Acoplamento interpretativo e sincronização em duos de clarinetas

Mauricio Alves Loureiro (UFMG), Davi Alves Mota (UFMG),
Thiago Campolina (UFMG), Hani Camille Yehia (UFMG),
Rafael Laboissière (Lyon Neuroscience Research Center - INSERM/CNRS/UCBL)

Resumo: Uma série de estudos demostraram que músicos acompanham melhor eles mesmos do que outros. Em estudos de reconhecimento da ação e simulação isto é conhecido como efeito *self/other* e pode ser observado em outras tarefas que envolvem ação-percepção, tais como o reconhecimento de caligrafia e nos resultados de lançamento de dardos. No presente estudo, foram analisados os padrões de sincronização e de acoplamento interpretativo entre clarinetistas profissionais, durante a performance em um ambiente simulado de orquestra. Modelos GLMM (*generalized linear mixed model*) aplicados a parâmetros acústicos relacionados com intenções expressivas dos intérpretes mostraram maior acoplamento em execuções, nas quais músicos acompanhavam a si mesmos, se comparadas com quando acompanhavam outros músicos, bem como uma melhoria no desempenho ao acompanhar outros músicos, à medida que os experimentos se repetiam, sugerindo uma capacidade de aprendizagem do acoplamento interpretativo e sincronização dos músicos.

Palavras-chave: Sincronização. *Performance* musical. *Performance* de conjuntos instrumentais. Efeito *self-other*. Acoplamento interpretativo.

Title: Patterns of Temporal Synchronization in Performing Clarinet Duets

Abstract: A series of studies have shown that musicians accompany themselves better than others. This is known as the *self/other* effect in action recognition and simulation and has been demonstrated in other action-perception tasks like recognizing handwriting and the outcomes of dart throwing. In this study, patterns of synchronization and performance coupling were analyzed among professional clarinetists while performing in a simulated orchestral environment. GLMM models (*Generalized Linear Mixed Model*) applied to acoustic parameters related to the musician's expressive intentions demonstrate a higher degree of coupling in performances where musicians accompanied themselves compared to when they accompanied other musicians., as well as an improvement in performance when accompanying other musicians as experiments repeated, suggesting musicians were capable of learning synchronization and performance coupling.

Keywords: Synchronization. Music Performance. Ensemble Performance. Sellf-Other Effect. Performance Coupling.

LOUREIRO, Mauricio A.; MOTA, Davi A.; CAMPOLINA, Thiago; YEHIA, Hani C.; LABOISSIÈRE, Rafael. Acoplamento interpretativo e sincronização em duos de clarinetas. *Opus*, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 181-206, dez. 2012.

O presente artigo desenvolve em relação ao trabalho apresentado no XXII Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música, ANPPOM, sob o título "Padrões de sincronização temporal em duos de clarinetas: influencia do acompanhante e da estrutura musical" (LOUREIRO et al., 2012: 1744-1751), com a inclusão de diferentes parâmetros musicais, além da análise de assincronia, de forma a abordar a multidimensionalidade do acoplamento interpretativo.

O ato de interpretar uma estrutura musical é indissociável da própria obra. A *performance* musical é uma atividade complexa, que envolve aspectos acústicos, fisiológicos, psicológicos e artísticos. O estudo da *performance* musical tem focalizado a compreensão dos mecanismos que possam estar por trás da diversidade existente entre as inúmeras *performances* possíveis de uma mesma partitura, manifestas por diferentes estratégias de manipulação do material acústico, adotadas pelo intérprete ao tocar seu instrumento. É o intérprete quem escolhe o perfil das durações, alturas, intensidades, articulações e timbres de cada nota, dentro de limites que lhe são impostos, não apenas pelas indicações da partitura, mas também pelo estilo, pelas condições acústicas do ambiente e do instrumento musical, e pelas habilidades do músico. A discriminação entre *performances* distintas, mesmo que tocadas por um mesmo intérprete, pode ser percebida com uma clareza surpreendente, mesmo por ouvintes não especializados.

Desde as primeiras investigações sobre *performance* musical, feitas por Seashore (1938), este campo tem se desenvolvido em direção à compreensão deste complicado fenômeno, que envolve não apenas o comportamento do instrumentista frente ao texto que interpreta, mas também os mecanismos de percepção envolvidos na escuta. Um grande número de estudos em *performance* musical vem sendo realizado com base em medições das flutuações das características acústicas das notas, visando relacionar possíveis padrões acústicos a algum significado ou intencionalidade de expressão musical. Estes trabalhos demonstraram consistentemente que é através destas flutuações que músicos buscam comunicar ao ouvinte diferentes aspectos da música que interpretam. Seashore sugeriu uma abordagem que examinasse como o ouvinte extrai do som as intenções do intérprete, afirmando que "as relações psicofísicas entre o intérprete e o ouvinte são fundamentais para a compreensão das microestruturas da *performance* musical". Alguns estudos abordaram o problema por esta via, focalizando a percepção da *performance* musical e seus aspectos emocionais, como é apresentado no estudo de Sloboda (1985), que evidenciou correspondência entre as intenções do intérprete e a percepção dos ouvintes. Medindo as diferenças entre *performances* de diferentes pianistas, Bruno Repp (1990; 1992) identificou também fatores comuns entre elas e foi capaz de relacioná-los à estrutura da obra interpretada. Densas revisões bibliográficas sobre estudos em *performance* musical foram elaboradas por Gabrielsson (1999; 2003), contendo mais de 800 referências.

O Conceito de "desvio expressivo". Com o objetivo de identificar os recursos utilizados pelo intérprete para comunicar sua intenção expressiva em um contexto musical específico, De Poli e colegas (DE POLI; RODÀ; VIDOLIN, 1998) definiram um conjunto de parâmetros acústicos que pudessem encapsular informação de conteúdo expressivo, utilizando o conceito de *desvio expressivo*, definido como qualquer desvio dos

valores destes parâmetros em relação a uma *performance* de referência, definida como *performance* "plana" ou "sem expressão". Baseado em estudos de Palmer (1996a; 1996b), De Poli identificou duas fontes de motivação que levariam o intérprete a realizar estes desvios para transmitir suas intenções expressivas: (1) aspectos estruturais da partitura, tais como estrutura hierárquica de frases, estruturas harmônica e melódica, que são comuns a todas as *performances* e traduziriam o conteúdo expressivo codificado pelo compositor na partitura; (2) intenções de expressividade do intérprete, que são específicas para cada *performance*. O estudo foi capaz de distinguir os desvios expressivos relacionados a cada uma destas fontes, além de pontuar também que cada instrumento musical específico tem seus próprios recursos para a realização destes desvios: vibrato nas cordas, língua nos sopros, ataques no piano e percussão, pinçamento no violão e harpa. São estes recursos, que cada instrumento musical oferece ao intérprete, que caracterizam a escrita idiomática de cada instrumento e determinam a definição dos parâmetros a serem utilizados.

Os resultados destes estudos mostraram a complexidade do problema frente às inúmeras possibilidades que o intérprete pode escolher para transmitir sua intenção expressiva. Além disso, diferentes motivações expressivas podem ser transmitidas por efeitos acústicos similares, do mesmo modo que diferentes efeitos acústicos podem levar à mesma ideia expressiva, dificultando ainda mais a formalização do problema. No entanto, outros estudos além destes mencionados mostraram grande consistência nos dados de testes perceptivos, que comprovam a capacidade dos ouvintes de perceber claramente determinadas *performances* como expressivas ou não e de reconhecer determinadas intenções expressivas, o que permitiu a Repp (1992) propor a existência de princípios objetivos que determinariam se uma *performance* é ou não expressiva ou "musical".

Música em Conjunto. No caso de conjuntos instrumentais, a coordenação dessas manipulações entre os intérpretes é crucial, tanto para a realização da *performance* quanto para o bom entendimento da ideia musical a ser transmitida. Músicos precisam prever as variações temporais produzidas pelos outros membros do conjunto. Consequentemente, a coordenação destas manipulações é compartilhada entre todos os músicos envolvidos na realização da tarefa musical, seja servindo de referência para outros músicos (como é o caso do regente ou chefes de naipes) ou seguindo a diretrizes ditadas por esta referência. Para realizar essa tarefa apropriadamente, os músicos são obrigados, de alguma forma, a prever as variações temporais produzidas por outros membros do conjunto.

