

## ***Entrainment e Modelos cognitivos de percepção métrica***

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA: SONOLOGIA<sup>1</sup>

Pedro Paulo Kohler Bondesan dos Santos

Universidade de São Paulo – ppsantos@usp.br

**Resumo:** Os mecanismos da percepção de ritmo musical ainda não estão claros, apesar de haver muita pesquisa a esse respeito. Há evidência de que o *entrainment* (processo de sincronização adaptativa) seja um importante aspecto desse processo, por configurar-se como o responsável pela capacidade humana de responder adequadamente a estímulos sonoros com estrutura rítmica recorrente. Este artigo pretende, mesmo que brevemente, traçar um histórico das pesquisas sobre percepção de estímulos sonoro-musicais com métrica regular e apresentar diferentes modelos cognitivos desenvolvidos. Na conclusão, mostram-se as principais possibilidades de pesquisa deles derivadas atualmente.

**Palavras-chave:** *Entrainment*. Percepção musical. Ritmo. Teorias de sincronização rítmica.

### **Entrainment and Cognitive Models of Meter Perception.**

**Abstract:** The mechanisms of musical rhythm perception remain unclear, in spite of much research currently being done. There is evidence that entrainment is an important aspect of this process, being itself responsible for the human ability to adequately respond to sound stimuli with rhythmic structure. This article aims to briefly trace a history of the research on perception of sound-musical stimuli with regular metrics and present different cognitive models developed. In the conclusion the main research possibilities derived from these considerations are shown.

**Keywords:** Entrainment, Musical Perception, Rhythm, Entrainment Theories.

A percepção da regularidade de eventos temporais sonoros faz parte do processo conhecido como *entrainment*, “um processo biológico que adapta sincronicamente oscilações internas da atenção a um evento externo” (JONES, 2009: 83). Este processo de percepção de regularidades temporais em eventos externos é o responsável, por exemplo, pela capacidade humana de sincronizar os movimentos corporais dos músicos aos do maestro em uma orquestra, ou os dos pares ao dançar seguindo o tempo da música em um baile.

Biologicamente falando, a música e a dança são manifestações de comportamentos rítmicos e, nesse sentido, podem ser didaticamente divididas em três componentes (FITCH, 2011: 75-76): extração de pulso, *entrainment* (ou processo de sincronização adaptativa) e geração de padrão motor. Segundo Fitch, “o primeiro envolve apenas um processamento auditivo, o segundo envolve a integração inter-modal (do sistema auditivo com o motor) e o último, um comportamento motor sensorialmente guiado”.

Certamente, a resposta comportamental rítmica expressa enquanto música e dança tem mais nuances do que essa divisão didática em componentes, que não se constitui enquanto um

modelo científico, posto que o amplo processamento da percepção temporal ainda se encontra em estado de mapeamento, não tendo sido desvendado por completo.

No entanto, esta divisão didática torna mais clara a visão de que o *entrainment* não é um fenômeno que atua na percepção apenas de modo intelectual e analítico, e também não é fruto somente da cultura humana, mas tem uma importância evolutiva, uma vez que integra nossos sistemas sensório-motores e nos prepara para uma ação adequada. No reino animal, é o *entrainment* quem prepara a presa para a fuga a partir da percepção sonora dos passos rápidos de um predador que se aproxima, permitindo que ela planeje estratégias de escape, assim como um jogador de futebol dribla os seus oponentes.

Entendido mais amplamente como o acoplamento de osciladores temporais dos relógios biológicos com estímulos cíclicos do ambiente, o *entrainment* é ubíquo e bastante comum em sistemas biológicos, conforme observa Fitch. Por outro lado, a habilidade e propensão humana de sincronizar ações motoras com estímulos auditivos parece ser rara. Assim, forma-se um aparente “paradoxo do ritmo”:

Periodicidade e *entrainment* parecem estar entre as características mais básicas de seres vivos, mas a capacidade humana (e a inclinação) para sincronizar a sua saída motora a estímulos auditivos parece ser muito rara: não há evidência crível de sincronismo de pulsação entre outros primatas ou mamíferos, mesmo que simples (Merker, 1999, 2000) [...] (FITCH, 2011: 78).

