

Duas abordagens de pesquisa experimental em percepção rítmica*

PEDRO PAULO K. BONDESAN DOS SANTOS**

Resumo

Neste artigo vamos apresentar duas abordagens de pesquisa experimental em música, visando a uma reflexão sobre suas possibilidades de aplicação. Para cada estratégia, comentamos um artigo correlato específico. A primeira, a Entrevista, trata de uma aproximação mais tradicional, com apresentação de exemplos musicais para apreciação dos sujeitos e avaliação estatística dos resultados obtidos. A singularidade do artigo escolhido é abordar a influência da interação entre fatores estruturais (ritmo e alturas) e fatores da performance (articulação e andamento) na percepção de anacruses. A segunda estratégia trata das evidências a respeito da possibilidade da captação direta em eletroencefalograma (EEG) do sincronismo neuronal (neuronal entrainment) associado à pulsação e à métrica musical, utilizando a técnica específica chamada de Potenciais de Eventos Relacionados (*Event-related potential*, ERP). Encerramos discutindo as vantagens de cada estratégia em nossa pesquisa em andamento.

Palabras clave: EEG, pesquisa experimental, percepção, ritmo, ERP

Two strategies of experimental research on rhythmic perception

Abstract

In this article we address two approaches for experimental research in music, targeting a reflection on their application possibilities. For each strategy, we comment a specific correlate article. The first, the interview, comes to a more traditional approach, presenting musical examples for consideration of subjects and statistical evaluation of the results. The uniqueness of the chosen article is to discuss the influence of the interaction between structural factors (rhythm and pitch) and performance factors (articulation and tempi) in the perception of anacruses. The second approach dealing with evidence regarding the possibility of direct neuronal entrainment uptake in electroencephalogram (EEG) associated with the pulsating and musical meter, through the technique Event-related potential (ERP). We finished discussing the advantages of each strategy in our ongoing research.

Keywords: EEG, experimental research, perception, rhythm, ERP

* Pesquisa apoiada pelo NuSom - Núcleo de Pesquisas em Sonologia da Universidade de São Paulo (<http://www2.eca.usp.br/nusom/>)

** Universidade de São Paulo - USP

E-mail: pedropaulo.kohler@gmail.com

1 Introdução

A pesquisa experimental em percepção do ritmo musical tem se beneficiado muito do desenvolvimento das neurociências e da neuropsicologia. Em virtude do avanço tecnológico tanto computacional quanto na modernização e na ampliação ao acesso de equipamentos de diagnóstico por imagens do cérebro, esse campo de estudos atualmente tem gerado conhecimento tanto para a área de música quanto ela própria tem sido usada como paradigma para se estudar a cognição humana.

Nesse sentido, o mecanismo da percepção do ritmo musical, apesar de apresentar-se ainda com muitos aspectos a serem desvendados, já conta com um *corpus* de conhecimento considerável, tendo sido acumulado de forma mais sistematizada, a partir dos anos 1970.

Neste artigo apresentamos duas abordagens de pesquisa experimental em música, visando a uma reflexão sobre suas possibilidades de aplicação. A primeira trata de uma aproximação mais tradicional com apresentação de exemplos musicais para apreciação dos sujeitos e avaliação estatística dos resultados obtidos. A singularidade desta abordagem refere-se ao estudo sobre fatores estruturais (por exemplo, intervalos duracionais) que influem na percepção de anacruses, estudando, em princípio, a variação de uma estrutura básica CLL (curto-longo-longo) e LCC (longo-curto-curto).

A segunda abordagem trata das evidências a respeito da possibilidade da captação direta em eletroencefalograma (EEG) de sincronismo neuronal (*neuronal entrainment*) associado à pulsação e à métrica musical. Esta captação é obtida através da técnica de *Potenciais Relacionados a Eventos* (ERP – *Event Related Potential*), com o uso de estímulos ambíguos, que não tendem para nenhuma interpretação métrica específica.

Esta técnica EEG de *Potenciais Evocados de Estado Estável* (*Steady State Evoked Potential*) no estudo do sincronismo neuronal para pulso e métrica musical tem indicado uma maneira segura e não invasiva de observar o comportamento da percepção frente a estímulos musicais estruturados a partir da perspectiva do ritmo mais tradicional, presente na música popular e na música de tradição européia ocidental, na qual persiste uma hierarquia temporal com agrupamentos de unidades e subunidades em sua maioria binária ou ternária.