Pode-se argumentar ainda que, no caso de *performances* em grupo, as informações visuais possuem papel essencial na sincronização dos eventos musicais. No entanto, músicos também são capazes de acompanhar outros músicos exclusivamente a partir de sinais

acústicos, uma situação de *performance* que se torna cada vez mais comum como consequência do crescimento da prática de gravações de *performances* em estúdio, nas quais frequentemente um músico precisa seguir os outros através de fones de ouvido. Por outro lado, diversos tipos de movimentos corporais não diretamente vinculados à produção sonora podem ser constantemente observados em qualquer execução instrumental. De fato, como apontado por Gabrielsson (2003), a movimentação realizada por um músico, além de comunicar informações relevantes para a coordenação com outros, pode ainda assumir papeis diversos, como o de comunicar intenções expressivas, apresentar informações sobre a personalidade do artista ou simplesmente entreter a audiência.

Objetivos

O foco deste estudo é compreender como músicos acoplam a interpretação da partitura e sincronizam suas notas em *performances* musicais em conjunto. Uma das principais tarefas do músico, quando toca em grupo, é a sincronia com os outros músicos. Para garantir a sincronia em uma *performance* em conjunto, como por exemplo, em um ambiente de orquestra, os músicos utilizam não apenas informações acústicas, mas também visuais, referentes a movimentos corporais. Uma série de estudos recentes demonstrou que os músicos "tocam" melhor consigo mesmos do que com os outros (KELLER, 2001. KELLER; KNOBLICH; REPP, 2007. KELLER; APPEL, 2010). Em estudos voltados para o reconhecimento da ação e simulação este efeito é conhecido como *self* / *other*, e pode ser observado em outras tarefas que envolvem ação-percepção, tais como o reconhecimento de caligrafia (KNOBLICH; SEIGERSCHMIDT; FLACH; PRINZ, 2002) e o lançamento de dardos (KNOBLICH; FLACH, 2001). No presente estudo, foram analisados os padrões de sincronização e de acoplamento interpretativo entre clarinetistas profissionais, durante a *performance* em um ambiente simulado de orquestra.

Materiais e Métodos

Participantes. Cinco músicos profissionais e um estudante foram recrutados em Belo Horizonte, Minas Gerais, todos com experiência anterior em prática de orquestra e todos se conheciam. Dois deles tiveram aulas de clarineta com o mesmo professor. Até o momento das gravações, o estudante era aluno de clarineta de um dos outros participantes.

Material Musical. Foi utilizado no experimento um excerto da *Dança do camponês e o urso* do balé *Petrushka* de Igor Stravinsky, extraído do *Tableau IV,* n. 100 (três primeiros compassos, Fig. 1), em que "o camponês toca a flauta e o urso anda sobre as patas traseiras" ("The Peasant Plays the Pipe. The Bear Walks on His Hind Feet".

STRAVINKY, 1988: 115). Neste trecho, a primeira e a segunda clarinetas tocam solo em uníssono *(soli a due),* apresentando uma situação de *performance* real, que exige a sincronização de cada nota. A seleção do material musical foi feita segundo dois critérios: (1) linhas melódicas simples, (2) *soli a due* - a situação de uníssono em contexto musical real, garante a igualdade de condições musicais em ambas as tomadas.

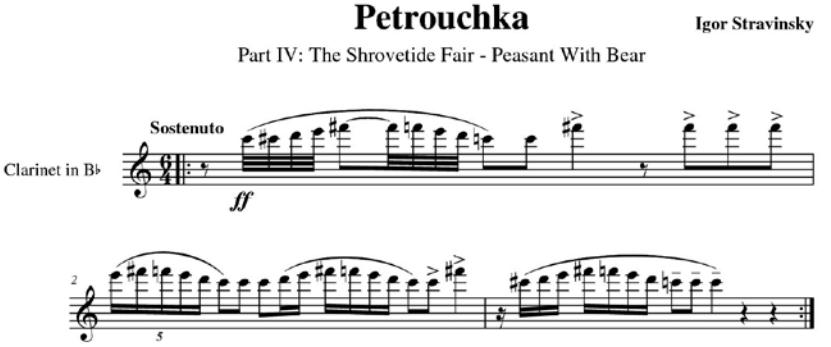

Fig. 1: Excerto de *Petrushka: Tableau IV*, *Dança do camponês e o urso* (comp. 1-3), de Igor Stravinsky.

Experimento. As gravações foram realizadas em duas sessões, separadas por intervalos de dois a três dias. Na primeira sessão, os músicos foram instruídos a tocar como primeira clarineta (*primo*), isto é, seguindo suas próprias intenções interpretativas. Uma vez terminada a sessão, foi solicitado ao músico que escolhesse uma das quatro gravações executadas por eles, a qual serviu mais tarde como *primo* para a segunda sessão.

Na segunda sessão, os músicos foram instruídos a tocar como segunda clarineta (*secondo*), acompanhando cada uma das gravações de *primos* escolhidas na primeira seção, incluindo as executadas por eles mesmos. A única instrução dada foi para acompanhar o *primo* da melhor forma possível. Três batidas de metrônomo foram incluídas no início de cada gravação *primo* utilizada na segunda sessão. O andamento de cada gravação foi estimado como o tempo médio entre as notas mais salientes no trecho (colcheias no final do primeiro compasso). Depois de ouvir a execução *primo* uma vez, os clarinetistas tocaram como *secondo* quatro vezes (*tomadas*), enquanto ouviam o *primo* através de um fone de ouvido em sua orelha direita. Todas as gravações *primo* usadas na segunda sessão foram apresentadas de maneira aleatória.

Aquisição e processamento do áudio. O áudio foi capturado utilizando-se uma interface M-Audio FireWire 1814 com frequência de amostragem de 44.100 Hz, em apenas um canal, empregando um microfone omnidirecional numa sala com tratamento acústico básico. O microfone foi colocado a um metro de distância dos sujeitos, a fim de evitar grandes mudanças na amplitude do sinal, que poderiam ser causadas pelo movimento dos clarinetistas. Cada clarinetista utilizou o seu próprio instrumento e materiais durante as sessões de gravação.

Todo o processamento do sinal de áudio utilizado neste estudo foi processado com a utilização de métodos, descritos a seguir, que integram o sistema *expan* de análise empírica da *performance* musical, desenvolvido em estudos anteriores (LOUREIRO et al., 2008. LOUREIRO et al., 2009).

Segmentação. O primeiro passo para a análise destas variações é a definição dos parâmetros capazes de descrever a informação musical que se quer analisar, bem como a metodologia de extração e estimação destes parâmetros a partir do envelope de amplitude da nota. Este processo envolve a detecção precisa dos instantes delimitadores das notas musicais, de regiões do interior da nota ou da transição entre elas, tais como os instantes de início da nota (*onset*), de final de ataque, de início do decaimento e de final de nota (*offset*), como mostra a Fig. 2. A partir destes valores, estimam-se parâmetros que evidenciam as flutuações das qualidades acústicas das notas, que possam se relacionar com intenções expressivas do intérprete.

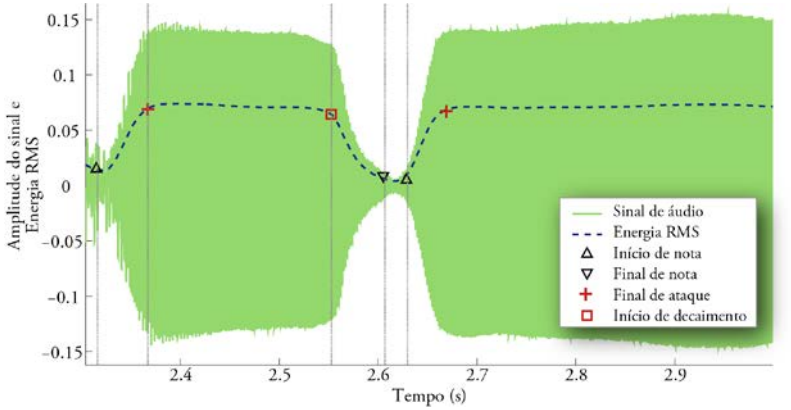

Fig. 2: Descritores de duração definidos a partir dos instantes de início e final de nota, final de ataque e início de decaimento.

