

A música por uma óptica neurocientífica

Viviane Cristina da Rocha (Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP)
vivianerocha85@gmail.com

Paulo Sérgio Boggio (Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP)
paulo.boggio@mackenzie.br

Resumo: O estudo da neurociência tem trazido muitas contribuições em diversas áreas, buscando melhor compreender o funcionamento do cérebro humano. O estudo da música tem sido valorizado em diversas áreas, das quais se destacam a percepção auditiva, a relação entre música e movimento, a relação entre música e memória, estudos com música e linguagem, além daqueles acerca das emoções evocadas por música. Além disso, muitos estudos têm apontado para o papel da música como ferramenta de intervenção em diferentes alterações neurológicas como afasia, autismo e dislexia. Este artigo apresenta uma revisão dos trabalhos publicados em periódicos internacionais, na última década, relacionados à música e neurociência, representativos de cada uma das sub-áreas acima citadas. Concluiu-se que há contribuição da neurociência tanto para o campo de música, da pedagogia musical e da *performance*, quanto para o campo da musicoterapia.

Palavras-chave: neurociência da música; emoção e música; linguagem e música; reabilitação e música.

A neuroscientific perspective on music

Abstract: The field of neuroscience has brought several contributions to numerous different areas, in order to achieve a better understanding of the human brain function. The study of music and how it affects people's brains has been studied in conjunction with many other areas, such as music perception, movement, memory, language and music evoked emotions. Also, many articles have been pointing out to music as a rehabilitation tool in different neurological alterations, such as aphasia, autism and dyslexia. This article presents a review of representative studies published in the last decade about neuroscience and music, especially on the areas quoted above. In conclusion, one can perceive the possibilities of contributions from neuroscience to the field of music itself, as well as music pedagogy, music performance and music therapy.

Keywords: neuroscience of music; emotion and music; language and music; rehabilitation and music.

1 – Introdução

Será muito difícil encontrar uma pessoa que não vivencie a música em seu dia-a-dia. A música se faz presente na vida das pessoas de diversas formas, seja ouvindo música no carro, assistindo a filmes ou propagandas de televisão, indo a concertos, shows ou mesmo estudando um instrumento musical. A música, junto à linguagem, é um dos traços exclusivos dos seres humanos. Apesar da existência do canto dos pássaros e alguns tipos de comunicação entre primatas e baleias, por exemplo, nenhuma outra espécie possui esses dois domínios organizados da maneira como são nos seres humanos (MITHEN, 2006). Além disso, a música é tão antiga na vida do homem, que é anterior à própria linguagem e à agricultura (LEVITIN, 2008). Embora não se saiba, ao certo, o papel evolutivo desempenhado por ela, não se pode negar sua importância em nossas vidas, dada sua onipresença, independente da cultura em que está inserida.

Nas últimas décadas, o avanço das Neurociências tem possibilitado uma maior compreensão sobre a relação entre música e sistema nervoso. Técnicas como imagem por ressonância magnética (IRM) têm possibilitado, por exemplo, a verificação de diferentes volumes de estruturas cerebrais específicas como o corpo caloso, córtex motor e cerebelo quando se compara músicos de alto desempenho e não músicos (SCHLAUG *et al.*, 1995). Nesse sentido, muito tem se discutido sobre efeitos neuroplásticos resultantes do treino musical, por exemplo. Já estudos com IRM funcional (IRMF) têm possibilitado o estabelecimento de correlações entre determinadas áreas cerebrais e funções, habilidades musicais ou processamento de sons. Autores como Robert Zatorre (ZATORRE; BELIN; PENHUME, 2002), pioneiro nos estudos de neurociência e música, estabeleceram, por exemplo,

o papel do hemisfério direito no processamento de música, detalharam o processamento de informação auditiva e musical realizado pelo córtex auditivo e discorreram sobre percepção e produção musicais, ou seja, sobre a interação de funções auditivas e motoras. No caso dessas duas técnicas (IMR e IMRF) amplamente empregadas em neurociências, a informação fornecida tem como principal característica a alta resolução espacial. Em função disso, estudos sobre as bases neurais da música também têm empregado técnicas como a eletroencefalografia (EEG) e análise de potenciais evocados relacionados a eventos (PE) como forma de entender os aspectos temporais relacionados ao processamento de informação musical. O EEG é uma técnica que permite mensurar e determinar com alta precisão temporal o engajamento cognitivo causado por determinada tarefa (AMODIO; BARTHLOW, 2011). É comumente utilizado em experimentos que investigam a detecção auditiva de dissonâncias, quebra de expectativa em música ou detecção de erros em melodias, por exemplo (BESSON; FAÏTA, 1995; BRAUN *et al.*, 2008). A análise de potenciais evocados (PE) permite que se possa compreender se o cérebro tem maior ou menor facilidade em detectar dissonâncias se comparadas a consonâncias. Esse tipo de pesquisa leva a discussões acerca do componente biológico de construções melódicas. Por meio da análise de potenciais evocados, pode-se analisar em janelas de tempo da ordem de milissegundos, o engajamento cognitivo do indivíduo em determinada tarefa. Essa análise é feita por meio dos potenciais ou componentes, que são nomeados de acordo com a janela de tempo em que aparecem e a polaridade (negativa ou positiva). Dessa forma, o componente N400 é analisado numa janela de tempo de cerca de 400 milissegundos e tem polaridade negativa (DUNCAN *et al.*, 2009; LUCK, 2005). O EEG tem sido amplamente utilizado em estudos que buscam compreender as semelhanças e diferenças entre o processamento musical e verbal. Como exemplo desta técnica, KOELSCH *et al.* (2004) mostraram que o componente N400, tipicamente relacionado ao processamento semântico da linguagem verbal é encontrado de forma semelhante durante o processamento de informação semântica não-verbal (musical). Com isso, estreita-se a relação entre aspectos básicos do processamento de informação verbal e musical. Da mesma forma, o estudo da neurociência da música tem trazido, nas últimas décadas, uma série de contribuições para o melhor entendimento dos efeitos causados pela música nos indivíduos e de seu impacto no funcionamento do cérebro humano (PERETZ; ZATORRE, 2004).