2 Estratégia 1: entrevista

Consiste na apresentação de exemplos sonoros a sujeitos e coleta da apreciação deles em relação aos estímulos. Focaremos essa estratégia, apoiados em experimento realizado sobre a percepção de anacruses (London, Cross, & Himberg, 2009). Neste estudo, intitulado *The effect structural and performance factor in the perception of anacruses*, contendo

dois experimentos, foram elaborados 36 estímulos, com exemplos musicais em que a estrutura rítmica consistia em duas sequências básicas de três intervalos temporais: CCL e LCC (proporções de 1:1:2 e 2:1:1, respectivamente). O objetivo foi avaliar a influência da interação entre fatores estruturais (ritmo e alturas) e fatores de *performance* (articulação e andamento) na percepção de anacruses. A hipótese era de que a percepção anacrúsica recairia principalmente sobre a estrutura CCL, onde se presume que o acento tético seja predominantemente percebido na nota longa, ou então nos sons inicial e final desta sequência, conforme as regras de preferência, onde a tendência é acentuar o primeiro e o último sons de um grupo de três ou mais sons (Povel & Okkerman, 1981).

Estes dois experimentos consistiam na participação de sujeitos em três níveis de expertise musical (menos de cinco anos de estudo, de 5 a 10 anos de estudo e mais de 10 anos), onde o primeiro consistia em verificar as interações das duas estruturas rítmicas sem melodia e com vários tipos de estruturas melódicas (ascendentes, descendentes, com graus conjuntos, com saltos intervalares) e em andamentos distintos. O segundo experimento aproveita os resultados do primeiro para refinar a avaliação do efeito do aumento do andamento na percepção das anacruses.

Os sujeitos foram convidados a ouvir os estímulos por três a cinco tempos antes de percutir com palmas o tempo percebido das melodias, o que permitiu a observação do tipo de alinhamento das frases com o acento forte respectivo. Através da progressão retrógrada do acento declarado, obtém-se a indicação sobre percepção anacrúsica ou não anacrúsica do estímulo, como se pode observar na Figura 1.



Figura 1. Observa-se a mesma melodia com duas interpretações e níveis métricos distintos; a de cima em interpretação anacrúsica (acento métrico fora de fase com o início da melodia) e a de baixo com interpretação não anacrúsica (em fase com a melodia).

No experimento 1, com estímulos isotônicos, foram encontrados indícios de que os padrões CCL são mais sensíveis a mudanças de interpretação na interação com diferentes andamentos, havendo grande impacto na mudança de sua percepção de tético para anacrúsico, quando adicionada qualquer estrutura melódica. (London, Cross, & Himberg, 2009, p. 110). No experimento 2 verificou-se haver uma mu-

dança sistemática na percepção da anacruse à medida que o andamento aumenta (London, Cross, & Himberg, 2009, p. 111).

No artigo supracitado London, Cross e Himberg lembram de duas observações feitas em experimentos anteriores, de 2004: na percepção de anacruses algumas melodias apresentam o que eles chamam de “maleabilidade métrica”. Esta seria uma espécie de ambiguidade métrica. Também observaram o comportamento diferente da percepção de estruturas rítmicas frente à alteração da velocidade no andamento. Assim, variando-se o andamento de uma estrutura rítmica de três durações, por exemplo, curto-curto-longo (1:1:2), a partir de uma determinada velocidade na articulação, a interpretação de um ouvinte tenderia a deslocar o acento métrico de uma duração para outra, tornando a estrutura mais anacrúsica ou mais tética, conforme o caso.

A correlação entre a variação de andamentos e o deslocamento da percepção métrica provocado nos ouvintes, apresentados por alguns tipos de estruturas rítmicas, foi um dos fatores importantes que guiaram a pesquisa dos três pesquisadores.