A detecção destes instantes não é um problema trivial, mesmo quando se trata de sinais musicais monofônicos, já que a subjetividade na discriminação destes instantes não pode ser desconsiderada. A detecção de início e final de nota foi feita no envelope de energia média (RMS) de 23 ms de duração, utilizando-se um limiar adaptativo, como sugerido por De Poli (DE POLI; MION, 2006), definido como uma curva média de energia RMS calculada em uma certa vizinhança de cada ponto do envelope RMS (1 s para um salto de 6 ms). Esta curva estabelece um limiar adaptativo, que intercepta a curva de energia RMS nas regiões de transição entre notas consecutivas (pontos P_1 e P_2), como mostra a Fig. 3. A curva contínua corresponde à energia RMS e a curva pontilhada à média de RMS de longa duração. Os pontos de início de nota podem ser encontrados a partir do valor mínimo de energia na região abaixo do limiar adaptativo. As transições entre notas consecutivas são detectadas a partir das intercepções deste limiar dinâmico com o envelope RMS.

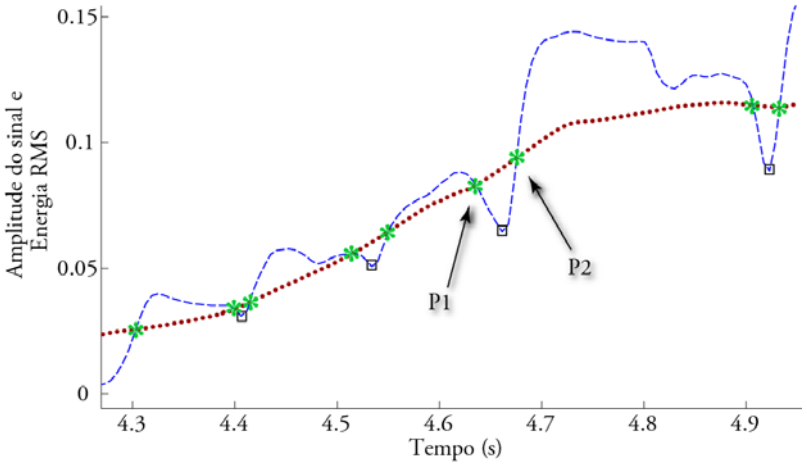

Fig. 3: Detecção de inícios de notas a partir de um limiar adaptativo (média da energia RMS de longa duração).

Os pontos de início e final da nota são determinados buscando-se mínimos de energia entre estes pontos de intersecção, como mostrado na Fig. 4. A estimação da frequência fundamental auxiliou a detecção destes instantes quando a segmentação de notas consecutivas não foi possível somente a partir de níveis de amplitude, como em casos de notas ligadas, em que o instante de final de nota pode coincidir com o instante de início da nota seguinte.

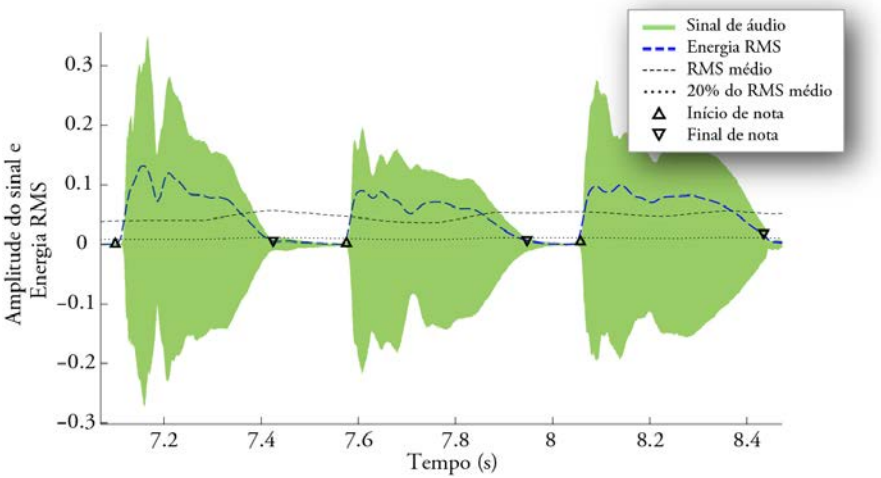

Fig. 4: Detecção de inícios de notas a partir de um limiar adaptativo (20% da média da energia RMS de longa duração).

Os instantes de final do ataque e o do início do decaimento foram detectados a partir da estimação dos máximos das taxas de variação de energia ao longo da nota. Não existe, na literatura, um método de medição que possa descrever inequivocamente o ataque. O final de ataque foi definido como o primeiro máximo de amplitude depois do início da nota e o início do decaimento como o último máximo antes do final da nota (PARK, 2004. MAESTRE; GÓMEZ, 2005). Esta definição de ataque é adequada para descrevê-lo na maioria dos casos, mas falha em situações em que a amplitude máxima é alcançada apenas em um ponto bem avançado na sustentação da nota, como pode ocorrer com instrumentos não percussivos ou não pinçados, tais como sopros, cordas e voz. A presença de transientes durante as transições de nota torna possível o uso do fluxo espectral na detecção do final do ataque. O fluxo espectral mede a correlação entre as amplitudes espectrais de regiões consecutivas do sinal. O final do ataque é o instante onde esta correlação é restabelecida, após a transição. O fluxo espectral confirmou a maioria dos pontos de final de ataque estimados pela variação de energia e permitiu a detecção desses pontos onde o método da energia falhou, como na transição entre a primeira e segunda notas mostrada na Fig. 5.

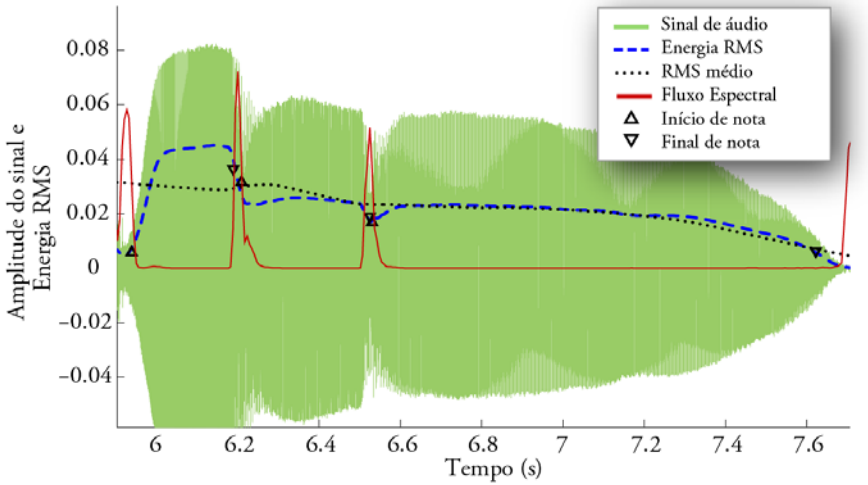

Fig. 5: Detecção de inícios de notas a partir do fluxo espectral.

Parametrização: descritores acústicos. A partir do valor do intervalo de tempo entre os inícios de notas sucessivas, denominado IOI (*inter-onset-interval*), define-se uma gama de parâmetros capazes de descrever aspectos relevantes da *performance*, decorrentes da manipulação das durações das notas pelos intérpretes, tais como *rubati*, mudanças de andamento, *accelerandi, ritardandi,* que estão entre os principais recursos de variação expressiva utilizados pelos intérpretes (REPP, 1995).

