

# A PESQUISA EMPÍRICA EM EXPRESSIVIDADE MUSICAL: MÉTODOS E MODELOS DE REPRESENTAÇÃO E EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO DE CONTEÚDO EXPRESSIVO MUSICAL

*Mauricio Alves Loureiro*

**Resumo:** Este texto busca rever recentes abordagens metodológicas na investigação da expressividade na performance musical a partir da extração de informação do próprio som, visando identificar os parâmetros acústicos capazes de descrever o conteúdo expressivo. Este problema vem despertando interesse de musicólogos, psicólogos, cientistas de computação, engenheiros e físicos, há quase duas décadas. Um grande número de pesquisa quantitativa em diferentes aspectos da expressividade musical vem sendo realizado com base em medições de parâmetros acústicos visando identificar e quantificar a correlação entre variações destes parâmetros e as intenções do intérprete para comunicar ao ouvinte diferentes aspectos da música que eles tocam.

**Palavras Chave:** Expressividade musical. Extração de informação musical. Análise empírica da performance musical.

**Abstract:** Recent methodological approaches for research in musical expressiveness is here presented. Starting from music content information extracted from audio recordings of performed music, this category of investigation seeks to identify the acoustic parameters capable of describing the expressive content of a musical performance. Since almost two decades, a great number of quantitative research on different aspects of musical expressiveness has been accomplished by musicologists, psychologists, computer scientists, engineers and physicists, based on measurements of acoustic parameters, in an attempt to identify and to quantify the correlation between variations of these parameters and the musician's intentions to communicate to the listener different aspects of the music they play.

**Keywords:** Musical Expressiveness. Empirical Analysis of Musical Performance.

## **Introdução**

sDurações, dinâmicas e timbres de uma performance musical variam consideravelmente entre diferentes intérpretes e mesmo entre duas performances do mesmo intérprete. Os valores exatos de duração das notas indicados na partitura nunca são executados, enquanto que dinâmicas e timbres são especificados subjetivamente por instruções verbais tais como *piano*, *fortissimo*, *crescendo*, *diminuendo* ou adjetivos e locuções relacionadas às intenções expressivas do compositor. Diferenças entre performances são percebidas com uma clareza surpreendente, mesmo por ouvintes

não especializados, o que faz com que uma performance tecnicamente perfeita, mas inexpressiva, seja quase sempre menos apreciada que uma interpretação expressiva da mesma partitura, ainda que contenha alguns erros ou imprecisões. Investigar os fatores determinantes destas características perceptivas tão evidentes tem sido o propósito da pesquisa sobre a expressividade conduzida ou percebida em uma performance musical.

Estudos sobre performance musical estão necessariamente relacionados à percepção envolvendo questões sobre os mecanismos de transmissão e percepção de elementos básicos da música tais como ritmo, tempo, altura, tonalidade, intensidade, timbre, assim como de agrupamento de notas, frases ou estruturas maiores, ou mesmo mais abstratas tais como expressividade, emoção e afeto. No final do século XIX, alguns estudos já se voltavam para esse tipo de problema, mas foi somente a partir de meados do século XX que inovações tecnológicas, em especial a computação científica, viabilizaram metodologias de análise musical que pudessem partir do material acústico (sinal de áudio), oferecendo à musicologia possibilidades diferenciadas para abordar problemas mais próximos à percepção da música. A possibilidade de extrair diretamente do som categorias de informação de conteúdo musical nunca antes imaginadas há 50 anos atrás, permitiu o avanço relativamente recente da pesquisa voltada para a compreensão da emoção e da expressividade. A partir de representações que utilizam sistematicamente processamento digital de sinais, modelagem computacional e estatística, esta categoria de pesquisa busca mapear estruturas expressivas e estabelecer relações com a informação extraída do “estímulo musical”.