Em função dos estudos crescentes na literatura científica internacional e do número reduzido de trabalhos publicados no Brasil, esta revisão buscou apresentar os principais tópicos estudados na relação entre música e neurociência, assim como apontar para novas perspectivas de investigação.

2 – Percepção de estímulos auditivos

A percepção do som envolve uma série de estruturas cerebrais, tais como córtex pré-frontal, córtex pré-motor, córtex motor, córtex somatosensorial, lobos temporais, córtex parietal, córtex occipital, cerebelo e áreas do sistema límbico, incluindo a amígdala e o tálamo (OVERY; MOLNAR-SZACKACS, 2009). Essas áreas envolvidas na percepção musical envolvem desde a percepção auditiva do som, até o reconhecimento de seus parâmetros básicos (altura, duração, timbre e intensidade) e as relações entre eles. Além disso, a percepção musical envolve, também, o entendimento da forma e a compreensão de organizações hierárquicas (sintaxe musical). Tanto a percepção primária do som quanto seu entendimento sintático são modulados pela experiência emocional de se ouvir música. A integração de áreas corticais do cérebro com o sistema límbico (responsável pelas emoções) faz com que o processamento musical seja influenciado pela emoção (LEVITIN; TIROVOLAS, 2009).

Muito do que se sabe sobre estruturas cerebrais e música advém de estudos com pacientes que sofreram lesões cerebrais. São estudos tipicamente correlacionais que investigam a relação entre áreas cerebrais acometidas e alterações na percepção de diversos desses parâmetros musicais. Por exemplo, pacientes que apresentam lesão no córtex temporal direito tipicamente perdem a capacidade de reconhecer melodias mantendo a percepção rítmica. Por outro lado, pelo fato destas informações serem do tipo correlacionais, ainda não se sabe como o cérebro realiza a integração desses parâmetros percebidos separadamente em uma só música (PERETZ; ZATORRE, 2004), sendo que há pouca informação sobre as computações neurais envolvidas em cada etapa, assim como a forma como estas são integradas no tempo.

Estudos de neuroimagem indicam que o córtex temporal direito desempenha um papel importante na percepção de melodia (ZATORRE; CHEN; PENHUME, 2007). Além disso, mostram que pacientes com lesões na porção anterolateral direita do giro de Heschl apresentam dificuldades na percepção de sons cuja frequência fundamental foi extraída, além de dificuldades na identificação do contorno melódico em músicas (PERETZ; ZATORRE, 2004). É importante notar que o cérebro humano é capaz de identificar as notas cuja frequência fundamental foi extraída pela análise dos harmônicos do som, deduzindo a fundamental (LEVITIN, 2010).

Da mesma forma, a percepção de ritmos recruta uma série de outras estruturas, tais como gânglios basais, cerebelo, córtex pré-motor dorsal e área motora suplementar. A percepção rítmica, assim como ocorre com a melódica, é realizada pelo cérebro em diversos níveis hierárquicos, por isso o envolvimento de um grande número de estruturas cerebrais. Quanto mais complexo o padrão rítmico ouvido, maior a atividade neural de quem ouve (CHEN; PENHUME; ZATORRE, 2008). É importante notar que a percepção rítmica envolve áreas motoras do cérebro, independente

de se executar ou somente ouvir música, o que sinaliza para mecanismos de integração multisensorial e motora (ZATORRE; CHEN; PENHUME, 2007). Esse assunto será tratado com maiores detalhes na seção seguinte.

3 – Música e movimento

Um aspecto importante da música, tanto em sua percepção quanto em sua produção é a capacidade de gerar interações auditivo-motoras no cérebro de quem executa e, também, no de quem ouve. Para compreender essas interações é necessário o esclarecimento de dois conceitos importantes:

Feedforward – Relacionado à capacidade do indivíduo de prever eventos. Um exemplo é o fato de que quase todo indivíduo é capaz de bater os pés no ritmo de uma música que escuta. O indivíduo percebe a regularidade da música (estímulo auditivo) e consegue prever e sincronizar o movimento dos pés com ela (resultado motor).

Feedback – Relacionado à capacidade de realizar alterações no processo motor a partir da audição de estímulo sonoro. Um exemplo disso é o violinista que toca uma nota com afinação não muito precisa e consegue, a partir do resultado sonoro, realizar modificações nas posições dos dedos, alcançando, assim, um resultado preciso de afinação (ZATORRE; CHEN; PENHUME, 2007).

Há muitos estudos acerca dessas interações. LAHAV; SALZMAN; SCHLAUG (2007) realizaram um estudo com pessoas sem experiência musical em que ensinavam aos sujeitos sequências simples de 5 notas ao piano. Após o treino, ao ouvirem as sequências treinadas, os sujeitos apresentavam recrutamento de estruturas tanto do córtex auditivo quanto do córtex motor. Para sequências não treinadas, o mesmo não acontecia, ou acontecia com menor intensidade. Estudos como esse indicam a interação entre córtex auditivo e motor. Estabelecer como se dão essas interações pode auxiliar na melhor compreensão dos mecanismos de *feedforward* e *feedback* que regem a *performance* musical.