A detecção dos instantes de final de ataque, de início do decaimento e de final de nota (*offset*), permite-nos estimar descritores relacionados à qualidade das transições entre notas consecutivas de uma sequência melódica, que é manipulada pelo intérprete a partir do controle das durações das notas e da qualidade dos ataques e dos agrupamentos de notas. Neste estudo, foram definidos dois descritores que buscam revelar a qualidade das sonoridades efêmeras que ocorrem entre as notas de uma frase musical, o *índice de articulação* e o *índice de legato*.

O *índice de articulação* está relacionado à qualidade intencional das transições entre as notas, a partir de manipulações das durações das notas e da qualidade dos ataques controladas pelo intérprete de acordo com suas intenções expressivas e de inteligibilidade. Definido como a razão entre os valores de duração da nota (intervalo de tempo entre o início e o final da nota) e o intervalo de tempo IOI (entre seu início e o início da nota

subsequente), este índice é apropriado para descrever as transições entre notas destacadas, normalmente produzidas na clarineta com interrupções bruscas do fluxo de ar através de golpes da língua na palheta, com os quais o intérprete controla a qualidade dos ataques e a duração (DR) de cada nota:

$$IA(i) = 1 - \frac{DR(i)}{IOI(i)}$$

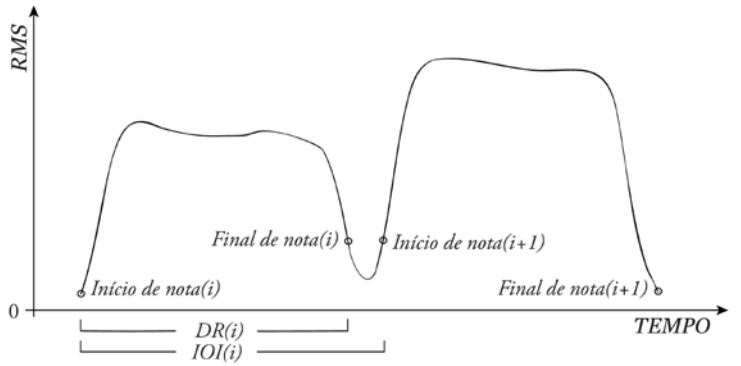

Fig. 6: Representação do cálculo do *índice de articulação* para a transição entre duas notas.

Tendo seu valor próximo de zero para transições em legato, o *índice de articulação* não é apropriado para descrever esse tipo de transição, produzida na clarineta com um sopro único sem interrupção do fluxo de ar, ao longo de todo o trecho ligado. O *índice de legato* foi definido como sugerido por Maestre (MAESTRE; GÓMEZ, 2005), a partir de um *legato* (L) ideal entre duas notas sem qualquer decréscimo de energia, definida pelos instantes de início de decaimento (Id) de uma nota e final de ataque Fá da nota subsequente. O *índice de legato* refere-se à qualidade das transições entre as notas executadas com a intenção de serem ligadas e está intimamente relacionado às habilidades do músico e ao tempo de reverberação do ambiente de execução. Este índice é estimado pela razão entre a área A_1, compreendida entre esta reta e a curva de energia na região de transição entre as notas e a área total abaixo desta reta, $A_1 + A_2$. Seu valor é menor ou igual a 1, sendo próximo de 1 para notas "idealmente" ligadas:

$$IL(i) = 1 - \left[\frac{A_1}{A_1 + A_2}\right] = 1 - \left[\frac{\sum_{t=id(i)}^{fa(i+1)} L(t) - RMS(t)}{\sum_{t=id}^{fa(i+1)} L(t)}\right]$$

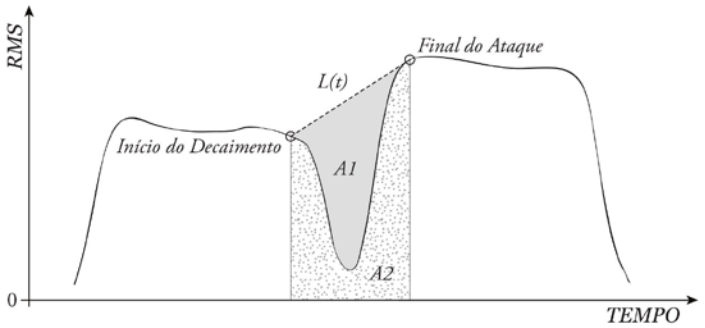

Fig. 7: Cálculo do Índice de Legato para a transição entre duas notas.

Para descrever as variações de timbre ao longo da execução do excerto, adotamos o *Logaritmo do Tempo de Ataque,* um descritor que caracteriza bem a qualidade do ataque de cada nota, que por sua vez, está intimamente relacionado à percepção de timbre de notas curtas, tal como demonstrado nos estudos de Robert Grey (1975; 1977; 1978) sobre timbres de notas isoladas de instrumentos musicais e verificado exaustivamente posteriormente por Stephen McAdams (1999):

$$LTA = log_{10}(T_f - T_i)$$

Considerando que a duração máxima das notas que constituem o excerto musical utilizado neste estudo não ultrapassa 600 ms, a representação simplificada do timbre de cada nota pelo *logaritmo do tempo de ataque* parece bastante adequada.

A variação da intensidade é comumente descrita pelo nível de "volume" (*loudness*), definido como a média quadrática de intensidade do som ao longo de cada nota, sendo esta, por sua vez, medida em decibel e ponderada pela curva de resposta auditiva humana de Fletcher-Munson e implementada por Zwicker (ZWICKER; FASTL, 1998). *Loudness* é

comumente utilizado para traduzir a sensação de intensidade percebida de um som, conhecida no meio musical por "dinâmica".

Resultados

Medida de Assincronia. Primeiramente, foi analisada a sincronização temporal de cada duo, através da medida de assincronia entre cada nota tocada por cada clarinetista, definida como a diferença temporal entre os instantes de início (*onsets*) de cada nota tocada pelo clarinetista *secondo* e pelo clarinetista *primo* (assincronia positiva quando o *secondo* toca atrasado em relação ao *primo*). A distribuição observada da assincronia, assim definida, foi simétrica, com média e mediana próximas de zero, como mostra no gráfico da esquerda da Fig. 8. A assincronia foi, então, definida como o valor absoluto da diferença temporal entre os instantes de início de cada nota, resultando numa distribuição assimétrica, como ilustrada no gráfico da direita da Fig. 8. A assimetria foi corrigida utilizando uma transformação Box-Cox (BOX; COX, 1964).

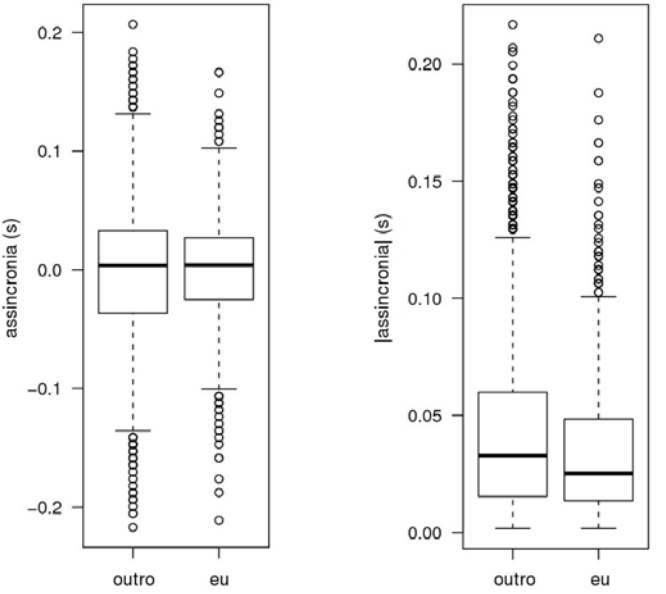

Fig. 8: Distribuição da assincronia real (esquerda) e do módulo da assincronia (direita).

As assincronias foram significativamente maiores na situação em que *secondos* acompanhavam outros *primos* (situação *outro*) se comparadas com a situação em que *secondos* acompanhavam a si mesmos como *primo* (situação *eu*). A Fig. 9 mostra os valores médios de assincronia para cada nota em escala temporal (situação *outro* em vermelho e *eu* em azul). Valores baixos de assincronia também foram observados em notas coincidentes com pulsos fortes dos compassos (as linhas verticais correspondem às linhas de unidade de tempo do compasso).