## **ESTADO DA ARTE DA PESQUISA EM EXPRESSIVIDADE MUSICAL**

### **Antecedentes**

As primeiras pesquisas empíricas em performance musical foram

conduzidas por Binet e Courtier (1895) no final do século XIX, que conseguiram registrar a força de pressionamento da tecla do piano, utilizando um pequeno tubo de borracha posicionado embaixo das teclas. Pulsos de ar eram formados quando o tubo era pressionado, os quais controlavam uma agulha que registrava a ação em um papel em movimento. Este dispositivo possibilitou investigar a execução de trinados, acentos e variações de dinâmica. O estudo foi capaz de identificar padrões de ações conduzidas por pianistas para realizar gestos expressivos, como por exemplo, um acento – além de imprimir maior tensão na tecla acentuada, o intérprete toca a nota precedente mais destacada e a nota acentuada um pouco alongada e mais ligada à nota seguinte (citado em Gabrielsson, 1999, p. 525). Dispositivos eletromecânicos foram utilizados por Ehardt (1898) para registrar a pressão nas teclas do piano, que também identificaram alongamentos em notas acentuadas e por Sears (1902), que mediu variações na duração de notas de mesmo valor, na duração de compassos e nas proporções entre durações de notas de valores distintos tocadas por organistas (citado em Gabrielsson, 1999, p. 525-526). Um grande número de estudos em performance musical foi desenvolvido nas décadas de 1920 e 1930, destacando-se os trabalhos do grupo de pesquisa da Universidade de Iowa, liderado por Seashore, os quais registraram um enorme volume de dados coletados de performances no piano, violino e canto, publicados em vários volumes (Seashore, 1932, 1936, 1937; Skinner e Seashore, 1937; Seashore, 1938; citado em Gabrielsson, 1999, p. 527).

A partir destas primeiras investigações, a pesquisa em performance musical 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 pesquisa quantitativa em diferentes aspectos da expressividade musical demonstraram que músicos comunicam ao ouvinte, uma

variedade de características da música que eles interpretam a partir de pequenas variações de durações, articulações, intensidades, alturas e timbres.

Repp (1990) mediu as diferenças entre performances de diferentes pianistas, mas evidenciou também em estudo posterior (Repp, 1992) inúmeros fatores comuns entre eles, relacionando-os à estrutura da obra interpretada. Sundberg et al. (1991a) buscou identificar parâmetros acústicos envolvidos em uma performance musical, com a finalidade de quantificar “as pequenas e grandes variações de tempo, dinâmica, timbre e afinação, as quais formam a microestrutura de uma performance e diferenciam performances distintas da mesma partitura” (Palmer, 1997, p. 118). Uma vez quantificadas estas variações, o passo seguinte seria entender onde reside o “impacto emocional” de uma performance, e como este impacto é conduzido, tal como sugerido por Gabrielsson (1995) e Juslin (1997; 2000). Descrever e reconhecer classes de padrões que possam elucidar a influência destes parâmetros na expressividade percebida, quase sempre se utilizando-se de Análise Estatística e Modelagem Computacional, tem sido o foco de um grande número de estudos em performance musical.

### **Intenção Expressiva do Intérprete**

Desvios de tempo, dinâmica, articulação e timbre não escritos na partitura e introduzidos pelo intérprete, variam de acordo com a obra, com o instrumento e com o intérprete. Alguns estudos buscaram parametrizar as intenções expressivas individuais de diferentes intérpretes e verificar se tais intenções são percebidas a partir da mesma codificação (Clarke, 1993; Gabrielsson, 1999). Seashore já teria sugerido uma possível 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” (Seashore, 1938). Alguns estudos abordaram

o problema por esta via, como por exemplos os trabalhos em percepção musical e aspectos emocionais da performance de Sloboda (1985), que evidenciaram uma correlação entre as intenções do intérprete e a percepção dos ouvintes.

Senju e Ohgushi (1987) analisaram 10 performances no violino realizadas em diferentes nuances, especificadas por denominações subjetivas tais com fraco, poderoso, brilhante, triste, sofisticado, belo, como um sonho, elegante, simples, profundo e confirmaram a correlação entre intenção e percepção observada por Sloboda. A capacidade dos ouvintes de identificar claramente determinadas performances como expressivas ou não e de reconhecer determinadas intenções expressivas, permitiu que Repp (1992) acreditasse na existência de princípios objetivos que determinam se uma performance é ou não expressiva ou “musical”.

Gabrielsson e Juslin (1996) lograram evidenciar relações consistentes entre resultados de testes de percepção de intenções expressivas e parâmetros acústicos de diferentes performances de nove músicos profissionais, instruídos para tocar em diferentes nuances expressivas a partir dos adjetivos alegre, triste, raivoso, amedrontado, suave, solene e inexpressivo. Canazza, De Poli et al. (1997) estudaram também a correlação entre a intenção percebida e parâmetros acústicos extraídos de sete performances distintas do Concerto em Lá Maior para clarineta e orquestra de Mozart, diferenciadas por adjetivos sensoriais (duro, mole, pesado, leve, brilhante, escuro), identificando parâmetros acústicos determinantes de diferenciações específicas entre as execuções, além de confirmar a correlação entre os dados relacionados às intenções do intérprete e à percepção dos ouvintes. Uma validação complementar foi realizada através de performances sintetizadas a partir dos parâmetros determinados, com resultados bastante satisfatórios (Canazza, De Poli e Vidolin, 1997).