Em estudo de neuroimagem, VOGT *et al.*(2007) investigaram as interações auditivo-motoras em músicos (violonistas) e não músicos. Cada sujeito era submetido a uma sessão de prática de 4 acordes. No dia seguinte, participavam de uma sessão de ressonância magnética funcional (fMRI) em que assistiam a um vídeo no qual um violonista tocava acordes. Dentre os acordes tocados estavam aqueles treinados além de acordes não treinados. Os sujeitos também eram instruídos a tocar acordes que apareciam no vídeo (treinados e não treinados). Além do teste de desempenho, em que músicos tiveram melhores resultados, os resultados da ressonância mostraram o recrutamento de áreas cerebrais semelhantes na audição e na execução. Essa semelhança apareceu tanto em músicos quanto em não músicos, embora com intensidade diferente nos dois casos. Os resultados indicam que tanto na audição quanto na execução de música ambos os

córtices auditivo e motor são recrutados. O interessante desse dado é que, mesmo somente ouvindo música, sem se executar qualquer tarefa motora, o córtex motor é recrutado. Além disso, apesar de diferenças na intensidade do recrutamento de áreas entre os dois grupos, tanto músicos quanto não músicos obtiveram o mesmo tipo de recrutamento. Isso indica que a interação auditivo-motora não está restrita a pessoas com prática musical, sendo a prática musical relacionada somente à intensidade desse fenômeno. Seguindo a mesma linha, BAUMANN *et al.* (2005) investigaram as áreas cerebrais envolvidas quando pianistas tocavam sem *feedback* auditivo e ouviam as mesmas peças previamente tocadas sem tocar o instrumento. Assim como no estudo anterior, os pesquisadores observaram recrutamento tanto de áreas motoras quanto auditivas durante as duas tarefas – uma puramente motora e outra puramente auditiva. Nas duas situações, tanto o córtex auditivo quanto o córtex motor foram recrutados, fornecendo maiores evidências para o entendimento das interações auditivo-motoras.

Cabe notar que pacientes com doenças neurológicas podem se beneficiar dessas interações auditivo-motoras, como é o caso de pacientes com doença de Parkinson, que, apesar da dificuldade em se locomover, conseguem, por meio da música, adquirir um andar mais fluente. Além disso, esses pacientes conseguem dançar ao ouvir música, o que indica o engajamento de áreas cerebrais relacionadas ao movimento com a simples audição de música (THAUT *et al.*, 2001). Esse efeito estaria relacionado à ativação de circuitos automáticos de movimento, normalmente perdidos durante o processo degenerativo da doença. O que se argumenta é que os circuitos que normalmente engajam áreas relacionadas à locomoção vão perdendo sua função. A música, no caso, atuaria como um agente diferente ao normalmente utilizado no engajamento de tarefas motoras.

Outra questão importante é a relação do sistema de neurônios espelho com a música. Os neurônios espelho foram descobertos primeiramente em macacos e, posteriormente, descobriu-se sistema análogo no cérebro humano (MOLNAR-SZACKACS; OVERY, 2006). Consiste num grupo de neurônios que é recrutado tanto na ação quanto na observação da mesma ação executada por outro indivíduo. São recrutados, também, em resposta à audição de sons relacionados à ação executada por outro indivíduo (RIZZOLATTI; CRAIGHÉRO, 2004). Acredita-se que o sistema de neurônios espelho esteja relacionado ao aprendizado por imitação, tendo sido, possivelmente, responsável pela aquisição da linguagem nos seres humanos (MOLNAR-SZACKACS; OVERY, 2006). Assim como a linguagem, o aprendizado de música é realizado, em grande parte, pela capacidade de imitação (MOLNAR-SZACKACS; OVERY, 2006; OVERY; MOLNAR-SZACKACS, 2009; LEVITIN, 2008). Ao mesmo tempo, apesar de indícios sobre o papel do sistema de neurônios espelho no aprendizado e na prática musical, não se sabe ao certo qual seria a função desses neurônios em relação à música. MOLNAR-SZACKACS e OVERY (2006) propuseram um modelo indicando uma possível contribuição dos

neurônios espelho para a compreensão e organização hierárquica, além de um papel de conexão entre córtex auditivo e sistema límbico, o que teria implicações na percepção de emoções evocadas por música.

4 – Música e linguagem

Tanto a música quanto a linguagem valem-se da manipulação dos diferentes parâmetros do som para sua organização sonora, além de compartilharem a necessidade de uma organização hierárquica. Para a fala, utiliza-se grande variação de timbres em um curto espaço de tempo, formando-se vogais e consoantes. Na música, há maior variação de alturas e a duração de cada som é maior do que na fala. Ao mesmo tempo, as variações de duração desempenham papel mais importante do que na fala, tendo que ser realizadas de maneira precisa. Apesar das diferenças citadas, música e linguagem têm, ambas, organização sintática e implicam compreensão semântica (PATEL, 2008; PATEL *et al.*, 1998; ZATORRE; BELIN; PENHUME, 2002).

Grande contribuição tem sido dada pelos estudos com PE (potenciais relacionados a eventos). Por meio desta técnica não invasiva, pode-se obter resultados com alta precisão temporal, embora não se obtenha resultados precisos de localização dos processamentos neurais (AMODIO; BARTHOLOW, 2011). Um potencial relacionado a evento importante para o estudo da linguagem é o N400, inicialmente descrito por KUTAS e HILLYARD (1980) em resposta a incongruências semânticas textuais. O N400 é um potencial negativo que aparece por volta de 400 milissegundos após o estímulo (KHATEB *et al.*, 2010). KOELSCH *et al.* (2004) realizaram experimentos relacionando o N400 também a incongruências semânticas musicais, sugerindo que a compreensão semântica de música deve ser semelhante à compreensão semântica de textos. Neste estudo foram conduzidos dois experimentos similares. No primeiro, os sujeitos eram apresentados a trechos de frases, seguidos de palavras, que poderiam apresentar congruência ou incongruência semântica com a frase apresentada. Ouviam também, trechos musicais, que poderiam ser seguidos por palavras de conteúdo semântico congruente ou incongruente ao trecho musical apresentado. Os participantes eram instruídos a julgar a palavra como congruente ou incongruente. Tanto na situação musical quanto na situação textual, o potencial N400 foi evocado, com mesma amplitude, indicando o mesmo tipo de processamento neural para semântica textual e musical. No segundo experimento, os trechos apresentados aos sujeitos eram os mesmos, porém os participantes eram instruídos a somente prestar atenção, pois seriam posteriormente submetidos a um teste de memória. Nessa segunda situação, os resultados encontrados foram os mesmos, não havendo diferença com relação à primeira situação. Os resultados sinalizam uma base comum no processamento semântico das informações.