3 Estratégia 2 : Mapeamento do *neural entrainment* através de EEG

O conceito de *entrainment* seria “um processo biológico que compreende na sincronia adaptativa de oscilações internas da atenção com um evento externo (Jones, 2009, p. 83)¹. Conseqüentemente, o *neural entrainment* decorre de teoria aceita atualmente, onde os neurônios sincronizam com estímulos cíclicos externos, oscilando na mesma frequência. Partindo desses pressupostos, o experimento descrito no artigo *Tagging the neuronal entrainment to beat and meter* (Nozaradan, Peretz, Missal, & Mouraux, 2011), que poderia ser traduzido como algo próximo de *Mapeando a sincronização neuronal para o beat e a métrica*, descreve a observação da sincronização neural através do EEG e também acaba por mapear as características do seu ciclo como binário ou ternário.

No experimento a estratégia de utilização do EEG foi eficaz, na medida em que apresenta um estímulo acústico com pulsação de 2,4 Hz, ou 144 bpm (batidas por minuto), e fisicamente neutro, ou seja, não privilegia acentuações ciclicamente binárias ou ternárias. No entanto, pede para os sujeitos imaginarem acentuações indutoras de métricas com base primeiramente em dois e, depois, em três. O artifício utilizado foi medir o comportamento dos impulsos gerados no cérebro por estímulos auditivos externos, chamados *Potenciais Evocados* (EP,

¹ (...) Entrainment is a biological process that realizes adaptive synchrony of *internal* attending oscillations with an *external* event (...).

Evoked Potentials), mais precisamente com a técnica de *Potenciais de Eventos Relacionados* (ERP, *Event Related Potentials*). Estes são observáveis através de eletroencefalograma (EEG) e da ressonância magnética (MEG), as “duas principais técnicas de estudo da dinâmica do processamento auditivo no cérebro humano”² (Large, 2008, p. 118).

O resultado obtido nas imagens geradas pelo EEG demonstram representações cerebrais diferentes para cada uma das métricas imaginadas. Assim, a leitura possível é que as diferentes imagens da codificação cerebral obtidas para cada um dos ciclos harmônicos do estímulo original (2,4 Hz ou 144 bpm), seja binário (1,2 Hz ou 72 bpm) ou ternário (0,8 Hz ou 48 bpm), indica a compatibilidade com um mapeamento da qualidade de sincronização realizada pelos sujeitos (Nozaradan et al., 2011, p. 10236).

Para este experimento a variante da técnica de ERP, denominada *Potenciais Evocados de Estado Estável* (*Steady State Evoked Potential*) no estudo do sincronismo neuronal para pulso e métrica musical aponta para uma maneira eficiente de observar o comportamento da percepção, frente a estímulos musicais estruturados, a partir da perspectiva do ritmo mais tradicional presente na música popular e na música de tradição europeia ocidental, na qual persiste uma hierarquia temporal com agrupamentos de unidades e subunidades em sua grande maioria binária ou ternária.

3.1 Potenciais relacionados a eventos

A técnica *Event Related Potentials* (ERP) inicialmente foi nomeada *Evoked Potentials* (EP) ou *Potenciais Evocados*, porque eles eram potenciais elétricos evocados por estímulos (em oposição aos ritmos espontâneos EEG) (Luck, 2005, p. 6). Posteriormente, com o desenvolvimento da neurociência cognitiva, conjuntamente com o incremento na capacidade de processamento computacional, essa técnica ganhou maior reconhecimento e sua importância está ligada à alta resolução temporal em relação às duas outras técnicas mais modernas, que são a *Ressonância Magnética Funcional* (fMRI, *Funcional Magnetic Resonance Imaging*) e a *Tomografia por emissão de pósitrons* (PET, *Positron Emission Tomography*), sendo considerada um complemento a estas últimas (Luck, 2005, p. 6).

Em resumo, entre os sinais pós-sinápticos captados dos disparos das redes de neurônios cerebrais os potenciais elétricos evocados por estímulos (auditivos, visuais, entre outros) contêm uma forma característica de onda análoga, cujas componentes são classificadas de acordo com a latência e a natureza dos picos (positivos ou negativos) em que são registradas, após a ocorrência do estímulo original. Por exemplo, o

² (...) Electroencephalography (EEG) and magnetoencephalography (MEG) are the two main techniques for studying the temporal dynamics of auditory processing in the human brain (...).

pico inicial nos primeiros 100 ms da onda evocada representa a resposta neuronal para o sinal físico provocado pelo estímulo, chamado também de P1 ou P100 (P para positivo) e de componente “exógena”, ou seja, que depende mais das características de fatores externos. Já para aqueles picos que ocorrem mais tardiamente, por volta dos 300 ms (P3 ou P300), por exemplo, a componente da resposta sensorial é considerada “endógena”, pois depende mais de fatores internos (Luck, 2005, p. 11).