A inferência de regularidades temporais em estímulos musicais, também conhecida como **métrica**, representa um refinamento do *entrainment* enquanto processo biológico operado pela cultura e manifesto na música e na dança. A métrica define-se pela percepção da recorrência de padrões de acentuações relativas, contidas no estímulo físico ou formadas pelo ouvinte com o auxílio do fenômeno da chamada **acentuação subjetiva**. Uma acentuação subjetiva é aquela atribuída “subjetivamente” pelo ouvinte a sequências de estímulos acústicos equitoniais, com pulsação isócrona e destituídas de qualquer acentuação física (POVEL; OKKERMAN, 1981).

Nos tópicos apresentados a seguir, após uma breve contextualização histórica do estudo sobre sincronização, trataremos de três modelos que explicam a formação da representação métrica: o modelo de regras de preferência (apoiado também no fenômeno da acentuação subjetiva), a teoria da assistência dinâmica e a mais recente teoria da ressonância neural.

### **1. Histórico das pesquisas sobre *entrainment* (processo de sincronização adaptativa)**

As pesquisas mais antigas envolvendo sincronização datam do final do século XIX e início do século XX e eram basicamente comportamentais no que se poderia chamar de “estudos

de sincronização” (*tapping studies*). Essas pesquisas consistiam basicamente em experimentos com voluntários que simplesmente acompanhavam metrônimos com batidas na proporção de 1:1 em vários andamentos. Esse tipo de estudo “envolve não só a atenção, mas também ação, um comportamento (bater em sincronia) que depende da atenção ao ritmo” (LONDON, 2012: 25).

Nos anos 1970 e 80, as pesquisas sobre a percepção temporal revelaram importantes conhecimentos no sentido do estabelecimento de limites psicofísicos, como relata Patel:

Do ponto de vista do ouvinte, a percepção do *tactus*<sup>2</sup> normalmente é relacionada ao movimento na forma da sincronização com o tempo da música. Para muitas pessoas, essa sincronização é parte natural da experiência musical e não requer um esforço especial. Pode ser uma surpresa, então, que os humanos sejam a única espécie que sincroniza espontaneamente com o *tactus* musical. Mesmo que a sincronia seja conhecida em outras partes do reino animal [...] a sincronização humana com o *tactus* é singular em muitos aspectos. [...] a percepção do *tactus* não causa automaticamente movimento (alguém pode sentar e ouvir), mas a exclusividade da percepção na sincronização do *tactus* sugere que a percepção do tempo merece investigação psicológica. [...] existe uma banda de tempo preferida para percepção do *tactus*. As pessoas têm dificuldade de seguir um *tactus* mais rápido que 200ms e mais lento que 1.2s. Dentro desta banda, existe a preferência por *tactus* que ocorram entre 500-700ms (Parncutt, 1994; van Noorden e Moelants, 1999) (PATEL, 2008: 100).

Outros trabalhos se encaminharam no sentido de comparar o ritmo musical com o ritmo na fala, já que ambos são caracterizados pela sistematização temporal de acentos e padrões de fraseamento. O domínio e a fluência nativa no aprendizado de uma língua também “requer mais do que o domínio dos fonemas, do vocabulário e da gramática. É preciso dominar os padrões de tempo e acentuação que caracterizam o fluxo das sílabas nas sentenças” (PATEL, 2008: 96-97).

Na continuação da mesma publicação, Patel refere-se à importância do ritmo para a percepção da linguagem:

[...] cada língua tem um ritmo que faz parte de sua estrutura sonora e um conhecimento implícito deste ritmo faz parte da competência de um orador em sua língua. A incapacidade de adquirir ritmo nativo é um fator importante na criação de um sotaque estrangeiro na fala (Taylor, 1981; Faber, 1986; Chela-Flores, 1994). [...] (PATEL, 2008: 96-97).

Para Jones (2009: 82), a pesquisa contemporânea sobre o tempo musical foi iniciada pelo clássico trabalho de Fraisse de 1963, que tratou mais especificamente dos agrupamentos rítmicos de forma serial, nos quais teriam prevalência relações de Gestalt como proximidade e similaridade. Ainda segundo Jones, no mesmo artigo, aspectos métricos entraram em cena quando Povel (1981) indicou a formação da percepção de hierarquias temporais. Neste artigo, Povel (1981: 13) verifica que, na proporção preferencial de 3:1, por exemplo, a duração menor é percebida como subdivisão da maior, sendo esta última percebida

também como acentuada em relação à menor, denotando a percepção de uma estrutura temporal subjacente aos padrões rítmicos usados em seu experimento e estabelecendo a proposição de um modelo denominado *beat-based model* (“modelo baseado no *tactus*”, numa tradução livre). A estrutura subjacente é o percepto equivalente ao **compasso musical**.