Por outro lado, música e linguagem são processadas de maneira independente no cérebro, havendo predominância do hemisfério direito no processamento musical

(especialmente melodias) e do hemisfério esquerdo para processamento de linguagem. Isso pode ser observado em casos de pacientes com amusia, por exemplo, que têm a fala intacta e apresentam problemas em reconhecimento de músicas (ZATORRE; BELIN; PENHUME, 2002; PFEUTY; PERETZ, 2010). Outro exemplo da independência dos sistemas de processamento de fala e de música é o caso de pacientes com afasia, que mantêm a capacidade de cantar e de reconhecer música, embora tenham dificuldades na fala (ZATORRE; CHEN; PENHUME, 2007).

A afasia consiste na perda total ou parcial da comunicação verbal. Pode ser resultado de lesão na porção posterior do lobo frontal inferior (área de Broca) ou na porção posterior do lobo temporal superior (área de Wernicke), ambas no hemisfério esquerdo do cérebro (SCHLAUG; MARCHINA; NORTON, 2009). Estudos indicam que pacientes com afasia podem se beneficiar da Terapia de Entonação Melódica (*MIT – Melodic Intonation Therapy*). Essa terapia se utiliza de dois elementos principais, o uso de intervalos melódicos próximos aos do canto na fala e a marcação do ritmo da fala com a mão esquerda. Em um estudo conduzido por SCHLAUG; MARCHINA; NORTON (2009), foram acompanhados pacientes com afasia de moderada a severa submetidos a tratamento intensivo de MIT. Os pesquisadores analisaram imagens obtidas por ressonância magnética de estruturas do cérebro dos pacientes antes e depois do tratamento. Além de apresentarem significativa melhora na fala, todos os pacientes apresentaram aumento das fibras do fascículo arqueado do hemisfério direito, área que, no hemisfério esquerdo, conecta as regiões de Broca e Wernicke. Os resultados indicam que a MIT, baseada em intervalos cantados e marcação rítmica pode gerar benefícios na fala de indivíduos com afasia, por meio da reorganização da região homóloga no hemisfério que não sofreu lesão

Na mesma direção, RACETTE; BARD; PERETZ (2006) conduziram três diferentes experimentos com pacientes afásicos. Os experimentos eram relacionados à repetição de palavras, canções, orações e provérbios, além de memória para os trechos repetidos. Os pesquisadores buscavam identificar diferenças entre memória e qualidade de repetição de palavras cantadas ou faladas. Apesar de não encontrarem diferenças significativas nas situações de repetição, encontraram diferenças quando se cantava junto com um estímulo auditivo e quando se falava junto a um estímulo. Este estudo trouxe evidências de que o canto em conjunto pode trazer benefícios para os pacientes por meio da ativação do sistema de neurônios espelho ou de interações auditivo-motoras.

Já com relação à dislexia, estudos revelam que pacientes com este distúrbio apresentam dificuldades de *timing* e ritmo tanto em linguagem quanto em música (MOLNAR-SZACKACS; OVERY, 2006). OVERY (2003) conduziu estudos relacionando habilidades linguísticas e musicais em crianças disléxicas e saudáveis. Os resultados dos experimentos indicam que disléxicos

apresentam os mesmos problemas em música e em linguagem, envolvendo dificuldades motoras com ritmos e dificuldades com rápidos estímulos auditivos. Além disso, um dos experimentos de OVERY propunha um programa de aulas de música com duração de 15 semanas, específico para disléxicos, contendo exercícios de ritmo e canto. Como resultado, obteve-se melhora na capacidade fonológica dos disléxicos e na capacidade de soletrar palavras. No entanto, não houve melhora na capacidade de leitura dos sujeitos.

Por fim, indivíduos autistas, que podem apresentar déficits linguísticos graves, podem se beneficiar de terapias relacionadas ao canto, uma vez que muitos deles se interessam por música. Embora não haja muitos estudos relacionando música e benefícios linguísticos para autistas, existem relatos de casos isolados em que se utilizou uma adaptação da MIT com resultados positivos na aquisição de linguagem em autistas. No entanto, estudos ainda devem ser conduzidos nessa área para que se possa propor um tratamento específico para autistas envolvendo música (WAN *et al.*, 2010).

5 - Música e emoção

A capacidade da música de evocar emoções é uma das suas características mais bem reconhecidas pelos ouvintes. Desde a Antiguidade, discute-se a capacidade da música em evocar sentimentos. PLATÃO, em *A República*, discorre sobre a impressão de traços morais em indivíduos a partir da experiência musical. Para PLATÃO, determinados modos (escalas em que a música grega era baseada) tinham a capacidade de imprimir diferentes traços morais específicos nos indivíduos. O filósofo também acreditava que determinados modos deveriam ser banidos da música grega por incitar aspectos morais pouco nobres nos cidadãos gregos. No período Barroco (1600-1750), compositores guiavam-se pela Teoria dos Afetos, segundo a qual se poderia exprimir determinadas emoções por meio da música, através da correspondência de intervalos melódicos específicos e determinadas emoções (GROUT; PALISCA, 2007).