Os resultados destes estudos evidenciaram a complexidade do problema frente às inúmeras possibilidades que o intérprete pode escolher para transmitir sua intenção expressiva. Diferentes motivações expressivas são às vezes transmitidas por efeitos acústicos similares, do mesmo modo que diferentes efeitos acústicos podem levar à mesma idéia expressiva, dificultando a formalização do problema de identificar as causas de características perceptivas tão evidentes.

### **Modelos Baseados em Aspectos Específicos da Performance**

Vários estudos se dedicaram à modelagem de aspectos específicos da expressividade musical, como por exemplo: as correlações entre o ritardando final e o movimento humano (Kronman e Sundberg, 1987; Todd, 1995; Friberg e Sundberg, 1999; Friberg, Sundberg et al., 2000; Sundberg, 2000; Honing, 2003); a duração de notas de appoggiaturas (Timmers, Ashley et al., 2002); o vibrato (Desain e Honing, 1996; Shoonderwaldt e Friberg, 2001); a articulação, envolvendo qualidade de ataque, legato e staccato e suas relações com o contexto musical local (Dannenbergh e Derenyi, 1998; Bresin e Battel, 2000; Bresin e Widmer, 2000; Bresin, 2001). Sundberg e Verrillo (1980) identificaram o problema da diversidade de segmentação de frases feita por cada intérprete individualmente, para a mesma partitura e propôs que cada intérprete delimita o início e final das frases a partir de desvios de tempo (*rallentando* ou *accelerando*). Todd propôs um modelo computacional para os desvios temporais (Todd, 1985) e de intensidade (Todd, 1992) que enfatizariam a hierarquia das frases musicais. Utilizando equações da cinemática o modelo estabelece relações entre variações de tempo da performance e o comportamento de um corpo em movimento (Todd, 1995). Clynes (1995) propôs um modelo a partir da obra interpretada, formalizando padrões de variação de tempo relacionados a compositores específicos. Algumas abordagens utilizaram medições dos gestos físicos do intérprete, como a de Askenfelt (1986) que mediu o movimento do arco de um violinista

tocando o concerto de Beethoven uma vez suave e outra vez agressivo e constatou que a versão agressiva foi caracterizada por uma maior força média do arco sobre a corda e ataques mais abruptos.

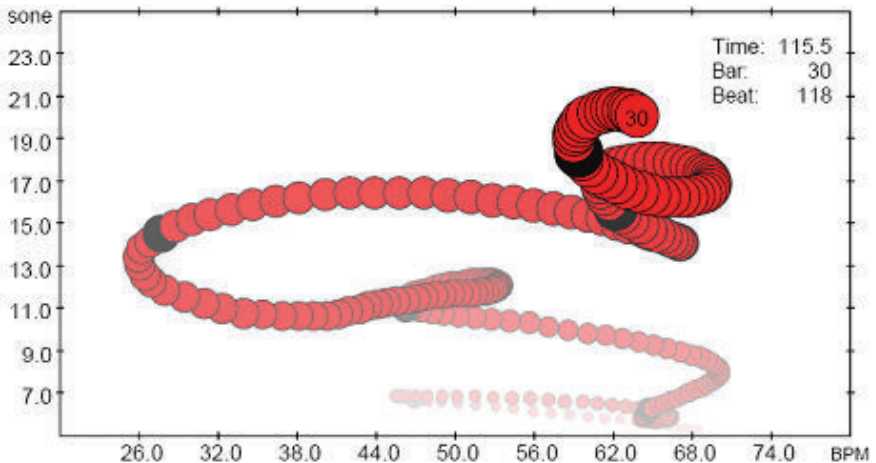
### **Modelos de Regras Gerativas de Performance.**

A idéia de que músicos manipulam parâmetros expressivos de forma estruturada, previsível e relacionada com a estrutura da música, vem sendo investigada desde as pesquisas de Seashore (1938). Recentes estudos buscam formalizar modelos computacionais com vistas a possibilitar predições a respeito da expressividade de uma performance musical, envolvendo não apenas a especificação precisa de parâmetros físicos para descrever a performance, mas também a quantificação das relações entre os valores medidos a partir da formalização de regras. Clarke (Clarke, 1988) apresentou pela primeira vez um modelo generalizado para a expressividade musical, que propunha um conjunto de nove regras gerativas de estruturas de agrupamento de tempos e intensidades capazes de prever aspectos expressivos da performance a partir de informação obtida exclusivamente da partitura.