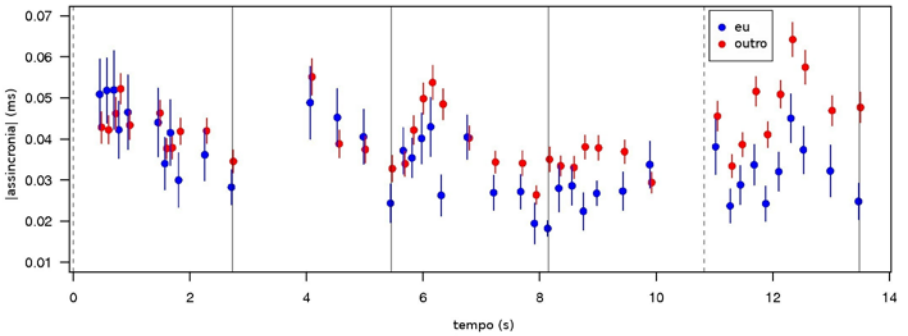

Fig. 9: Assincronias na situação *outro* (na cor vermelha), comparadas com a situação *eu* (azul).

Um modelo linear generalizado misto GLMM (*generalized linear mixed model*) (BATES; MAECHLER, 2010) foi ajustado aos dados transformados utilizando os seguintes fatores fixos: QUEM, com os níveis *eu* (*self*) e *outro* (*other*); TOMADA, um fator contínuo entre 0 (primeira tomada), e 3 (última tomada); CLASSE, com os níveis *forte*, para notas em tempo forte (quando presentes) e *não forte*, para as outras notas. Dois fatores aleatórios foram também considerados: PRIMO (a influência do *primo*) e SECONDO (a influência do *secondo*).

Um teste estatístico simples, utilizando toda a duração da execução, foi usado para garantir que os clarinetistas estavam realmente tentando acompanhar a execução *primo* e não simplesmente tocando a partir da memória daquilo que eles tocaram como *primo* anteriormente (Fig. 10). O ajuste GLMM demonstrou que a assincronia média é próxima de 40 ms com uma diminuição estatisticamente significativa de 6 ms quando os clarinetistas acompanhavam a si próprios. Este resultado é coerente com o que foi observado por Keller e colegas (KELLER; KNOBLICH; REPP, 2007), em estudo similar com duetos de

pianistas. Os autores sugeriram que os pianistas sincronizariam melhor consigo mesmos do que com outros músicos, devido ao fato de que ao tocar em conjunto, músicos buscam simular as ações dos outros membros do conjunto, baseando-se inicialmente em como eles mesmos realizariam aquele excerto.

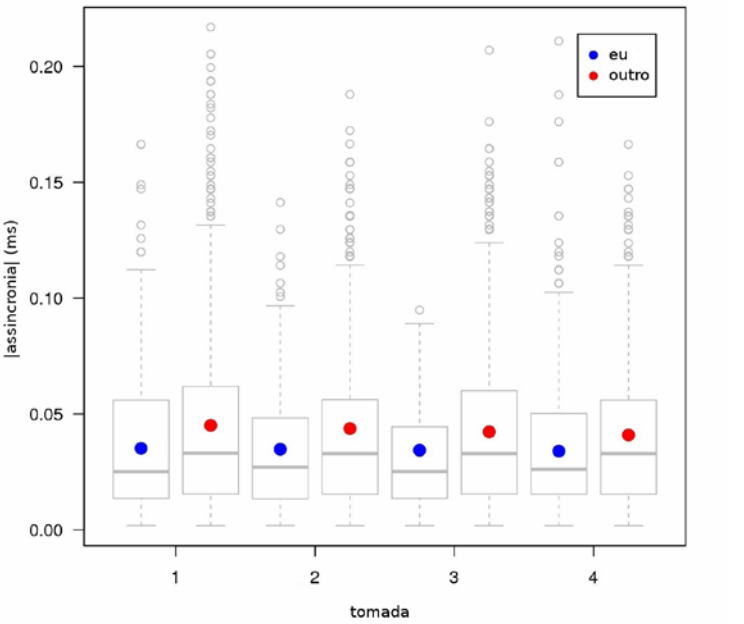

Fig. 10: Valores ajustados (círculos preenchidos) para os efeitos fixos QUEM (*eu* = azul, *outro* = vermelho) e TOMADAS e valores brutos de assincronia (boxplots).

A Fig. 11 mostra os valores ajustados, em escala ampliada, juntamente com o erro padrão em torno dos valores estimados. A diferença entre assincronias *eu* e *outro* na TOMADA de número 1 é de 9,9 ms. Este valor é significativamente diferente de zero (intervalo de confiança a 95%: [6,2; 13,7], p <0,0001). Para a condição *outro*, há uma mudança significativa da assincronia em relação à TOMADA, com um decréscimo de 1,4 ms por TOMADA (intervalo de confiança de 95%: [0,6; 2,3], p <0,01). A mudança de assincronia em relação à TOMADA não é significativa para a condição *eu*, embora haja uma ligeira diminuição de 0,4 ms por TOMADA.

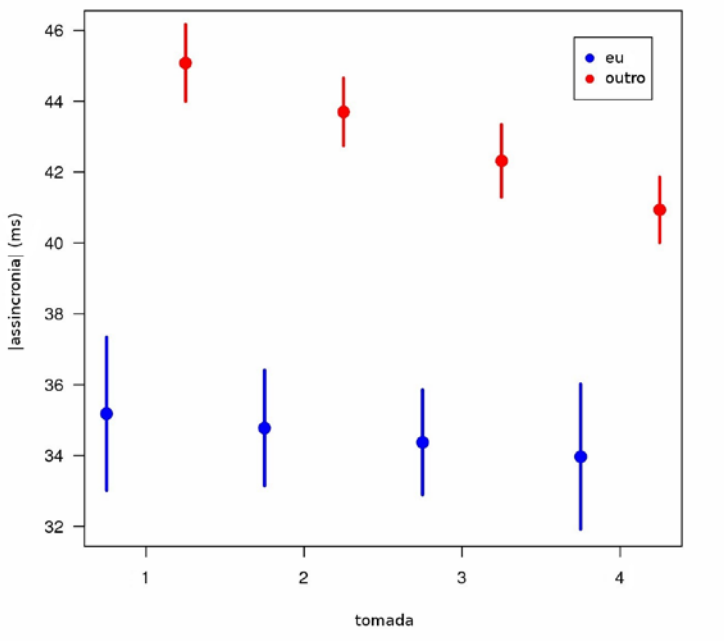

Fig. 11: Escala ampliada dos valores ajustados para os efeitos fixos QUEM (*eu* = azul, *outro* = vermelho) e TOMADAS.

Os efeitos aleatórios foram verificados usando um teste de verossimilhança (*likelihood ratio test*): ambos os fatores, PRIMO (Chisq [1] = 31,4, p <0,0001) e SECONDO (Chisq [1] = 258,5, p <0,0001) se mostraram significativos. Não foram encontrados efeitos significativos para o fator TOMADA na condição *primo*. Uma explicação razoável para este resultado seria a de que os músicos aprenderam mais rapidamente a acompanhar sua própria gravação (condição *eu*), não apresentando melhoria de sincronização nas audições subsequentes da gravação *primo* durante a segunda sessão.

A observação de que foram significativos, ambos os efeitos aleatórios PRIMO e SECONDO, assim como o efeito fixo TOMADA, sugere: (1) alguns músicos são mais fáceis de seguir do que outros, (2) alguns músicos acompanham melhor do que outros, e (3) os músicos se comportam de forma diferente no que diz respeito à adaptação da sincronização durante a execução. Os valores de assincronia de cada um dos seis músicos, ajustados para os fatores aleatórios PRIMO e SECONDO, são mostrados na Fig. 12. O eixo horizontal mostra o fator aleatório PRIMO: músicos com valores positivos induzem

assincronias acima da média, ou seja, são músicos mais difíceis de serem seguidos; valores negativos correspondem aos músicos mais fáceis de serem seguidos. O eixo vertical mostra o efeito SECONDO: valores positivos correspondem a músicos que acompanham menos os *primos*, enquanto músicos com capacidade de acompanhamento de *primos* acima da média possuem valores negativos do fator aleatório SECONDO.