Do ponto de vista evolutivo, a música pode ter tido papel importante na comunicação de emoções entre os primeiros humanos, ainda sem a linguagem desenvolvida como a conhecemos. A partir do rebaixamento da laringe, trazido pelo advento do bipedalismo, nossos ancestrais puderam produzir uma gama maior de sons, explorando melhor características sonoras como a prosódia, por exemplo. Dessa forma, a música, anterior à linguagem, poderia ter contribuído para a comunicação de estados de ânimo entre humanos. Pode ter contribuído também para a melhor convivência em grupo dos primeiros humanos, por meio de suas características que favorecem a interação social (MITHEN, 2009).

Estudos com emoções evocadas por música indicam diferentes visões entre os pesquisadores. Alguns acreditam que a emoção evocada por música seja

resultado de julgamentos estéticos e envolva, portanto, somente regiões corticais do cérebro, sendo resultado de análises estruturais da música (PERETZ; ZATORRE, 2004). Outra corrente, no entanto, acredita que a música seja capaz de evocar emoções simples, do dia-a-dia, tais como alegria, tristeza, medo e raiva, sendo independente de análises formais. Estudos indicam que a música recrutaria estruturas do sistema límbico e paralímbico e não apenas áreas corticais do cérebro (KOELSCH, 2010). Nesse sentido, indicam que a audição de música agradável implica o recrutamento de regiões cerebrais relacionadas ao sistema de recompensa. Essa atividade seria semelhante à encontrada em resposta ao abuso de drogas, por exemplo. Em estudos que correlacionam medidas de condutância da pele com ressonância magnética funcional, observou-se que, quando os sujeitos ouviam trechos musicais que causavam prazer (medidos por meio da condutância da pele e traduzidos como "arrepios"), áreas dos sistemas límbico e paralímbico relacionadas à recompensa eram recrutadas (BLOOD; ZATORRE, 2001; MENON; LEVITIN, 2005).

Muitos experimentos foram conduzidos buscando-se a melhor compreensão dos parâmetros do som, tanto em linguagem falada quanto em música, e sua relação com as emoções. Em um artigo de revisão sobre o tema, JUSLIN e LAUKKA (2003) compilaram os sinais acústicos de músicas instrumentais e vocais envolvidos na evocação de emoções como alegria, tristeza, raiva, medo e ternura (Ex.1).

SCHERER (1995) também compilou características acústicas de emoção relacionada à voz, cantada e falada. As características foram compiladas para alegria, tristeza, raiva e medo (Ex.2). Esses estudos indicam um padrão comum para a comunicação de emoções entre linguagem falada e música. As características manipuláveis em música para se transmitir emoções seriam semelhantes às da prosódia da fala.

A capacidade da música de regular emoções, apesar de amplamente observada no dia-a-dia, ainda necessita ser mais estudada. O melhor entendimento das estruturas envolvidas na evocação de emoções por música pode contribuir para o tratamento de distúrbios como depressão e doença de Parkinson, uma vez que a música ativa áreas como o hipocampo (que poderia ter relação com a depressão) e o sistema dopaminérgico (região afetada pela doença de Parkinson) (KOELSCH, 2010). Outra contribuição importante pode ser dada a pacientes com Alzheimer. Estudo conduzido por DRAPEAU *et al.* (2009) avaliou o reconhecimento de emoções em faces, voz e música por pacientes com Alzheimer. Os resultados mostraram que os pacientes perdiam somente a capacidade de reconhecer emoções em faces, mantendo a capacidade de reconhecimento de emoções em vozes e música. O melhor entendimento desse processo pode levar a contribuições para o tratamento da doença por meio da música.

Emoção	Sinais acústicos para fala e música vocal
Raiva	Andamento rápido, alta intensidade, frequência fundamental alta, alta variação de frequência
Medo	Andamento rápido, baixa intensidade, frequência fundamental alta, baixa variação de frequência
Alegria	Andamento rápido, intensidade entre média e alta, frequência fundamental alta, alta variação de frequência
Tristeza	Andamento lento, baixa intensidade, frequência fundamental baixa, baixa variação de frequência
Ternura	Andamento lento, baixa intensidade, frequência fundamental baixa, baixa variação de frequência

Ex.1 – Tabela com sinais acústicos de emoção na fala e na música vocal e instrumental. Baseado em JUSLIN; LAUKKA, 2003.

Emoção	Sinais acústicos para fala e música vocal
Raiva	Média de frequência alta, alta variação de frequência, alta intensidade, alta frequência de articulação
Medo	Média de frequência alta, alta variação de frequência, alta frequência de articulação
Alegria	Média de frequência alta, alta variação de frequência, alta intensidade, alta frequência de articulação
Tristeza	Média de frequência baixa, baixa variação de frequência, baixa intensidade, baixa frequência de articulação

Ex.2: Tabela com sinais acústicos de emoções na fala e no canto. Baseado em SCHERER, 1995.

6 – Música e memória

O uso de música como recurso mnemônico traz dúvidas a respeito da natureza da memória para música. Ainda não se sabe, por exemplo, se a memória para música pode ter as mesmas características que a memória para outros tipos de eventos. Além disso, não se sabe por que razão a música facilita a aquisição de memória. A existência de pacientes com demência que podem se esquecer de fatos da própria vida, mas são capazes de cantar canções da infância de cor indica que, se não é especial, a memória para música é, ao menos, diferente da memória para fatos e imagens do cotidiano. Relatos de caso indicam que pacientes que sofrem de demência, com atrofia do lobo temporal esquerdo, apresentam perda de memória semântica, esquecendo-se de palavras e nomes de objetos. No entanto, em músicos com demência, apesar da perda da memória semântica, não há perda da memória musical (WEINSTEIN *et al.*, 2011). Ainda se faz necessária uma maior investigação acerca da memória musical na demência. Além disso, a maioria dos estudos investiga a memória musical em pacientes com demência leve. O estudo desse tipo de memória em outros estágios da doença poderá trazer novas perspectivas a respeito da memória.