Na Figura 2 podemos ver uma típica forma de onda captada em EEG, com seus respectivos picos P100 e P300, mencionados acima:

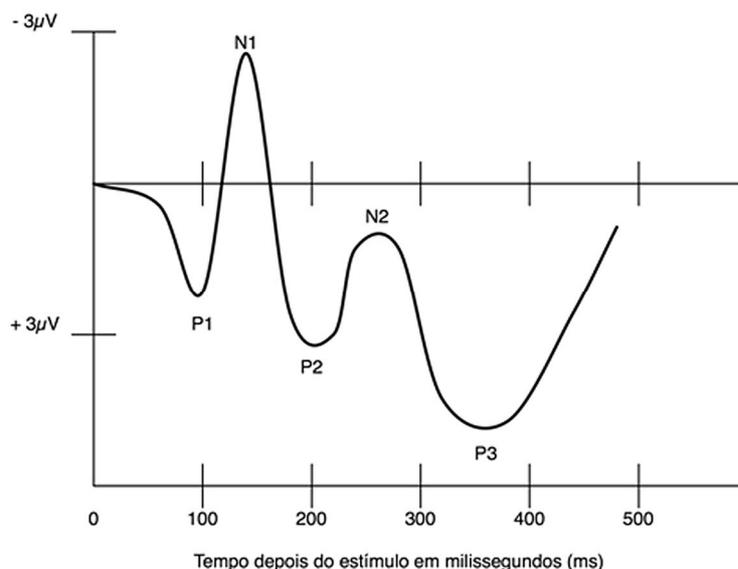


Figura 2. Imagem representando um Potencial relacionado a evento genérico

No gráfico podemos notar que os picos considerados “positivos” estão voltados para o lado de baixo. Isso se deve ao fato de que o eixo da amplitude em μV (micro Volts) está invertido e a voltagem positiva está para baixo. Isso não é incomum de se encontrar em textos científicos, porém também é comum encontrar este eixo vertical na forma cartesiana, com a parte positiva voltada para cima.

A variante da técnica de Potenciais Evocados utilizada no experimento de EEG, denominada *Steady-State Evoked Potential* (SS-EP) ou Potenciais Evocados de Estado Estável, tira proveito da periodicidade do sinal de entrada determinado experimentalmente para identificar a resposta neural no domínio da frequência, utilizando o paradigma do imageamento mental métrico (Nozaradan, 2013, p. 103). Assim, através desta técnica se obtém as frequências predominantes de oscilação neural evocadas pela construção endógena da métrica, realizada pelos voluntários sobre a pulsação sugerida pelo estímulo externo do experimento.

4 Materiais e métodos

Participantes

Os participantes dos experimentos de percepção de anacruses foram 18, com experiência musical dividida em três categorias: menos de cinco anos de estudo com instrumento ou canto (seis voluntários), de 5 a 10 anos de estudo (quatro voluntários) e mais de 10 anos de estudo (oito voluntários).

Os participantes do experimento de EEG foram oito voluntários (sendo três mulheres; sete destros) e a experiência musical abrangeu desde aqueles que tinham boa experiência musical como *performers* (três deles) até aqueles que tinham experiência como ouvintes amadores ou como dançarinos.