Assim, Jones considera que começaram a se estabelecer duas correntes psicológicas teóricas da percepção métrica: a Teoria da codificação métrica (*metric encoding*) e a Teoria da Assistência Dinâmica, discutidas individualmente a seguir.

## 2. Teoria da codificação métrica ou Modelo de Regras de Preferência

No texto *Parallelism as a Factor in Metrical Analysis*, Temperley e Bartlette (2002) apresentam uma síntese da abordagem denominada “regras de preferência” (*preference rule-based model*). O modelo de regras de preferência deriva do teorema de Bayes (1763), aplicado a processos de aprendizagem em que probabilidades iniciais são revistas à presença de nova informação, analogamente ao que ocorre com o método científico. Conforme suas concepções, a percepção humana também reflete processos dinâmicos de aprendizagem. Ao comparar a percepção visual à percepção das estruturas musicais (mesmo sem manifestação direta na citação), Lerdahl e Jackendoff descrevem o princípio elementar da lei de Bayes na seguinte passagem:

[...] o campo visual em geral é altamente ambíguo. Portanto, a função de mapeamento terá de incluir um sistema de preferências que escolhe a análise ou as análises mais altamente favorecidas para o campo visual apresentado. As leis de organização da Gestalt podem ser construídas como declarações informais de vários aspectos deste sistema de preferências (LERDAHL; JACKENDOFF, 1983: 306).

Segundo a abordagem de Temperley e Bartlette (2002: 118-119), a percepção do ritmo seria determinada de acordo com algumas tendências a atribuir acentuações a eventos articulados ritmicamente, de acordo com seu posicionamento dentro da estrutura apresentada. Ou seja, a preferência pela atribuição de acento subjetivo de um evento em meio a outros idênticos seria determinada por sua relação com outros elementos da sequência. Neurocientistas de diversas tendências da área chegaram a um consenso sobre cinco fatores, que orientam o processo de indução do tempo musical (*beat induction*). Estes fatores atendem ao modelo que segue: (1) preferência por tempos métricos (*beats*) que coincidem com ataques de notas; (2) preferência por alinhar tempos métricos com as notas mais longas<sup>3</sup>; (3) preferência pela regularidade dos tempos métricos; (4) formação de “agrupamento”, uma

tendência a se considerar o tempo métrico forte no início de uma série de notas que formam um grupo ou uma frase (POVEL; ESSENS, 1985); (5) formação de progressões harmônicas, uma tendência a associar tempos métricos fortes com os pontos de mudança na harmonia (TEMPERLEY, 2001: 51).

As regras de preferência se referem, basicamente, a regras de agrupamento temporal nas quais um sujeito tende a atribuir acentuação relativa a alguns elementos em uma sequência de sons acusticamente idênticos. Um aspecto importante no modelo de regras de preferência ou na Teoria da codificação do ritmo é o supracitado fenômeno da acentuação subjetiva.

### 3. Teoria da Assistência Dinâmica

Segundo a Teoria da Assistência Dinâmica (*Dynamic Attending Theory*, DAT) (JONES; BOLTZ, 1989 apud FUJIOKA; FIDALI; ROSS, 2014: 2), a sincronia adaptativa de oscilações internas da atenção com um evento externo (*entrainment*) é auxiliada pela percepção de hierarquias métricas, as quais constituem um processamento dos níveis temporais subjacentes ao estímulo que, por sua vez, induz oscilações neurais correlatas.

Deste modo, as expectativas temporais seriam a manifestação da persistência endógena da periodicidade induzida pelos níveis métricos contidos no estímulo. Sua adaptabilidade se dá pelo ajuste da fase como resposta a *violação das expectativas* em razão da sintonização recorrente dos intervalos de tempo de um dado nível (JONES, 2009: 83).

