesquisas Espaciais em São José dos Campos (1978-1988). Atualmente é professor doutor da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Fisiologia do Comportamento, com ênfase em Processos Perceptuais e Motores, atuando principalmente nos seguintes temas: orientação e navegação em aves e seres humanos; atenção, distribuição da atenção no campo visual, cronometria mental, integração visuo-motora, com ênfase em aplicações ao esporte e à compreensão da importância da música na vida dos seres humanos.