

Manifestações electroencefalográficas da percepção de frase musical

Susana Silva¹, Fernando R. Santos², Pedro Almeida², Fernando Barbosa², João Marques Teixeira², e São Luís Castro¹

¹ Laboratório de Fala da Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade do Porto

² Laboratório de Neuropsicofisiologia da Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade do Porto

A percepção de frase musical está associada a uma componente de potenciais evocados designada por *Closure Positive Shift* (CPS) musical, que consiste numa deflexão positiva centro-parietal entre os 450 e os 600 ms após a fronteira de frase. Os paradigmas CPS comparam a resposta a extractos musicais contendo frases distintas tipicamente separadas por pausa (condição fraseado) com a resposta a extractos análogos onde a pausa é preenchida por tons. Implementámos um paradigma CPS e fizemos uma análise de localização da fonte do sinal recorrendo a duas técnicas, modelação por dipólos e sLORETA (standardized Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography). Na condição fraseado, identificou-se um dipólo central com ajuste satisfatório nas latências de 200 e 500 ms. Nestas latências, a técnica sLORETA apontou uma localização centro-parietal e frontal, respectivamente. Encontramos assim convergência entre a localização frontal da CPS sugerida pelo sLORETA e as áreas frontais identificadas por Nan et al. (2008) através de ressonância magnética funcional.

Palavras-chave: ERP, localização da fonte, segmentação, música

1. INTRODUÇÃO

O processo de percepção de frase musical tem sido associado a uma componente de potenciais relacionados com eventos designada por Closure Positive Shift (CPS) musical. Trata-se de uma deflexão positiva entre os 450 e os 600 ms após a fronteira de frase, com pico pelos 500 ms, e com uma topografia centro-parietal (Knösche et al., 2005; Nan, Knösche, & Friederici, 2006, 2009; Neuhaus, Knösche, & Friederici, 2006). A CPS é tipicamente precedida por um pico positivo com latência de 200 ms e topografia frontal -- a componente P2.

Os paradigmas CPS comparam a resposta electroencefalográfica a extractos musicais contendo frases distintas, tipicamente separadas por uma breve pausa, com a resposta a extractos musicais análogos mas não fraseados, em que tal pausa é preenchida por tons. A primeira condição é designada de *fraseado* e, nela, a amplitude dos potenciais nas janelas temporais em torno dos 200 ms (P2) e dos 500 ms (CPS) é significativamente maior do que na condição *não-fraseado*.

Na medida em que a percepção de frase musical pode remeter para processos distintos - identificação de um evento (uma pausa, por exemplo), mudança de foco atencional, retenção em memória de uma cadeia sonora -- o significado funcional *estrito* da CPS tem vindo a ser discutido. Enquanto em alguns estudos se refere apenas o conceito de percepção de frase (Nan et al., 2006; Neuhaus et al., 2006), Knösche et al. (2005) sugerem que a CPS não traduz a percepção de frase *per se* mas, antes, processos atencionais e mnésicos. Nan, Knösche, Zysset, e Friederici (2008) consideram que, tal como na condição fraseado, existe também na condição não-fraseado um processo de antecipação de final de frase. A diferença entre ambas as condições estaria no facto de a condição fraseado conter informação local adicional, uma pausa, que confirmaria a antecipação do final fornecida pelo contorno geral da primeira frase. Por esta razão, na condição não fraseado não há propriamente uma ausência de fraseamento, mas sim um fraseamento menos completo. De facto, análises que efectuámos a nível das respostas oscilatórias nas bandas de frequência alfa, de 8-12 Hz, e teta, de 4-7 Hz, são consistentes com a hipótese de que a CPS está associada a processos de atenção e memória envolvidos na transição de uma frase para outra (Castro & Silva, 2009).

Estudos de localização espacial das fontes do sinal têm contribuído para clarificar as hipóteses sobre o significado funcional da CPS. A partir do registo electro-encefalográfico, e com técnicas de modelação por dipólos de corrente equivalente, foram localizadas fontes no córtice cingulado, porções anterior e posterior, e hipocampo (Knösche et al., 2005). Com isto, sugeriu-se a ligação da CPS a processos de atenção e memória para lidar com a transição entre o final de uma frase e o início da seguinte. Adicionalmente, através da ressonância magnética funcional foi identificada a activação de áreas da rede frontoparietal dorsal de regulação da atenção (giro frontal médio e sulco intraparietal) na condição fraseado (Nan et al., 2008). No mesmo estudo, foi também encontrada activação no giro frontal inferior, podendo esta activação indiciar processos de memória de trabalho implicados no processamento das fronteiras de frase.

No presente estudo, implementamos um paradigma CPS e fazemos uma análise exploratória de localização da fonte do sinal. Uma vez replicada a resposta electroencefalográfica observada em estudos anteriores -- componentes P2 e CPS com maior amplitude na condição fraseado do que na condição não-fraseado -- submetemos a média dos potenciais das duas condições a dois tipos de procedimentos: uma modelação por dipólos de corrente equivalente, e uma análise segundo princípios de fonte distribuída sLORETA (*standardized Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography*). Compararemos os resultados obtidos pelos dois procedimentos, e situá-los-emos no contexto do que tem sido relatado na literatura.