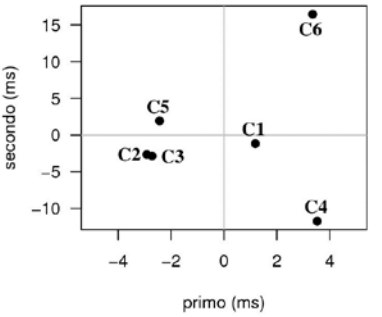

Fig. 12: Efeitos aleatórios PRIMO e SECONDO: valores positivos para o efeito PRIMO correspondem a músicos mais difíceis de serem seguidos; valores negativos para o efeito SECONDO correspondem a músicos que conseguem seguir melhor o primo.

O efeito CLASSE foi também significativo. A assincronia é cerca de 5 ms menor para as notas que ocorrem em batidas fortes, que pode ser observado na Fig. 9 - valores baixos de assincronia em notas coincidentes com as linhas verticais, correspondentes às linhas de unidade de tempo do compasso. Este resultado abre o caminho para investigações sobre a dinâmica da atenção, bem como para entender como os padrões de sincronização podem surgir a partir da estrutura musical do trecho e deverá ser mais detalhadamente investigado (LARGE; JONES, 1999. TILLMANN; STEVENS; KELLER, 2010).

Descritores Acústicos. Os resultados de análise de assincronia mostraram que os clarinetistas sincronizam melhor consigo mesmos do que com outros músicos, corroborando o que foi observado por Keller e colegas, em duetos de pianistas (KELLER; KNOBLICH; REPP, 2007). No entanto, ao tocar em conjunto, músicos buscam não apenas sincronizar suas notas, mas também almejam uma homogeneidade sonora da *performance*, que a faça soar como uma interpretação musicalmente coerente daquele conjunto, ou seja, músicos buscam ajustar não apenas seus andamentos, procurando sincronizar as notas, mas também alcançar uma homogeneidade de articulação, intensidade, afinação e qualidade

sonora em cada nota.

Este estudo buscou verificar este aspecto da *performance* musical em conjunto, adotando o mesmo procedimento da análise da assincronia aos quatro descritores acústicos acima definidos: *índice de articulação, índice de legato, logaritmo do ataque* e *loudness*. Todos os descritores analisados também apresentaram distribuições assimétricas, que foram corrigidas de maneira similar, utilizando uma transformação Box-Cox (BOX; COX, 1964). A análise do efeito *self-other* em relação a estes descritores acústicos foi feita a partir do módulo da diferença entre os valores de cada descritor para cada nota. Esta diferença pode ser vista como uma taxa de ajustamento de cada clarinetista *secondo* às intenções interpretativas do *primo* que ele acompanha.

Foi observado que a média das diferenças (absolutas) entre os valores de cada descritor para todas as notas foram significativamente maiores na situação *outro* (vermelho) se comparadas com a situação *eu* (azul), exceto para o descritor de *loudness*, como mostra a Tab. 1. Estes resultados sugerem que os clarinetistas *secondo* procuraram ajustar sua *performance* às intenções interpretativas do *primo*, não apenas a partir dos andamentos, mas também de outras qualidades sonoras. Similarmente ao que sugeriram os resultados do estudo de Keller e colegas (KELLER; KNOBLICH; REPP, 2007) com duetos de pianistas, o fato de que clarinetistas ajustam melhor suas sonoridades quando tocam consigo mesmos do que com outros músicos, poderia também ser explicado pelo fato de que os clarinetistas, ao acompanharem o *primo,* se baseariam inicialmente em como eles mesmos realizariam as articulações, ligaduras e ataques naquele excerto.

Descritor	***Eu***		***Outro***		**P**
	média	d.p.	média	d.p.	
Índice de Articulação	0,518	0,238	0,68	0,307	< 0,01
Índice de Legato	1,50	0,173	1,63	0,235	< 0,05
Logaritmo do Ataque	1,04	0,183	1,16	0,229	< 0,05
Loudness	0,26	0,071	0,27	0,088	> 0,05

Tab. 1: Comparação das médias das diferenças dos descritores acústicos entre as condições *eu* e *outro* (teste Wilcoxon-Mann-Whitney).

A Fig. 13 mostra as médias das diferenças entre os descritores para cada nota. Pode-se observar que o *Índice de Articulação* apresentou maior acoplamento na condição *eu*, comparada com a condição *outro*, com uma diferença mais acentuada nas notas articuladas:

notas 9 a 14, 20, 21, 22, 29, 30, 31, 39, 40 e 41. Este resultado não pôde ser observado para o restante das notas deste excerto, que correspondem a notas ligadas e mais curtas (semicolcheias e fusas em legato). O aparente maior acoplamento deste índice para estas notas, que é similar para as duas condições, pode ser explicado pelo fato de que este descritor, definido como a proporção entre a duração da nota e o intervalo IOI, não é adequado para descrever articulações de notas curtas e ligadas, como já havíamos evidenciado em estudos anteriores (LOUREIRO et al., 2009). Neste sentido, podemos afirmar que houve maior acoplamento de articulação na condição *eu* do que na condição *outro*.

A Fig. 13 não mostra padrões significativos de acoplamento para os descritores *índice de legato, logaritmo do ataque* ou *loudness*. Similarmente ao que foi observado para o *índice de articulação,* observa-se um maior acoplamento aparente no *logaritmo do tempo de ataque* nas notas curtas e ligadas, que pode ser explicado pelo fato de que este tipo de passagem não apresenta recursos de manipulação do ataque da nota, tal como acontece em notas mais longas e articuladas.

Em relação ao descritor de *loudness,* observa-se que todas as ocorrências da nota Fá# 6, notas de número 5, 11 a 14, 16, 25, 31 e 35, apresentaram melhor acoplamento, para ambas as condições *eu* e *outro*. Este efeito pode ser explicado pelo fato de que esta nota, por ser a mais aguda do excerto, na qual culmina a primeira frase (primeiro compasso), oferece poucas possibilidades de variação de intensidade no contexto desta partitura, decorrente das características do instrumento neste registro agudo e da dificuldade técnica de execução desta nota, inibindo assim o controle de dinâmica, o que resulta em uma inevitável homogeneidade de intensidades para todas as execuções do excerto.

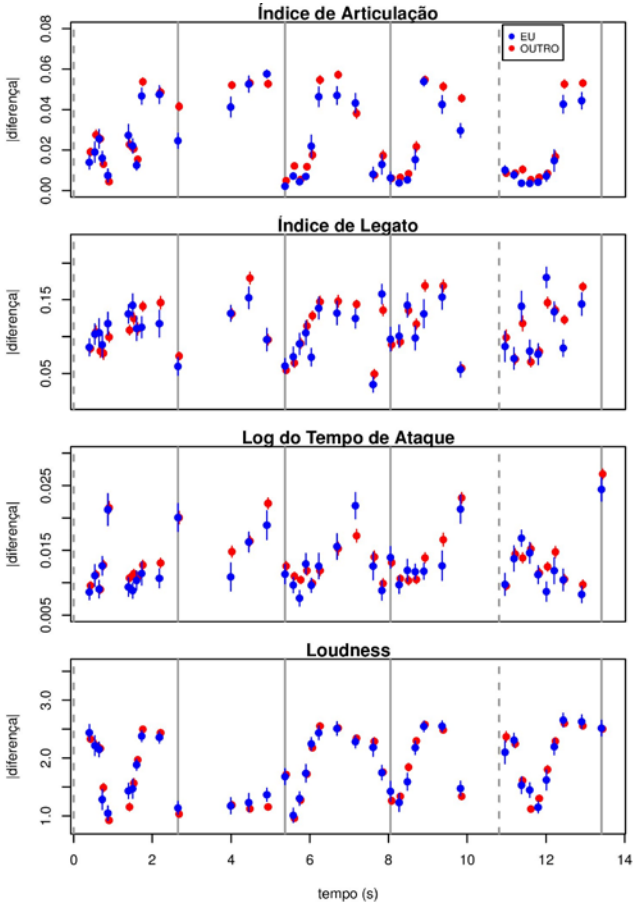

Fig. 13: Diferenças dos valores dos descritores *índice de articulação*, *índice de legato*, *logaritmo do tempo ataque* e *loudness* na situação *outro* (vermelho), comparada com a situação eu (azul).