Um sistema de regras quantitativas para estudar a performance musical vem sendo desenvolvido no Royal Institute of Technology (KTH) de Estocolmo há mais de 20 anos. As regras foram estabelecidas a partir de determinações dos desvios de valores de parâmetros em relação aos valores nominais da partitura. Estes desvios foram determinados através da manipulação de parâmetros tais como tempo, intensidade, afinação e vibrato a partir de valores teóricos de proporções, tais como entre durações ou intensidades de notas sucessivas, definidos para um conjunto limitado de classes de situações musicais, como por exemplo linhas e saltos melódicos, progressões harmônicas ou estruturas de frases. Este modelo foi desenvolvido a partir de métodos de análise-síntese envolvendo músicos profissionais na avaliação de um grande número de tais

regras apresentadas pelos pesquisadores (Sundberg, Askenfelt et al., 1983; Sundberg, Frydén et al., 1983; Sundberg, Friberg et al., 1989; Friberg, 1991b, 1991a; Friberg, Frydén et al., 1991; Sundberg, Friberg et al., 1991b, 1991a; Sundberg, 1993; Friberg, 1995; Friberg, Bresin et al., 1998; Sundberg, Friberg et al., 2003). Todd propôs um modelo de regras baseado em uma estrutura de diferentes níveis expressivos de tempo e dinâmica (Clarke, 1985; Shaffer, Clarke et al., 1985; Todd, 1985; Gabrielsson, 1987; Shaffer e Todd, 1987; Todd, 1989a, 1989b; Repp, 1992; Todd, 1992).

O grupo de pesquisa liderado por Gerhard Widmer, do Instituto de Pesquisa *Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence* - ÖFAI de Viena, desenvolveu um modelo baseado em técnicas de *machine learning* e *data mining*, para o reconhecimento automático de padrões de parâmetros descritores de expressividade em um grande volume dados. O modelo foi capaz de reconhecer performances de artistas tais como Rubinstein, Maria João Pires, Horowitz e Maurizio Pollini (Widmer, Dixon et al., 2003; Zanon e Widmer, 2003; Goebel, Pampalk et al., 2004). A robustez do modelo na classificação e reconhecimento de interpretações, tanto de músicos profissionais como estudantes, demonstrou sua capacidade de descrever e quantificar uma performance objetivamente (Widmer, 1995a, 1995b, 1996, 2000, 2001; Stamatatos, 2002; Stamatatos e Widmer, 2002; Widmer, Dixon et al., 2003; Widmer e Tobudic, 2003; Zanon e De Poli, 2003; Widmer e Goebel, 2004). Os pesquisadores desenvolveram uma ferramenta denominada *Performance Worm*, a partir da qual intensidade e duração são desenhadas em tempo real, fornecendo uma visualização eficiente de uma “trajetória expressiva” do intérprete. A Figura 1 mostra um exemplo da trajetória obtida da performance dos 30 primeiros compassos do Prelúdio op. 23 No. 6 de Rachmaninov, interpretado por Vladimir Ashkenazy. O eixo vertical mostra o volume em sonos e o horizontal, o tempo em batidas por minuto, BPM (Goebel, Pampalk et al., 2004).



**FIG. 1:** “Performance Worm” de 30 compassos do Prelúdio op. 23 No. 6 de Rachmaninov, tocado por Vladimir Ashkenazy: tempo em BPM (horiz.); volume em sones (vert.) (Goebel, Pampalk et al., 2004).

Excelentes revisões bibliográficas sobre a pesquisa em performance musical e expressividade foram elaboradas por Palmer (1997) e Gabrielson (1999; 2003), as quais reúnem praticamente toda a referência bibliográfica da área até o final do século XX.

### **MODELOS E MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DE DADOS.**

Medir objetivamente a expressividade musical, envolve a identificação e medição de parâmetros físicos que possam representar os recursos utilizados pelo intérprete para comunicar sua intenção expressiva. O problema é formalizado a partir modelos de representação que buscam quantificar as intenções expressivas do intérprete através de um conjunto de parâmetros descritores, definidos e calculados a partir de informação extraída do sinal de áudio de gravações da performance. O primeiro passo é determinar que tipo de informação será utilizada e como será extraída do sinal, para em seguida definir os parâmetros descritores da performance ou de aspectos dela a serem investigados.

### **Parâmetros descritores da Expressividade Musical.**

Assim como a partitura representa a música por meio de uma seqüência de notas que especifica a altura, a posição temporal, a intensidade e a instrumentação de cada uma, a performance pode também ser considerada como uma lista de notas sucessivas, contendo o mesmo tipo de especificação, porém em maiores níveis de detalhamento e precisão, acompanhada ainda de informação adicional sobre cada nota. Nesta representação, as alturas são estimadas a partir de medições objetivas, ao invés de assumir os valores quantizados das escalas musicais especificados na partitura. As durações são extraídas dos instantes de início e fim da nota, medidos do envelope de amplitude.