2. MÉTODO

2.1 Participantes

Doze músicos profissionais participaram no estudo. Todos tinham tido mais do que sete anos de aprendizagem musical formal e tocavam, em média, mais que dez horas por semana. Nenhum apresentava problemas neurológicos ou de audição. As suas idades variavam entre os 21 e os 39 anos ($M = 30.3$, $DP = 5.9$).

2.2 Instrumentos

Os registos electroencefálicos foram efectuados num sistema ERP da Advanced Neuro Technology (ANT) através do software ASA 4.1 (2006, ANT Software B. V., Enschede, Netherlands) conectado a um amplificador de 32 canais, modelo REFA-32 Amplifier da mesma empresa, e sincronizado com uma unidade de estimulação equipada com o Presentation (2003, Neurobehavioral Systems, Inc., Albany, CA, USA). Foram realizados registos monopolares com referência à média de ambos os mastóides, segundo uma montagem SI 10-20 expandida (FC5, FC1, FC2, FC6, CP5, CP3, CP4, CP6, POz), com uma touca EEG de 32 eléctrodos Ag/AgCl, modelo Wavegard32 da AN.

As análises de potenciais, bem como a modelação por dipólos de corrente equivalente, foram feitas com o software Fieldtrip Toolbox (F. C. Donders Centre for Cognitive Neuroimaging, <http://www.ru.nl/fcdonders/fieldtrip>). A análise das fontes neuronais das componentes relevantes foi feita com o sLORETA (2008, Pascual-Marqui/ The KEY Institute for Brain-Mind Research, Zurich, Switzerland).

2.3 Procedimentos

Foram seleccionadas 50 melodias do repertório de música tonal barroca, clássica e romântica. Todas tinham uma extensão de 8 compassos, compreendendo duas frases de 4 compassos separadas por uma pausa; a duração média da primeira frase era de 7418 ms ($DP = 2514$ ms). As melodias foram gravadas num sequenciador MIDI com timbre de piano. Foi construída uma versão modificada de cada uma das 50 melodias através do preenchimento da pausa intermédia com tons musicalmente congruentes. As frases originais integraram a condição fraseado, e as frases modificadas integraram a condição não-fraseado. Para manter a atenção dos participantes nos estímulos, foi-lhes pedido que detectassem se cada uma das melodias continha ou não uma nota fora de tom. Tendo em conta a necessidade de justificar a tarefa, foram editadas 5 melodias e as suas versões modificadas de forma a conter uma nota fora de tom. Estas melodias foram usadas como *fillers*. As restantes foram os estímulos experimentais, 45 na condição fraseado e as correspondentes com a pausa preenchida na condição não-fraseado. Os participantes ouviram o total das 100 melodias agrupadas em três

blocos, com ordenação pseudo-aleatória dentro de cada bloco. A ordem dos blocos foi contrabalançada entre os participantes. Para a pseudo-aleatorização dos estímulos, impôs-se que existissem 3 ou 4 *fillers* por bloco, e que não existissem sequências com mais que 4 estímulos da mesma condição.

Os potenciais electroencefálicos foram sincronizados com o final da pausa na condição fraseado, ou com o final dos tons de ligação na condição não-fraseado. Para obtenção dos potenciais relacionados com cada uma das condições, efectuaram-se épocas de 1200 ms, adoptando-se uma janela temporal de -200 ms a 1000 ms em torno do ponto de sincronização. O sinal foi recolhido com um filtro passa banda 0 - 139 Hz com uma taxa de amostragem de 512 Hz. A rejeição de épocas com artefactos foi feita por inspecção visual. Foi aplicado *offline* um filtro passa-alto de 0.01 Hz. Foram obtidos os potenciais para cada sujeito e, posteriormente, foi calculada a média dos potenciais para todos os sujeitos.

Na modelação por dipólos, constituímos um modelo com um dipólo regional livre e aplicámo-lo a toda a janela temporal (-200 a 1000 ms). Mediante estes parâmetros de entrada, o procedimento aplicado devolve a localização e o momento do dipólo que é capaz de explicar a maior parte da variância do sinal. Para cada ponto temporal, é apurada a variância residual (variância do sinal não explicada pelo modelo). Na análise através do sLORETA, foi estimada a distribuição cortical da densidade da corrente e identificada a região com activação máxima na latência de 200 ms (P2) e 500 ms (CPS) em cada uma das duas condições, fraseado e não-fraseado.

3. RESULTADOS

Na condição fraseado, identificou-se um dipólo central profundo, com ajuste satisfatório nas janelas temporais de P2 e de CPS; a variância residual (RV) para as janelas temporais em torno dos 200 ms e 500 ms foi inferior a 3%. Na condição não-fraseado, a posição do dipólo foi frontal profunda, com lateralização à esquerda; no entanto, a variância residual ao longo da janela temporal não chegou a ser inferior a 10%.