Estímulos

- **Experimento com anacruses:** foram desenvolvidos estímulos que abrangeram as combinações entre figuras rítmicas (CCL x LCC), saltos melódicos (ascendentes x descendentes), intervalos melódicos (saltos maiores que 3ª menor x saltos até 3ª menor), harmonia implícita do quinto para o primeiro grau e do primeiro para o primeiro grau (V-I x I-I) e variação de tempo IOI ou *inter-onset-intervals* (80 bpm/750 ms IOI, 105 bpm/570 ms IOI, e 140 bpm/428 ms IOI). *Inter-onset-intervals* (IOI) poderia ser traduzido por “intervalos-entre-inícios”, onde os intervalos de tempo entre os respectivos ataques das notas constituem a estrutura rítmica num agrupamento temporal de eventos musicais.
- **Experimento com EEG:** estímulos com duração de 33 segundos, composto de sons puros (senoidais) de 333,3 Hz (que corresponde aproximadamente à nota Mi) ciclicamente repetidos numa frequência de 2,4 Hz, ou seja, 144 bpm. Para gerar acentuações com intuito de produzir uma estrutura pseudoperiódica que não levasse à percepção dos voluntários nem a uma interpretação binária e nem ternária a solução encontrada foi bem engenhosa.

Por não ter uma frequência com razão inteira de 2,4 Hz foi utilizada na modulação da amplitude uma função sinusoidal de 11 Hz, variando entre 0,3 e 1, para modular a amplitude das batidas em 144 bpm. Isto faz com que estímulos gerados com esta técnica, chamada de “convolução” de sinais, não crie nenhuma indução binária ou ternária nos ouvintes.

A frequência de 2,4 Hz foi escolhida por ser confortável para o ouvinte produzir mentalmente a frequência harmônica binária de 1,2 Hz e a ternária de 0,8 Hz; além disso, também se encontra dentro da

banda intervalar considerada ecológica para percepção e produção temporal (Drake & Botte, 1993).

5 Conclusão

A estratégia da *entrevista* para a avaliação da verbalização da percepção de estímulos auditivos constitui a base de qualquer avaliação, digamos, “subjetiva”, de um estímulo físico. Ela revela o tipo e o nível de interpretação que o sujeito faz do sinal físico que lhe é apresentado. Porém, no caso de estímulos musicais, indivíduos sem uma formação musical podem não distinguir declaradamente a diferença de um ciclo binário de outro ternário, e isso nos leva a um questionamento: a diferenciação entre um metro ternário e um binário, contida em estímulos externos, pode ser ouvida e processada mesmo que não seja conscientemente notada? Ou significa apenas que o sujeito musicalmente leigo não distingue *nominalmente* as diferenças (apesar de “percebê-las”, de alguma maneira) e com algum treinamento pode ser capaz de nomear adequadamente um ou outro?

Como se dá neurofisiologicamente a interpretação da métrica musical e a conseqüente sincronização do sujeito com o estímulo acústico externo?

A capacidade de perceber ou distinguir uma pulsação cíclica estaria vinculada diretamente a um nível mais alto de processamento da informação no cérebro? Neste ponto uma questão interessante se coloca: até onde o processamento de um estímulo físico sonoro cíclico é resultado da ontogenia? Em outras palavras, o processamento de um sinal acústico em ciclo binário como tal é inato ou aprendido? Se é um pouco de cada, o quanto ou em que parte é resultado de sua interação com o meio?

Nesse sentido a estratégia de avaliação através da técnica ERP, pode ser a mais eficiente em revelar diferenças na codificação de sinais binários e ternários de estímulos acústicos. É isto decorre da sua maior precisão temporal em relação ao PET (Tomografia por emissão de pósitrons) e ao fMRI (Ressonância Magnética Funcional), que demandam muito mais processamento computacional no registro em tempo real dos dados.

O tipo de experimento com *Potenciais Evocados*, de Nozaradan et al. (2011) abre caminho para interessantes desdobramentos, indicando talvez a possibilidade de observar a interpretação realizada por um sujeito, e dizer como seu cérebro codificou este estímulo, em qual categoria classificou o sinal, no caso binário ou ternário.

As conseqüências desse tipo de desenvolvimento para o campo da música são interessantes, na medida em que poderemos, por exemplo, calibrar melhor a interpretação musical, no sentido tanto de

diminuir as ambiguidades rítmicas na leitura de obras musicais quanto no sentido contrário, de aumentar o grau de ambiguidades métricas, no sentido de provocar uma escuta mais ativa e participante do público ouvinte.