A metodologia de extração da informação depende dos aspectos específicos que se quer investigar e da viabilidade técnica. No nível acústico, a informação disponível está normalmente relacionada à duração, altura e intensidade dos eventos e à disposição seqüencial destes eventos. Este tipo de informação é facilmente mensurável em instrumentos de teclado, pois correspondem exatamente àqueles parâmetros básicos do protocolo MIDI e podem ser facilmente obtidos utilizando-se um *Disklavier*, um piano acústico com capacidade de registrar os movimentos dos martelos do piano, fornecendo os instantes de início e fim da nota (note-on e note-off), níveis de intensidade (velocidade do martelo) e instantes de início e fim de pedal em formato MIDI. Em instrumentos de sopro, cordas e voz esta informação só pode ser extraído do sinal de áudio da gravação da performance e nesse caso, outros tipos de informação acústica podem ser levados em conta, como por exemplo distribuição espectral, vibrato e afinação (pequenas variações de altura). No entanto, os procedimentos envolvidos na aquisição de dados requerem metodologias bem mais complexas, especialmente para situações polifônicas.

Uma grande diversidade de métodos de extração e processamento

de informação de conteúdo musical pode ser encontrada na literatura e a grande divergência de abordagem entre eles mostra que não existe ainda um padrão metodológico para este tipo de procedimento. Dependendo do que se quer medir diferentes abordagens podem resultar em estimações bem contrastantes. A duração do tempo de ataque da nota, por exemplo, é um parâmetro importante na descrição da articulação e conseqüentemente significativo na determinação do perfil expressivo da performance. Valores estimados de duração de ataque, normalmente da ordem de dezenas de milissegundos, podem variar significativamente dependendo dos critérios adotados de limiares mínimos de amplitude na definição de início e fim da nota, ou do método de estimação do envelope da nota.

### **Parâmetros Descritores do Envelope da Nota.**

O envelope de amplitude corresponde ao contorno de amplitude de um som, geralmente dividido em três seções, o ataque, a parte sustentada e o decaimento. A estimação do envelope é mais comumente feita através da medida RMS - *root mean square* - RMS (raiz da média dos quadrados), que está relacionada com a potência média de curta duração do sinal. Não existe uma metodologia padronizada de estimação do envelope de amplitude da nota, que pode variar muito de acordo com o tipo de dado do problema investigado. O cálculo do envelope a partir do valor de pico de amplitude, resulta em variações muito bruscas do valor da amplitude ao longo de intervalos de tempo curtos demais para que possam ser percebidos. Por outro lado o valor RMS é perceptualmente mais relevante, se aproximando mais da maneira como percebemos a intensidade de um som. O valor RMS de um sinal,  $x$  é dado por:

$$RMS = \sqrt{\left( \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L x_i^2 \right)}$$

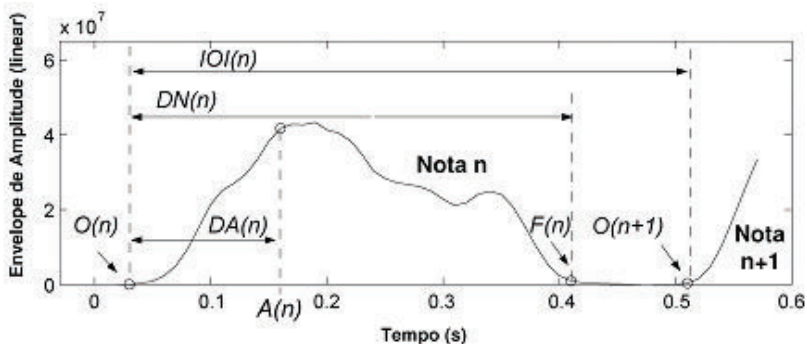
onde  $k$  é o número da amostra (instante de tempo) e  $L$  o tamanho da janela de cálculo da média, o qual determina a resolução temporal

do envelope. Janelas mais longas suavizam o envelope e podem dificultar a detecção correta da região do ataque. É nesta região que ocorrem grandes flutuações de energia conhecidas como transientes, sendo por isso muito relevante para a estimação de parâmetros relacionados à articulação das notas. Janelas mais curtas salientam a região do ataque, mas podem diminuir a precisão da detecção do instante final do ataque e de início da parte sustentada. Uma suavização do envelope através de um filtro passa baixa de frequência de corte adequada pode também facilitar a detecção de cada um dos instantes relevantes do envelope.