Um modelo GLMM foi ajustado aos dados de cada descritor utilizando os fatores fixos: QUEM, com os níveis *eu* (*self*) e *outro* (*other*) e TOMADA, fator contínuo entre 0 (primeira tomada), e 3 (última tomada). Como na análise da assincronia, os fatores aleatórios considerados foram: PRIMO (a influência do *primo*) e SECONDO (a influência do *secondo*). O modelo indicou uma queda significativa de 12,97% para a condição *eu* ($p < 0{,}01$), para o *índice de articulação,* mas não apresentou resultados significativos para o efeito TOMADA em ambas as condições (*eu* e *outro*), apesar de haver uma redução de 0.52% a

cada tomada. O *logaritmo do tempo de ataque* também apresentou queda significativa (6,12 %) para a condição *eu* (p <0,01), mas não apresentou diferença significativa para o efeito fixo TOMADA. O *índice de legato* e o descritor de *loudness* não apresentaram resultados significativos para ambos os efeitos fixos QUEM e TOMADA. A Fig. 14 apresenta os resultados da modelagem para os descritores *índice de articulação,* e *logaritmo do tempo de ataque*.

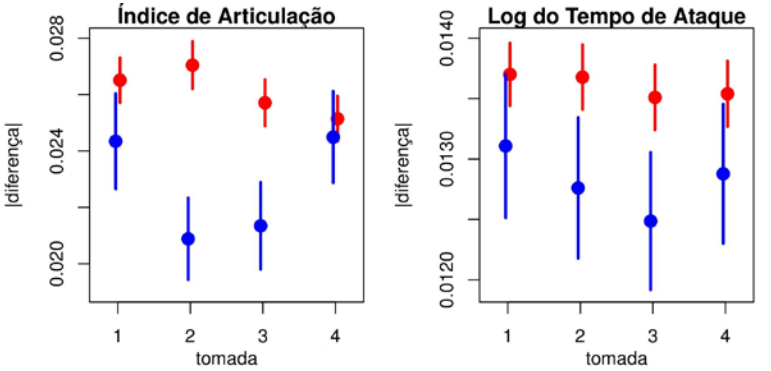

Fig. 14: Valores ajustados das diferenças dos descritores *índice de articulação* e *logaritmo do tempo de ataque* para os efeitos fixos QUEM (*eu* = azul, *outro* = vermelho) e TOMADAS.

A Fig. 15 mostra os resultados dos efeitos aleatórios para os descritores *índice de articulação* e *logaritmo do tempo de ataque.* O *índice de articulação* apresentou resultados significativos para ambos os efeitos aleatórios, PRIMO (Chisq[1]=13.619; p <0,0001) e SECONDO (Chisq[1]=190.05; p <0,0001). Para o descritor *logaritmo do tempo de ataque*, o efeito aleatório PRIMO apresentou resultado significativo (Chisq[1]=1,49; p >0,1), enquanto que o efeito aleatório SECONDO não foi significativo. Este resultado poderia sugerir que alguns músicos possuem uma maneira peculiar de realizar de atacar as notas, uma assinatura do ataque, que pode ser melhor percebida, facilitando o acoplamento.

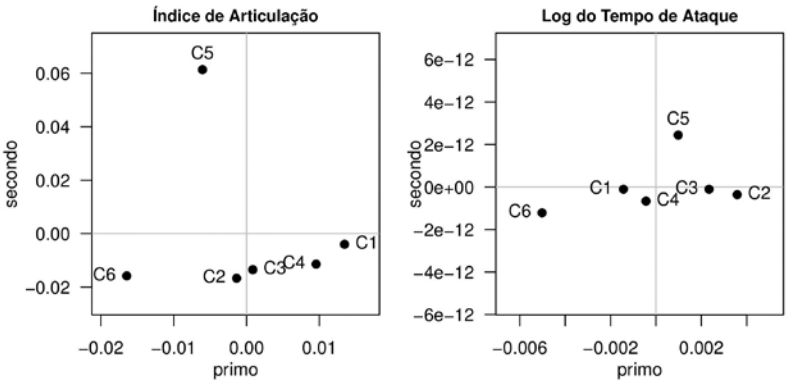

Fig. 15: Efeitos aleatórios PRIMO e SECONDO para os descritores *índice de articulação* e *logaritmo do tempo ataque*: valores positivos para o efeito PRIMO correspondem a músicos mais difíceis de serem seguidos; valores negativos para o efeito SECONDO correspondem a músicos que conseguem seguir melhor o primo.

Conclusão

O ajuste GLMM demonstrou uma queda estatisticamente significativa na média das assincronias para as execuções onde os intérpretes acompanharam a si mesmos. Isso é coerente com os resultados encontrados em outros estudos. A diminuição significativa do efeito TOMADA pode indicar que os músicos têm a capacidade de aprender rapidamente a prever melhor as intenções expressivas do seu parceiro. Os efeitos aleatórios foram significativos, o que sugere: (1) alguns músicos são mais fáceis de seguir do que outros; (2) alguns músicos são melhores acompanhadores do que outros; (3) músicos se comportam de forma diferente no que diz respeito à adaptação da sincronização durante a *performance*. A assincronia, cerca de 5 ms mais baixa, observada nas notas em posições fortes do compasso que abre o caminho para investigações para a compreensão de como os padrões de sincronização podem emergir da estrutura musical.

Os resultados do ajuste GLMM para os parâmetros acústicos testados sugerem que os músicos participantes do experimento possuem uma "assinatura" musical que pode ser acessada pelos valores nota-a-nota de alguns descritores. Os resultados dos efeitos fixos e aleatórios apresentados por cada descritor diferem substancialmente uns dos outros, sugerindo que músicos priorizam "seguir" certos parâmetros musicais em detrimento de outros, ao acompanhar outro músico. Como evidenciado pelos resultados da análise das

assincronias, músicos parecem priorizar o ajuste dos andamentos, mas são também bem sucedidos no ajuste de outros aspectos da interpretação, como por exemplo, a articulação das notas. Acreditamos que estes resultados apontam para uma hierarquia dos parâmetros musicais manipulados pelos intérpretes, isto é, quando um músico se depara com uma situação interpretativa diferente, como um *primo* desconhecido para acompanhar, ele busca adaptar sua *performance* às intenções interpretativas do outro, escolhendo para isso, aqueles aspectos que mais evidenciam estas intenções e que estão mais a seu alcance. A sugestão de uma hierarquia entre os parâmetros musicais abre caminho para questionamentos futuros. Uma possibilidade seria investigar se este resultado é influenciado por outros fatores como complexidade técnica, estilo, habilidade do músico, condições do ambiente acústico e outros.

Os resultados aqui apresentados demonstram, de maneira quantitativa, o acoplamento interpretativo existente durante *performances* de duos de clarineta. O efeito *self-other* foi também comprovado, tanto para a sincronização, quanto para o acoplamento de outros parâmetros acústicos envolvidos na execução deste instrumento. Tais resultados foram, entretanto, obtidos para um único excerto. Resta verificar até que ponto podem ser generalizados.

Referências

BATES, D.; MAECHLER, M. *lme4: Linear Mixed-effects Models Using S4 Classes. R Package, Version 0.999375-37*, 2010. Disponível em: <http://CRAN. R-project. org/package= lme4>. Acesso em: 22 jun. 2012.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

GABRIELSSON, A. Music Performance. In: DEUTSCH, D. (Org.). *Psychology of Music.* New York: Academic Press. 1999. p. 506-602

_____. Music Performance Research at the Millenium. *Psychology of Music*, v. 31, p. 221-272, 2003.

GREY, J. M. *An Exploration of Musical Timbre.* CCRMA, Dept. of Music Stanford University, 1975.