É importante notar ainda que, segundo Jones, haveria a influência de fatores de treinamento e aculturação contribuindo para a familiarização com os níveis métricos e promovendo o que ela denomina **vinculações métricas** (*metric binding*). Estas últimas referem-se à formação de oscilações neurais em harmônicos ou sub-harmônicos de uma pulsação, analogamente a um compasso musical, assim como às suas subdivisões em níveis hierárquicos temporais em proporções de números inteiros 3:1, 2:1, 4:1. As vinculações métricas resumem-se à sincronização interna entre as oscilações neurais referentes a cada nível métrico, produzindo ressonância entre eles e formando um bloco (*cluster*) (JONES, 2009: 84).

Tendo sido inicialmente uma teoria embasada em experimentos basicamente comportamentais, desde os anos 1990, a DAT vem sendo fortalecida pela obtenção de evidências experimentais no campo da neurociência, através de pesquisas com sinais de

Eletroencefalograma (EEG). Este percurso experimental agrega novos conhecimentos advindos desse campo de estudos e sua consequência direta é a Teoria da ressonância neural, discutida a seguir.

#### 4. Ressonância Neural

A idéia de um **acoplamento neural** com estímulos sonoros vem da observação da correlação entre a sincronização comportamental de indivíduos a estímulos musicais e a respectiva ocorrência de atividade neuronal em frequência equivalente. Esta observação foi documentada através da técnica de Potenciais Relacionados a Eventos (ERP, *Event-Related Potentials*).

Sobre estes últimos, Luck esclarece:

Os Potenciais Relacionados a Eventos foram inicialmente chamados Potenciais Evocados (EP de *Evoked Potentials*) porque tratavam de potenciais elétricos evocados por estímulos (em oposição às ondas EEG espontâneas). [...] A expressão 'Potenciais Relacionados a Eventos' é proposta para designar a classe geral dos potenciais que exibem relações de tempo estável para um evento de referência definível (VAUGHAN, 1969: 46 apud LUCK, 2005).

Em outras palavras, esses potenciais evocados referem-se a respostas de populações de neurônios a estímulos externos. No nosso caso, eles são estímulos acústicos não necessariamente periódicos, mas que contêm no mínimo uma pulsação. Esta pulsação, de algum modo, é percebida pelo sistema nervoso que responderia adaptativamente, procurando projetar expectativas de continuidade desta mesma pulsação. A ressonância de sub-harmônicos ou harmônicos da frequência dessa pulsação produziria subunidades ou superunidades temporais, estabelecendo níveis que musicalmente chamamos de níveis métricos. Nozaradan e Peretz resumem a Teoria da Ressonância neural da seguinte maneira:

A teoria de ressonância para o *tactus* e a percepção métrica (Large, 2008; Large e Kolen, 1994; van Noorden e Moelants, 1999) propõe que a percepção do *tactus* emerge do processo de sincronização adaptativa [*entrainment*] de populações neuronais ressoando na frequência do *tactus*, em si dando origem a ressonância em sub-harmônicos desta frequência de ordem mais elevada (na hierarquia métrica), correspondente ao compasso (NOZARADAN; PERETZ, 2013: 104).

A primeira evidência direta desta hipótese, um grande avanço na área, veio através da medição da frequência de resposta de populações de neurônios em experimento em que os participantes ouviam uma pulsação com acentuações irregulares, e imaginavam métricas binárias e ternárias. Os resultados mostraram diferenças entre as respostas para cada situação indicando que a intencionalidade da interpretação de um mesmo estímulo físico pode

ser observada diretamente na resposta neuronal pela abordagem chamada *frequency tagging* (mapeamento de frequência) (NOZARADAN; PERETZ et al., 2011), que consiste em observar os picos de frequência registrados no EEG após o início do estímulo.

## 5. Conclusão

Apesar das teorias apresentarem diferenças de abordagem do fenômeno, o Modelo de Regras de Preferência, a Teoria da Assistência Dinâmica e a abordagem da Ressonância Neural não são excludentes e podem ser complementares.

O fenômeno da acentuação subjetiva, um dos pilares do modelo de regras de preferência, apresenta indícios de correlação entre potencial evocado e acentuação subjetiva, reforçando a hipótese que vincula potencial evocado e percepção métrica (POTTER; FENWICK et al., 2009).

Essas correlações abrem possibilidades de pesquisa bastante animadoras, no sentido de desvendar como o cérebro codifica eventos temporais recorrentes, assim como interpreta e reinterpreta, dinamicamente, as estruturas hierárquicas temporais induzidas por estímulos externos. Além de apontar para a investigação da influência do sistema motor na percepção do ritmo (IVERSEN; REPP; PATEL, 2009; PATEL; IVERSEN, 2014), considerada a hipótese de que o sistema motor e o sistema auditivo possam se afetar reciprocamente.