Os instantes  $O(n)$  e  $F(n)$ , mostrados na Figura 2, correspondentes ao início (*onset*) e ao final de uma nota  $n$ , respectivamente, são extraídos do envelope de amplitude da nota, a partir de estimações de limiares adequados de amplitude. A segmentação de notas consecutivas pode não ser viável apenas a partir de níveis de amplitude, como por exemplo de notas ligadas, gravadas em ambiente com reverberação, em que o instante de final de nota pode coincidir com o instante de início da nota seguinte. Nesses casos, há necessidade também de detectar a altura da nota, que pode ser feita por técnicas de autocorrelação ou a partir de processamento no domínio da frequência.

A Figura 2 mostra também o instante de final de ataque  $A(n)$ , utilizado no cálculo de parâmetros descritores relacionados à articulação e à percepção do timbre da nota. Não existe na literatura um método de medição que possa descrever inequivocamente o ataque (Park, 2004). Em muitas situações, o instante de final de ataque refere-se ao instante de amplitude máxima da nota, mas sua detecção pode demandar procedimentos mais complexos, como por exemplo em instrumentos não percussivos ou não pinçados como sopros, cordas e voz, nos quais a amplitude máxima poder ser atingida bem depois do ataque, ao longo da parte sustentada da nota. Pode-se contornar o problema estabelecendo-se um valor adequado de limiar máximo

de amplitude, mas que pode não apresentar resultados consistentes para notas mais longas tocadas nestes instrumentos. Um método alternativo é apresentado por Tae Hong Park (2004), que detecta picos de amplitude a partir de variações bruscas em uma versão do envelope RMS suavizado por um filtro passa-baixa. O instante de final de ataque é definido como o pico de amplitude do envelope RMS imediatamente anterior ao pico da versão suavizada, já que filtros passa-baixa sempre introduzem um atraso no sinal.



**FIG. 2:** Instantes de início de nota ( $O$ ), de final de nota ( $F$ ) e de final de ataque ( $A$ ), intervalo entre inícios de notas sucessivas ( $IOI$ ), duração da nota ( $DN$ ) e duração de ataque ( $DA$ ), extraídos do envelope de amplitude da nota (adaptado de De Poli, 2004).

Alguns parâmetros temporais comumente utilizados na descrição de diferentes aspectos da expressividade podem ser facilmente estimados a partir destes instantes extraídos do envelope de amplitude da nota:

- *Duração Local:*  $IOI(n) = O(n+1) - O(n)$

Intervalo de tempo medido entre os inícios de notas sucessivas, conhecido como *intra-onset-interval* ( $IOI$ ), correspondente às durações especificadas na partitura. Este valor é comumente normalizado pelo número de unidades de tempo (batidas) contidas da nota. Por exemplo, em um compasso cuja batida é a semínima, a duração de uma

mínima será dividida por 2 e de uma colcheia multiplicada por 2.

- *Duração Local Nominal*

Valor de duração da nota extraído da partitura. A duração local nominal é também normalizada pelo número de unidades de tempo contidas da nota.

- *Duração da Nota:  $DN(n) = F(n) - O(n)$*

Intervalo de tempo entre o início e o fim da nota

- *Duração de Ataque:  $DA(n) = A(n) - O(n)$*

Intervalo de tempo entre o início da nota e o final do ataque.

Stephen McAdams e colegas mostraram que o valor do logaritmo da duração do ataque ( $\log[A(n) - O(n)]$ )

corresponde mais à nossa percepção de timbre, sendo portanto mais adequada quando o foco da descrição é a variação de timbre (McAdams, Winsberg *et al.*, 1995; Misdariis, Smith *et al.*, 1998).

- *Inclinação de Ataque:  $IA(n)=[\text{Valor de Amplitude em } A(n)], DA(n)$*

- *Tempo Médio: MM*

Valor médio do metrônomo em BPM (batidas por minuto).

- *Tempo Global Principal:*

Valor médio do metrônomo em BPM, excluindo-se passagens que contêm variações consistentes de tempo, tais como *ritardandos* e *accelerandos*.

- *Tempo Local: Recíproco de IOI*

- *Índice de Articulação:  $AR(n) = DN(n) \cdot IOI(n)$*

$AR(n)$  é menor ou igual a 1, sendo igual a 1 para notas ligadas.

Simon Dixon (2003), do Centro de Pesquisa ÖFAI, desenvolveu uma ferramenta denominada *BeatRoot*, para extrair o envelope de amplitude a partir de suavização do envelope RMS e técnicas de regressão linear. A Figura 3 mostra o envelope de amplitude (linha preta contínua) de um sinal de música polifônica (cinza) e as

inclinações dos ataques de cada nota (linha tracejada) extraídos pelo *BeatRoot*.