Estudos com pessoas saudáveis na área de memória para música quando comparada à memória para textos e preços, por exemplo, indicam que a memória musical funciona da mesma maneira que outros tipos

de memória (SCHULKIND, 2009). Pacientes com lesão no lobo temporal direito podem perder a capacidade de reconhecer músicas, porém não perder a memória para outros assuntos. Estudos sobre reconhecimento de melodias sugerem que este esteja relacionado não só à memória, mas também à análise formal da música ouvida (PERETZ *et al.*, 2009).

A música é amplamente utilizada como recurso mnemônico. No entanto, não se sabe ao certo por que motivo a música amplia as capacidades de memória para textos, por exemplo (SU; WANG, 2010). Uma hipótese reside no compartilhamento de conteúdo semântico entre linguagem e música. Estudos com potenciais evocados indicam que a compreensão sintática e semântica de música é semelhante à de linguagem, sendo que as duas áreas podem compartilhar o recrutamento de áreas neurais. Além disso, é possível que o resultado positivo de um mesmo texto memorizado com música e sem música resida no fato de que as pessoas gostam de música e, portanto, "ensaíam" muito mais um texto com música do que um texto sem música (SCHULKIND, 2009).

Segundo KOELSCH (2010), a ativação de áreas como o hipocampo durante a audição de músicas pode, também, ter relação com a memória, podendo trazer contribuições para intervenções em doenças como Alzheimer.

7 – Música e neuroplasticidade – cérebro de músicos

Além das contribuições com relação a distúrbios neurológicos já citados, são conduzidos muitos estudos com relação à plasticidade e ao cérebro de músicos. Estudos indicam que há diferenças estruturais entre cérebros de músicos e não músicos. Entre as diferenças apontadas estão maior volume do córtex auditivo, maior concentração de massa cinzenta no córtex motor, maior corpo caloso anterior. Estudos envolvendo neuroplasticidade indicam correlação entre tempo de estudo musical e essas diferenças estruturais. Além disso, é possível que haja um período crítico relacionado a essas mudanças, indicando uma possível correlação entre idade em que se começou a estudar música e as mudanças estruturais cerebrais. Apesar das correlações encontradas, não se sabe se as mudanças no cérebro de músicos foram induzidas pelo estudo de música ou se já havia uma predisposição para o desenvolvimento delas anterior ao estudo de música (ZATORRE; CHEN; PENHUME, 2007; SCHLAUG *et al.*, 1995).

Há, ainda, estudos que indicam correlação entre treinamento musical formal e habilidades linguísticas, espaciais e matemáticas. Além disso, há indícios de que a boa discriminação de altura e ritmo em música possa contribuir para boa discriminação fonológica e para desenvolvimento precoce da leitura. Também foram encontradas correlações entre treinamento musical e memória verbal, além de correlação com melhora em testes de QI. Também com relação aos possíveis efeitos do treinamento musical no cérebro, há contribuições dos estudos com potenciais evocados. Estudos com PE indicam que os potenciais N1 e P2, relacionados à discriminação de estímulos auditivos têm maior amplitude em músicos profissionais do que em não músicos (TRAINOR; SHAHIN; ROBERTS; 2009).

Buscando compreender a correlação entre estudo musical e aumento do corpo caloso, SCHLAUG *et al.* (2009a) realizaram um estudo com crianças entre 5 e 7 anos de idade. As crianças foram divididas em três grupos: um grupo com prática semanal de instrumento musical de 1 a 2 horas, um grupo com prática semanal de 2 a 5 horas e um grupo controle que não teve aulas de música. Ao começo do estudo não havia diferenças entre os volumes dos corpos calosos dos sujeitos. Após 29 semanas de prática havia diferença significativa entre o tamanho do corpo caloso das crianças dos três grupos, sendo que as crianças com mais tempo de estudo apresentavam um aumento maior do corpo caloso. HYDE *et al.* (2009) conduziram um estudo semelhante que acompanhou dois grupos de crianças por 15 meses. Um grupo teve aulas de instrumento musical e outro grupo somente participava de aulas de musicalização em grupo na escola. Foram encontradas diferenças em regiões como giro pré-central direito (área motora relacionada a movimento de mãos), corpo caloso e giro de Heschl (área auditiva primária). Esses estudos indicam uma forte possibilidade da indução da plasticidade

cerebral por meio da música. Em um artigo de revisão, TERVANIEMI (2009) também oferece indicativos de que as diferenças encontradas entre cérebros de músicos e não músicos seriam induzidas pela prática musical. Um estudo apontou maior área de representação cerebral dos dedos da mão esquerda em violinistas profissionais (ELBERT *et al.*, 1995). Quanto às diferenças estruturais de cérebros de músicos e não músicos, também há evidências de que o *planum temporale* esquerdo, responsável pelo processamento de sons complexos, seja maior do que o direito em músicos, se comparados a não músicos (TRAINOR; SHAHIN; ROBERTS, 2009).

Além das contribuições do estudo da música para tratamento de distúrbios neurológicos já citadas, pode-se indicar um possível uso da música na área de educação, uma vez que há indícios de correlações entre habilidades musicais e outros tipos de habilidades, desde cognitivas até relacionadas à socialização e integração dos indivíduos.