_____. Multidimensional Perceptual Scaling of Musical Timbres. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 5, p. 1270-1277, 1977.

_____. Timbre Discrimination in Musical Patterns. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 64, p. 467-472, 1978.

KELLER, P. E. Attentional Resource Allocation in Musical Ensemble Performance. *Psychology of Music*, v. 29, n. 1, p. 20-38, 2001.

KELLER, P. E.; KNOBLICH, G.; REPP, B. H. Pianists Duet Better When They Play with Themselves: On the Possible Role of Action Simulation in Synchronization. *Consciousness and cognition*, v. 16, n. 1, p. 102-111, 2007.

KELLER, P. E.; APPEL, M. Individual Differences, Auditory Imagery, and The Coordination of Body Movements and Sounds in Musical Ensembles. *Music Perception*, v. 28, n. 1, p. 27-46, 2010.

KNOBLICH, G.; SEIGERSCHMIDT, E.; FLACH, R.; PRINZ, W. Authorship Effects in the Prediction of Handwriting Strokes: Evidence for Action Simulation During Action Perception. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, v. 55, n. 3, p. 1027-1046, 2002.

KNOBLICH, G.; FLACH, R. Predicting the Effects of Actions: Interactions of Perception and Action. *Psychological Science*, v. 12, n. 6, p. 467-472, 2001.

LARGE, E. W.; JONES, M. R. The Dynamics of Attending: How People Track Time-Varying Events. *Psychological Review*, v. 106, n. 1, p. 119-159, 1999.

LOUREIRO, Mauricio A.; MOTA, Davi A.; CAMPOLINA, Thiago; YEHIA, Hani C.; LABOISSIÈRE, Rafael. Padrões de sincronização temporal em duos de clarinetas: influencia do acompanhante e da estrutura musical. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA, 22., 2012, João Pessoa. *Anais*... João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2012. p. 1744-1751.

LOUREIRO, Mauricio A.; MOTA, Davi A.; CAMPOLINA, Thiago; YEHIA, Hani C.; LABOISSIÈRE, Rafael. Padrões de sincronização temporal em duos de clarinetas: influencia do acompanhante e da estrutura musical. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA, 22., 2012, João Pessoa. *Anais*... João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2012. p. 1744-1751.

LOUREIRO, M. A.; BORGES, R.; CAMPOLINA, T.; MAGALHÃES, T.; MOTA, D.; DE PAULA, H. B. Extração de conteúdo musical em sinais de áudio para a análise de expressividade. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 22. *Anais*... Belo Horizonte, 2008. p. 146-152.

LOUREIRO, M. A.; YEHIA, H. C.; DE PAULA, H. B.; CAMPOLINA, T.; MOTA, D. Content Analysis of Note Transitions in Music Performance. In: GOUYON, F.; BARBOSA, A.; SIERRA, X. (Org.). *Proceedings of the 6th Sound and Music Computing Conference (SMC 2009)*. Porto, Portugal, 2009. p. 355-359.

MAESTRE, E.; GÓMEZ, E. Automatic Characterization of Dynamics and Articulation of Expressive Monophonic Recordings. *Proceedings of the 118th Audio Engineering Society Convention*, 2005.

MCADAMS, S. Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure. *Computer Music Journal*, v. 23, n. 3, p. 85-102, 1999.

PALMER, C. Anatomy of a Performance: Sources of Musical Expression. *Music Perception*, v. 13, p. 433-454, 1996a.

_____. On the Assignment of Structure in Music Performance. *Music Perception*, v. 14, n. 1, p. 23-56, 1996b.

PARK, T. H. *Towards Automatic Musical Instrument Timbre Recognition.* Princeton University, Department of Music, 2004.

DE POLI, G.; RODÀ, A.; VIDOLIN, A. Note-by-Note Analysis of the Influence of Expressive Intentions and Musical Structure in Violin Performance. *Journal of New Music Research*, v. 27, n. 3, p. 293-321, 1998.

DE POLI, G.; MION, L. From Audio to Content. *Livro não publicado.* Padova: Dipartimento di Ingegneria Dell'Informazione - Università degli Studi di Padova. 2006.

REPP, B. H. Patterns of Expressive Timing in Performances of a Beethoven Minuet by 19 Famous Pianists. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 88, p. 622-641, 1990.

_____. Diversity and Commonality in Music Performance: An Analysis of Timing Microstructure in Schumann's "Traeumerei". *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 92, p. 2546-2546, 1992.

_____. Expressive Timing in Schumann's "Träumerei:" An analysis of Performances by Graduate Student Pianist. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 98, p. 2413-2427, 1995.

SEASHORE, C. E. *Psychology of Music.* New York: McGrow-Hill, 1938.

SLOBODA, J. A. Expressive Skill in Two Pianists. *Canadian Journal of Psychology*, v. 39, p. 273-293, 1985.

STRAVINSKY, I. *Petroushka*. Dover Publications: New York, 1988. 1 partitura, originalmente publicada em 1911.

TILLMANN, B.; STEVENS, C.; KELLER, P. E. Learning of Timing Patterns and the Development of Temporal Expectations. *Psychological Research*, v. 75, n. 3, p. 243-258, 2010.

ZWICKER, E.; FASTL, H. *Psychoacoustics - Facts and Models.* Heidelberg: Springer Verlag, 1998.

Mauricio Loureiro é Engenheiro Aeronáutico (ITA, 1976) e graduou-se em Música (clarineta) pela Staatliche Hochschule für Musik Freiburg, Alemanha (1983); é Mestre em Música (1989) e Doutor em Música (1991) pela University of Iowa, EUA. Foi assistente de primeira clarineta da Orquestra Sinfônica de Campinas e da Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo. Atuou como solista frente a inúmeras orquestras sinfônicas, e tem desenvolvido intensa atividade como clarinetista, com especial dedicação à música contemporânea e eletroacústica. É professor titular da Escola de Música da UFMG, pesquisador dos grupos de pesquisa CEGeME (Centro de Estudos do Gesto Musical e Expressão) e CEMECH (Centro de Estudos do Movimento, Expressão e Comportamento Humano). É Diretor do IEAT (Instituto de Estudos Avançados Transdisciplinares). mauriciloureiro@ufmg.br

Thiago Campolina possui Graduação em Engenharia Elétrica com certificado de estudos em engenharia de áudio, concluída em 2009, pela UFMG. Desde 2010 é mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG. Atualmente é vinculado aos laboratórios CEGeME e CEFALA (Centro de Estudos da Fala, Acústica, Linguagem e músicA), desenvolvendo pesquisas nas áreas de música e fala. thcampolina@eng-ele.grad.ufmg.br

Davi Mota é Graduado em Música, Bacharelado em Regência (UFMG, 2010) e Mestre em sonologia (UFMG, 2012). Membro dos grupos de pesquisa CEGeME, CEFALA e CEMECH. Áreas de atuação: acústica musical, análise e processamento de informação musical e gestual, regência coral e orquestral. davimota@ufmg.br

Hani Yehia é Graduado em Engenharia Eletrônica (ITA, 1988), Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação (ITA, 1992) e Doutor em Engenharia Elétrica (Universidade de Nagoya, Japão, 1997). Foi pesquisador dos laboratórios da ATR (Japão) de 1996 a 1998. Atualmente, é professor do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG. É o coordenador atual da Inova-UFMG Incubadora de Empresas, do CEFALA, do CEMECH e do CTPMR (Centro de Tecnologia e Pesquisa em Magneto-Ressonância) da UFMG. Em seus trabalhos, busca combinar pesquisa básica nas áreas de física, neurociência, linguística e música, com pesquisa aplicada em tecnologia de codificação, reconhecimento e síntese audiovisual da fala e da música. hani@ufmg.br

Rafael Laboissière possui Graduação em Engenharia Eletrônica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1986), Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1988) e Doutorado em Signal/Image/Parole pelo Institut National Polytechique de Grenoble (1992). Atualmente é Pesquisador da Centre National de la Recherche Scientifique. rafael.laboissiere@inserm.fr