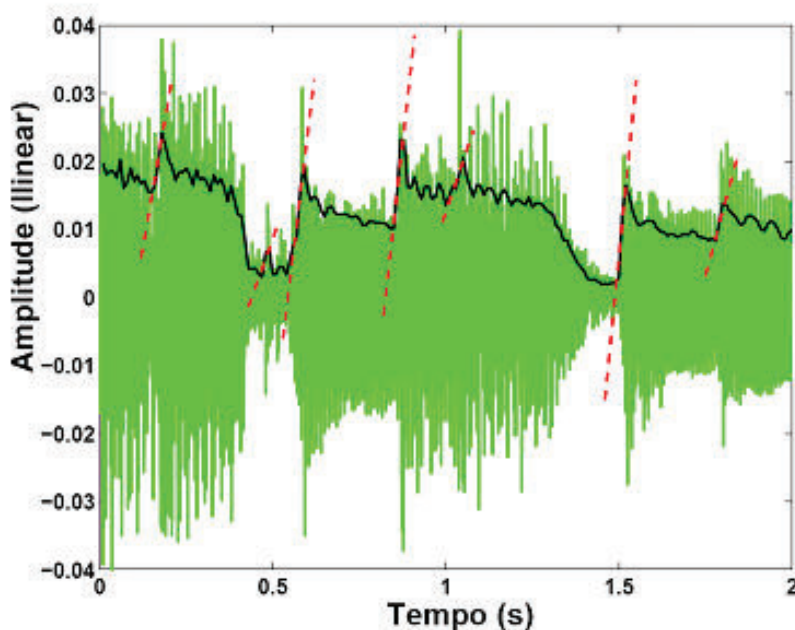


FIG. 3: Envelope de amplitude (linha preta contínua) de um sinal de música polifônica (cinza) e as inclinações dos ataques de cada nota (linha tracejada) extraídos pelo *BeatRoot* (Dixon, 2003).

### Parâmetros Descritores Espectrais.

Variações intencionais do timbre são comumente utilizadas por intérpretes para transmitir suas intenções expressivas em qualquer instrumento musical. Estas variações são mais salientes em instrumentos nos quais a ação do instrumentista participa durante toda a produção do som, como ocorre nos instrumentos de cordas, de sopros e na voz. Dos parâmetros extraídos do envelope da nota acima mencionados, o *índice de articulação*, a *duração de ataque* e a *inclinação de ataque*, estão intimamente relacionados com a qualidade sonora. Variações intencionais de timbre podem ser descritas também por um grande número de parâmetros definidos

a partir de medidas da distribuição espectral do sinal. Poucos estudos em expressividade musical focalizaram aspectos relacionados ao timbre, a maioria deles conduzidos pelos pesquisadores do *Centro di Solnologia Computazionale* - CSC, da Universidade de Pádua, Itália (Canazza, De Poli, Rinaldin *et al.*, 1997; Canazza, De Poli e Vidolin, 1997; De Poli, Rodà *et al.*, 1998; Canazza, De Poli *et al.*, 2003; De Poli, 2004).

O primeiro passo para a extração deste tipo de informação é determinar a distribuição espectral do sinal. Em projetos anteriores, desenvolvemos ferramentas robustas para análise espectral a partir de método de Quatieri e McAuly, e uma metodologia de redução de dados para uma representação eficiente da distribuição espectral utilizando Análise por Componentes Principais (Loureiro, de Paula *et al.*, 2004a; 2004b), a qual permite definir e estimar parâmetros espectrais relevantes.

Uma grande variedade de parâmetros derivados da distribuição espectral para descrever o timbre vem sendo recentemente proposta e testada por vários grupos de pesquisa inseridos em áreas tais como, percepção e cognição musical, psicologia da música e extração e processamento de informação musical (*MIR* - Music Information Retrieval). Através de testes subjetivos de similaridade, Stephen McAdams e colaboradores evidenciaram a correlação entre uma série de parâmetros espectrais e dimensões de espaços gerados pela percepção de timbre, corroborando a adequação destes parâmetros para a descrição deste atributo (McAdams, Winsberg *et al.*, 1995; Hajda, Kendall *et al.*, 1997; Misdariis, Smith *et al.*, 1998; Loureiro, de Paula *et al.*, 2001). Um deles é o *centróide espectral*, conhecido por sua proeminente correlação com o “brilho” do som, desde as primeiras pesquisas sobre percepção de timbre. O *Centróide Espectral* (CE) é calculado como o centro de gravidade do espectro de amplitude medido para cada quadro de tempo, ou seja:

$$CE = \frac{\sum_{k=1}^N kA_k}{\sum_{k=1}^N A_k}, \text{ onde } A_k \text{ é a amplitude do harmônico de ordem } k \text{ e } N \text{ é o número total de harmônicos estimados}$$