Por outro lado, mesmo com o avanço da tecnologia e a consequente queda de preços nos equipamentos, mesmo o EEG ainda não é uma ferramenta prática e portátil. Apesar do surgimento de sensores EEG para uso doméstico inclusive, em jogos e treinamentos de *neuro feedback*, por exemplo, as pesquisas ainda demandam *setups* relativamente complexos. Isso, muitas vezes, dificulta medições com um número maior de voluntários. Nesse sentido, a entrevista, que é uma estratégia menos precisa, possibilita, no entanto, a avaliação de um número maior de voluntários em cada realização de experimento.

Assim, uma pesquisa que contemple as duas abordagens tem maior probabilidade de se mostrar completa, haja vista que estas estratégias não são antagônicas, são estratégias que se complementam na tarefa de compreensão do fenômeno estudado.

Notamos também que a percepção de algumas estruturas rítmicas comporta-se de maneira diferente do esperado, conforme estudos anteriores indicaram. Tivemos a oportunidade de apreciar exemplos disso em trechos de composições de Beethoven — seja no motivo principal do início do primeiro movimento de sua *Quinta Sinfonia op. 67* ou no início da *Sonata para piano op. 14, nº 2* (Bondesan-dos-Santos, 2012). Estes achados constituem outro tipo de ambiguidade métrica encontrada em exemplos extraídos de gravações e que também fazem parte de nossa pesquisa atualmente em curso, e cujas estratégias examinadas nesse artigo representam nossos paradigmas experimentais.

Considerando os trechos musicais acima referidos, podemos observar que para o ouvinte a acentuação métrica percebida apresenta a tendência de ficar fora de fase com a intenção expressa na partitura pelo compositor, ou seja, o ouvinte percebe a métrica deslocada em relação àquela do compasso representado na partitura. Curiosamente, os inícios das melodias ou de peças musicais são os momentos em que identificamos a maior ocorrência de ambiguidades ou “maleabilidades” métricas. Estudos com esse tipo de abordagem foram levados a termo anteriormente por Sloboda (*The communication of musical metre in piano performance*, 1983), onde o foco temático era a performance anacrúsica e não anacrúsica de pianistas sobre uma mesma melodia com característica métrica “maleável” ou ambígua.

Imaginamos que o início de uma peça musical é um momento crucial, com grande potencial de ambiguidade métrica, por ser um momento onde ocorre a indução da métrica musical no ouvinte ou o “treinamento” deste em relação à experiência temporal proporcio-

nada pela música. Consequentemente, é um bom indicativo de que este aspecto configura um grande momento para estudos sobre a formação das estruturas e a melhor compreensão e parametrização do estabelecimento das expectativas temporais propostas aos ouvintes por uma determinada composição e/ou performance musical.

Referências

- Bondesán-dos-Santos, P. P. K. (2012). *Ambiguidade rítmica: estudo do ritmo musical sob a perspectiva de modelos atuais de percepção e cognição* (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Escola de Comunicações e Artes, USP. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27158/tde-29082012-110123/>
- Drake, C., & Botte, M. C. (1993). Tempo sensitivity in auditory sequences: evidence for a multiple look model. *Percept & Psychophysics*(54), 277–286.
- Jones, M. R. (2009). Musical Time. In S. Hallam, I. Cross, & M. Thaut (Eds.), *Oxford Handbook of Music Psychology (Oxford Library of Psychology)*. New York: Oxford University Press.
- Large, E. W. (2008). Resonating to musical rhythm: Theory and experiment. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of Time* (pp. 189–232). Emerald Group Publishing Ltd., Bingley.
- London, J., Cross, I., & Himberg, T. (2009). The effect structural and performance factor in the perception of anacruses. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 27(2), 103–120.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nozaradan, S. (2013). *Exploring the neural entrainment to musical rhythms and meter: A Steady-State Evoked Potential Approach* (PhD Dissertation). Université Catholique de Louvain.
- Nozaradan, S., Peretz, I., Missal, M., & Mouraux, A. (2011). Tagging the neuronal entrainment to beat and meter. *The Journal of Neuroscience*, 31(28), 10234–10240. doi:10.1523/JNEUROSCI.0411-11.2011
- Povel, D.-J., & Okkerman, M. (1981). Accents in equitone sequences. *Perception & Psychophysics*, 30(6), 565–572.
- Sloboda, J. A. (1983). The communication of musical metre in piano performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (35A), 377–396.