8 – Perspectivas futuras

Apesar do grande crescimento do número de pesquisas em neurociência da música na última década, ainda há muitas questões a serem respondidas. A possível utilização da música no tratamento de distúrbios neurológicos é uma questão que, apesar de apresentar bons indicativos, ainda necessita de maior exploração para que se possa chegar a propostas concretas de tratamentos. Além disso, apesar do grande número de estudos relacionando música e neuroplasticidade, ainda não se pode afirmar que a música desempenha papel ativo em mudanças estruturais no cérebro. Muitos estudos ainda precisam ser conduzidos na área. Destaque deve ser dado às interações auditivo-motoras que podem contribuir tanto para o tratamento de distúrbios, como para o ensino de música. A prática de alguns instrumentos que geram fadiga muscular pode se beneficiar das interações auditivo-motoras com o objetivo de se reduzir horas de estudo puramente muscular e, ainda assim, manter um bom resultado. Com relação à linguagem, ainda há muita controvérsia na área a respeito das relações desta com a música. Ainda que haja extensa tradição estético-filosófica acerca de emoções evocadas por música, estudos em neurociência apontando para essa direção utilizam como referência somente as emoções básicas, tais como alegria, tristeza, medo e raiva (EKMAN; FRIESEN; O'SULLIVAN, 1987). Apesar desse tipo de emoção poder ser evocado por música, não se pode negar que o fenômeno musical é mais complexo e pode evocar diversas nuances diferentes de emoções nos ouvintes. No entanto, as emoções básicas são um princípio ao estudo de emoções evocadas por música. Dessa forma, apesar dos grandes avanços na última década, estudos apontam para o desenvolvimento de uma série de novos rumos, buscando a resolução das dúvidas acerca desse fenômeno tão caro ao ser humano.

Referências

- AMODIO, D. M., & BARTHOLOW, B. D. Event-related potential methods in social cognition. In A. Voss, C. Stahl, & C. Klauer (Eds.), *Cognitive Methods in Social Psychology*. New York: The Guilford Press, pp. 303-339, 2011.
- BESSON, M.; FAÏTA, F. An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 21, p. 1278-1296, 1995.
- BAUMANN, S.; KOENEKE, S.; MEYER, M.; LUTZ, K. & JANCKE, L. A network for sensory-motor integration: what happens in the auditory cortex during piano playing without acoustic feedback? *Annals of the New York Academy of Science*, v. 1060, p. 186-188, (2005).
- BLOOD, A.; ZATORRE, R.J. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *PNAS*, v. 98, p. 11818-11823, 2001.
- BRAUN, A.; MCARDLE, J.; JONES, J.; NECHAEV, V.; ZALEWSKI, C.; BREWER, C.; DRAYNA, D. Tune deafness: processing melodic errors outside of conscious awareness as reflected by components of the auditory ERP. *PLoS ONE*, v. 3, e2349, 2008.
- CHEN, J. L.; PENHUME, 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, p. 226, 2008.
- DUNCAN, C. C.; BARRY, R. J.; CONNOLLY, J. F.; FISCHER, C.; MICHIE, P. T.; NÄÄTÄNEN, R.; POLICH, J.; REINVANG, I.; VAN PETTEN, C. Event-related potentials in clinical research: guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clinical Neurophysiology*, v. 120, p. 1883-1908, 2009.
- DRAPEAU, J.; GOSELIN, N.; GAGNON, L.; PERETZ, I.; LORRAIN, D. Emotional recognition from face, voice, and music in dementia of the Alzheimer type. *Annals of the New York Academy of Science*, v. 1169, p. 342-354, 2009.
- EKMAN, P.; FRIESEN, W.; O'SULLIVAN, M.; DIACOYANNI-TARLATZIS, I.; KRAUSE, R.; PITCAIRN, T.; SCHERER, K.; CHAN, A.; HEIDER, K.; LECOMPTE, W. A.; RICCI-BITTI, P.; TOMITA, M. Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, v. 53, p. 712-717, 1987.
- ELBERT, T.; PANTEV, C.; WIENBRUCH, C.; ROCKSTROH, B.; TAUB, E. Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, v. 270, p. 305-307, 1995.
- GROUT, D.J.; PALISCA, C.V. *História da Música Ocidental*. 5 ed. Lisboa: Gradiva, 2007.
- HÉBERT, S.; RACETTE, A.; GAGNON, L.; PERETZ, I. Revisiting the dissociation between singing and speaking in expressive aphasia. *Brain*, v. 126, p. 1838-1850, 2003.
- HYDE, K.L.; LERCH, J.; NORTON, A.; FORGEARD, M.; WINNER, E.; EVANS, A.C.; SCHLAUG, G. The effects of musical training on structural brain development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 182-186, 2009.
- JUSLIN, P.N.; LAUKKA, P. Communication of emotions in vocal expression and music performance: Different channels, same code. *Psychological Bulletin*, v. 129, p. 770-814, 2003.
- KHATEB, A.; PEGNA, A.J.; LANDIS, T.; MOUTHON, M.S.; ANNONI, J. On the origin of the N400 effects: An ERP waveform and source localization analysis in three matching tasks. *Brain Topography*, v. 23, p. 311-320, 2010.
- KOELSCH, S. Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 14, p. 131-137, 2010.
- KOELSCH, S.; KASPER, E.; SAMMLER, D.; SCHULZE, K.; GUNTER, T.; FRIEDERICI, A. D. Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, v. 7, p. 302-307, 2004.
- KUTAS, M.; HILLYARD, S.A. Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, v. 207, 1980.
- LAHAV, A.; SALTZMAN, E.; & SCHLAUG, G. Action representation of sound: audiomotor recognition network while listening to newly acquired actions. *Journal of Neuroscience*, v. 27, p. 308-314 (2007).
- LEVITIN, D. J. *A música no seu cérebro: a ciência de uma obsessão humana*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2010.
- _____. *The world in six songs*. New York: Dutton, 2008.
- LEVITIN, D.J.; TIROVOLAS, A.K. Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1156, p. 211-231, 2009.
- LUCK, S. J. *An introduction to the event-related potential technique*. London: The MIT Press, 2005.
- MENON, V.; LEVITIN, D.J. The rewards of music listening: Response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *NeuroImage*, v. 28, p. 175-184, 2005.
- MITHEN, S. *The singing Neanderthals. The origins of music, language, mind and body*. Harvard University Press: Cambridge, 2006.
- MITHEN, S. The Music Instinct. The evolutionary basis of musicality. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 3-12, 2009.
- MOLNAR-SZACKACS, I.; OVERY, K. Music and mirror neurons: from motion to e'motion. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, v.1, p. 234-241, 2006.
- OVERY, K. Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 999, p. 497-505, 2003.
- OVERY, K.; MOLNAR-SZACKACS, I. Being together in time: musical experience and the mirror neuron system. *Music Perception*, v. 26, p. 489-504, 2009.
- PATEL, A.D. *Music, Language and the Brain*. Oxford University Press: New York, 2008.
- PATEL, A.D.; PERETZ, I.; TRAMO, M.; LABREQUE, R. Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain and Language*, v. 61, p. 123-144, 1998.