Outro aspecto importante levantado pelas pesquisas sobre comportamentos rítmicos refere-se a uma mudança conceitual. A percepção do ritmo passa a ser considerada enquanto processo ativo, por envolver a geração de expectativas e a consequente preparação do indivíduo para o movimento.

## Referências

- FITCH, W. T. The biology and evolution of rhythm: unravelling a paradox. In: REBUSCHAT, P., et al. *Language and Music as Cognitive Systems*. [S.l.]: OUP Oxford, 2011. p. 356. ISBN 9780199553426.
- FUJIOKA, T.; FIDALI, B. C.; ROSS, B. Neural correlates of intentional switching from ternary to binary meter in a musical hemiola pattern. *Frontiers in Psychology*, 2014. doi:10.3389/fpsyg.2014.01257.
- IVERSEN, J. R.; REPP, B. H.; PATEL, A.. *Top-Down Control of Rhythm Perception Modulates Early Auditory Responses*. Brain Mechanisms of Metrical Interpretation. [S.l.]:





- Annals of the New York Academy of Sciences. 2009. p. 58-73. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04579.x.
- JONES, M. R. Musical Time. In: HALLAM, S.; CROSS, I.; THAUT, M. *Oxford Handbook of Music Psychology (Oxford Library of Psychology)*. [S.l.]: OXFORD UNIVERSITY PRESS, 2009. ISBN-10: 0199298459.
- JONES, M. R.; BOLTZ, M. Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, v. 96, n. 3, p. 459-491, 1989.
- LERDAHL, F.; JACKENDOFF, R. *A generative theory of tonal music*. Cambridge: MIT Press, 1983.
- LONDON, J. *Hearing in Time: Psychological Aspects of Musical Meter*. New York: Oxford University Press, 2012.
- LUCK, S. J. *An introduction to the event-related potential technique*. [S.l.]: MIT Press, 2005. 374 p.
- NOZARADAN, S. et al. Tagging the Neuronal Entrainment to Beat and Meter. *The Journal of Neuroscience*, v. 31, n. 28, p. 10234-10240, 13 July 2011. DOI:10.1523/JNEUROSCI.0411-11.2011.
- NOZARADAN, S.; PERETZ, I. *Exploring the Neural Entrainment to Musical Rhythms and Meter: a Steady-State Evoked Potential Approach*. PhD Dissertation. ed. Montreal: [s.n.], 2013. Tese de Doutorado.
- PATEL, A. D. *Language, music, and the brain*. [S.l.]: OUP, 2008.
- PATEL, A. D.; IVERSEN, J. R. The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the action simulation for auditory prediction (ASAP) hypothesis.. *Front. Psychol.*, v. 8, n. 57, 2014. (doi:10.3389/fnpsy.2014.00057).
- POTTER, D. D. et al. Perceiving rhythm where none exists: event-related potential (ERP) correlates of subjective accenting. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, v. 45, n. 1, p. 103-9, 2009. doi:10.1016/j.cortex.2008.01.004.
- POVEL, D.-J. Internal representation of simple temporal patterns. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance.*, v. 7, n. 1, p. 3-18, Fev 1981.
- POVEL, D.-J.; OKKERMAN, M. Accents in equitone sequences. *Perception & Psychophysics*, 30, n. 6, 1981. 565-572. Copyright 1982.
- TEMPERLEY, D. *The Cognition of Basic Musical Structures*. Cambridge: [s.n.], 2001.

---

<sup>1</sup> Entendida enquanto campo interdisciplinar de estudos, a sonologia envolve também reflexão e pesquisa a respeito de processos de criação e recepção ligados as artes do som, além de sua abordagem enquanto fenômeno físico e perceptivo. É nessa perspectiva que situamos nosso presente trabalho, inserindo-o no contexto experimental que envolve psicologia comportamental, cognição musical, neurociência e percepção sonora.

<sup>2</sup> *Tactus* é um termo renascentista que designa o que conhecemos por *beat*, ou unidade referencial de tempo. Quando se acompanha uma música batendo os pés ou batendo palmas, em geral, estas correspondem ao *beat*.

<sup>3</sup> Para obter evidência psicológica dessa afirmação, cf. Povel e Essens (1985).