Quanto à localização estimada pela técnica sLORETA, na condição fraseado ela é centroparietal para a componente P2 (BA23 - parte medial do córtice cingulado posterior, integrante do lobo límbico) e frontal para a CPS (orbitofrontal, lobo frontal). Na condição não-fraseado, a fonte nas mesmas janelas temporais é, respectivamente, frontal (orbitofrontal, lobo frontal) e parietal medial (lóbulo paracentral). Aos 500 ms, existe um segundo máximo de activação orbitofrontal e frontopolar.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O facto de, na condição fraseado, um mesmo dipólo explicar mais de 97% da variância das duas componentes, P2 e CPS, poderá suportar a hipótese de partilha de geradores, ou a interacção funcional de geradores diferentes, na percepção de fronteira de frase musical. No entanto, os resultados da análise desta localização de dipólos não coincidem com os resultados obtidos pela técnica sLORETA.

Comparando os resultados das duas técnicas, encontramos convergência a nível de grandes áreas, sobretudo no que diz respeito à componente P2. Ambas as técnicas permitiram identificar fontes de localização central profunda na condição fraseado, e de fonte frontal para a condição não-fraseado. Quanto à janela temporal da CPS, existe coincidência para a localização frontal na condição fraseado. No entanto, as técnicas aplicadas são especialmente divergentes quanto à localização do gerador de CPS na condição não-fraseado (central profundo na modelação por dipólos vs. frontal na aplicação da técnica sLORETA).

O confronto dos nossos resultados com os dados da literatura parte de um quadro em que a própria literatura é divergente. Se, por um lado, os dados de estimação de fonte através do sinal EEG sugerem fontes límbicas (Knoesche et al., 2005), os dados de fMRI indicam o envolvimento de áreas frontais (Nan et al., 2008). A localização sugerida pela técnica sLORETA para a CPS na condição fraseado (córtice orbitofrontal) tem alguma aproximação às áreas frontais (giro frontal médio e giro frontal inferior) identificadas por Nan et al (2008) , embora não haja uma coincidência clara. As limitações inerentes à aplicação da técnica sLORETA devem aqui ser tidas em conta. A localização central profunda, que é sugerida pela modelação através de dipólos aproxima-se, por sua vez, dos resultados de Knoesche (2005), que apontam geradores límbicos. O envolvimento de áreas frontais na geração da CPS na condição fraseado é um indicador do envolvimento da memória de trabalho, possivelmente de manutenção da representação melódica da primeira frase para comparação com a frase seguinte (ibd.).

5. CONCLUSÕES

Em face do reduzido número de canais utilizados e da técnica de montagem efectuada, os resultados obtidos devem ser interpretados com precaução. Contudo, se estes resultados forem replicados com EEG de alta densidade, resultarão algumas pistas interessantes para futuras investigações. A hipótese de partilha ou de interacção funcional de geradores de P2 e CPS é uma delas. No âmbito do problema do significado funcional da componente CPS, é reforçada a importância dos processos de transição de uma frase para outra na geração da componente.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia ao projecto PTDC/PSI/66641/2006. Fernando R. Santos e Pedro R. Almeida são bolseiros da Fundação para a Ciência e Tecnologia (SFRH/BD/48143/2008, SFRH/BD/38711/2007).

CONTACTO PARA CORRESPONDÊNCIA

São Luís Castro
Rua Doutor Manuel Pereira da Silva 4200-392 Porto Portugal
slcastro@fpce.up.pt

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, S.L., & Silva, S. (2009). The perception of musical phrases by musicians [Abstract]. In *Bridging research and practice in clinical neuropsychology. INS Mid-Year Meeting 2009* (p. 39). Helsinki and Tallin: International Neuropsychological Society.
- Knösche, T.R., Neuhaus, C., Haueisen, J., Alter, K., Maess, B., Witte, O.W., & Friederici, A.D. (2005). The perception of phrase structure in music. *Human Brain Mapping, 24*, 259–273.
- Nan, Y., Knösche, T.R., & Friederici, A.D. (2006). The perception of musical phrase structure: a cross-cultural ERP study. *Brain Research, 1094*, 179-191.
- Nan, Y., Knösche, T.R., & Friederici, A.D. (2009). Non-musicians' perception of phrase boundaries in music: A cross-cultural ERP study. *Biological Psychology, 82*, 70-81.
- Nan, Y., Knösche, T.R., Zysset, S., & Friederici, A.D. (2008). The perception of musical phrase structure: a cross-cultural ERP study. *Human Brain Mapping, 29*, 312-328.
- Neuhaus, C., Knösche, T.R., & Friederici, A.D. (2006). Effects of musical expertise and boundary markers on phrase perception in music. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18* (3), 472-493.
- Pascual-Marqui, R. D. (2002). The Sloreto Method: Standardized Low-Resolution Brain Electromagnetic Tomography (Sloreto): Technical Details. *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.*, 24d, 5-12.