- PERETZ, I.; ZATORRE, R.J. Brain Organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, v. 56, p. 89-114, 2004.
- PERETZ, I.; GOSELIN, N.; BELIN, P.; ZATORRE, R.J.; PLAILLY, J.; TILLMENN, B. Musical lexical networks. The cortical organization of music recognition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 256-265, 2009.
- PFEUTY, M.; PERETZ, I. Abnormal pitch-time interference in congenital amusia: Evidence from an implicit test. *Attention, Perception, & Psychophysics*, v. 72, p. 763-774, 2010.
- RACETTE, A.; BARD, C.; PERETZ, I. Making non-fluent aphasics speak: sing along! *Brain*, v. 129, p. 2571-2584, 2006.
- RIZZOLATTI, G.; CRAIGHERO, L. The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience*, v. 27, p. 169-192, 2004.
- SCHERER, K.R. Expression of emotion in voice and music. *Journal of Voice*, v. 9, p. 239-251, 1995.
- SCHLAUG, G.; JANCKE, L.; HUANG, Y.; STAIGERI, J.F.; STEINMETZ, H. Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, v. 33, p. 1047-1055, 1995.
- SCHLAUG, G.; FORGEARD, M.; ZHU, L.; NORTON, A.; NORTON, A.; WINNER, E. Training-induced neuroplasticity in young children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 205-208, 2009a.
- SCHLAUG, G.; MARCHINA, S.; NORTON, A. Tracts of patients with chronic Broca's aphasia undergoing intense Intonation-based Speech Therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 385-394, 2009.
- SCHULKIND, M. D. Is memory for music special? *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 216-224, 2009.
- SU, Q.; WANG, F. Study the Effect of Background Music on Cognitive Memory. *Applied Mechanics and Materials* v. 37-38, p. 1368-1371, 2010.
- TERVANIEMI, M. Musicians – Same or Different? *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.1169, p. 151-156, 2009.
- THAUT, M.H.; MCINTOSH, K.W.; MCINTOSH, G.C.; HOEMBERG, V. Auditory rhythmicity enhances movement and speech motor control in patients with Parkinson's disease. *Functional Neurology*, v. 16, p. 163-172, 2001.
- TRAINOR, L. J.; SHAHIN, A. J.; ROBERTS, L. E. Understanding the benefits of musical training. Effects on oscillatory brain activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1169, p. 133-142, 2009.
- VOGT, S.; BUCCINO, G.; WOHLSCHLÄGER, A. M.; CANESSA, N.; SHAH, N. J.; ZILLES, K.; EICKHOFF, S. B.; FREUND, H. J.; RIZZOLATTI, G.; FINK, G. R. Prefrontal involvement in imitation learning of hand actions: Effects of practice and expertise. *NeuroImage*, v. 37, p. 1371-1383, 2007.
- WAN, C.Y.; RÜBER, T.; HOHMANN, A.; SCHLAUG, G. The therapeutic effects of singing in neurological disorders. *Music Perception*, v. 27, p. 287-295, 2010.
- ZATORRE, R.J.; BELIN, P.; PENHUME, V.B. Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 6, p. 37-46, 2002.
- ZATORRE, R.J.; CHEN, J.L.; PENHUME, V.B. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Neuroscience*, v. 8, p. 547-558, 2007.
- WEINSTEIN, J.; KOENIG, P.; GUNAWARDENA, D.; MCMILLAN, C.; BONNER, M.; GROSSMAN, M. Preserved Musical Semantic Memory in Semantic Dementia. *Archives of Neurology*, v. 68, p. 248-250, 2011.

Viviane Rocha, soprano, iniciou seus estudos musicais em 2003. Estudou na Escola Municipal de Música de São Paulo, sob orientação de Caio Ferraz. Bacharel em Música com Habilitação em Canto Lírico pelo Instituto de Artes da UNESP, tendo sido orientada por Márcia Guimarães e Martha Herr. Recebeu prêmio de Excelência pelo TCC intitulado "O preparador vocal e seu trabalho junto ao regente de coro – O caso do Coro de Câmara da UNESP", com orientação de Martha Herr. Mestranda em Distúrbios do Desenvolvimento pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, onde desenvolve pesquisa acerca das relações entre cérebro e música no Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social sob orientação do professor Doutor Paulo Boggio. Atua profissionalmente como cantora, preparadora vocal de coros e professora. Atualmente leciona no Conservatório Souza Lima, em São Paulo.

Paulo Sérgio Boggio, psicólogo, especialista em Neuropsicologia, Mestre em Psicologia Experimental e Doutor em Neurociências e Comportamento pela Universidade de São Paulo. Pesquisador produtividade 2 do CNPq. Professor adjunto no Programa de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento e no Curso de Psicologia na Universidade Presbiteriana Mackenzie. Coordenador de Pesquisa, Coordenador do Núcleo de Neurociência do Comportamento e Coordenador do Laboratório de Neurociência Cognitiva e Social do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Presbiteriana Mackenzie.