Outro parâmetro identificado pelos estudos do grupo de MacAdams acima mencionados é a *irregularidade espectral* (IE), medida como a diferenciação de amplitude (em Db) entre 3 harmônicos adjacentes:

$$IE = 20 \left| \sum_{k=1}^{N-1} \log(A_k) - \frac{\log(A_{k-1}) + \log(A_k) + \log(A_{k+1})}{3} \right|$$

Valores médios de *centróide espectral* e de *irregularidade espectral* podem também ser considerados ao longo de períodos de tempo específicos, como por exemplo a duração de uma nota. Inúmeros parâmetros descritores de timbre já foram definidos e utilizados em estudos envolvendo extração e processamento de informação musical, principalmente aqueles voltados para o reconhecimento automático de instrumento, como o trabalho de Tee Hong Park (2004), que define um vasto elenco deste tipo de parâmetros, entre eles *inarmonicidade*, *expansão/compressão harmônica*, *inclinação harmônica*, *shimmer*, *jitter*, *envelope espectral*, *sincronia harmônica*, *tristímulus*, *espalhamento espectral*, *decaimento espectral*, *fase*, *achatamento espectral*.

## FORMALIZAÇÃO DA ANÁLISE DOS DADOS

### Segmentação

Uma questão fundamental na análise da performance musical é a definição dos critérios de segmentação do material musical. A nota não é necessariamente a única unidade de segmentação de análise. Parâmetros descritores espectrais, por exemplo, podem se referir a níveis de segmentação de duração igual aos quadros de tempo utilizados para calcular o conteúdo espectral (por exemplo, igual a 23 ms, equivalente à duração de um quadro de 1024 amostras a

um frequência de amostragem de 44.100 Hz). Por outro lado, a análise de alguns parâmetros descritores temporais como tempo local, por exemplo, pode se referir a níveis métricos de segmentação, que incluem grupos de notas, como por exemplo o nível da pulsação (normalmente igual à unidade de tempo do compasso), como utilizado por Shaffer, Clarke e Todd (1985), ou do compasso, como utilizado por Todd (1985) e Repp (1992). Timmers, Ashley e colaboradores (2000) normalizaram vários parâmetros temporais em relação a este nível, sob a suposição de que o intérprete normalmente “planeja” suas intenções expressivas em relação à pulsação local da música.

### **Análise das Intenções Expressivas.**

Uma vez identificados os descritores de uma determinada característica expressiva, podemos buscar construir um modelo estatístico que nos forneça o reconhecimento de cada intenção expressiva. Para verificar se os parâmetros descritores são capazes de descrever as diferenças significativas entre as performances e de classificá-las, uma Estatística simples como Análise de Variância (ANOVA) pode ser conduzida. O passo seguinte é identificar regularidades na evolução temporal dos desvios destes parâmetros, medidos em diferentes tipos pré-definidos de performances, e ou com intérpretes distintos, com o propósito de correlacioná-las com a estrutura da obra interpretada e com as intenções expressivas do intérprete. Modelagens estatísticas e computacionais mais complexas são utilizados para a classificação destes parâmetros descritores e reconhecimento de padrões das variações medidas. A validação destes modelos analíticos é comumente alcançada através de testes subjetivos de identificação de estilos interpretativos ou intérpretes reconhecidamente peculiares.

As intenções expressivas são avaliadas a partir de performances distintas da mesma partitura. Battel e Fimbianti (1998), Canazza et al. (1997; 1997; 1998; 2003) e De Poli et al. , obtiveram diferentes

intenções expressivas solicitando-se aos músicos que executassem a partitura inspirados por diferentes adjetivos. Esta metodologia já foi utilizada satisfatoriamente em inúmeros estudos. Várias categorias de adjetivos vem sendo utilizadas, como por exemplo sensoriais do tipo *suave-duro*, *leve-pesado*, *claro-escuro*, *caloroso-frio*, ou gradações de expressividade tais como *sem expressão*, *pouco expressivo*, *muito expressivo*, *exageradamente expressivo*, etc. Uma seleção adequada de um conjunto de adjetivos, preferivelmente referentes a categorias contrastantes de intenções expressivas, deve ser selecionado de acordo com os propósitos do estudo e pode ser definido a partir de testes piloto.

### **Desvio Expressivo.**

Definido um conjunto de parâmetros acústicos capazes de encapsular a informação do conteúdo expressivo musical, mede-se o desvio dos valores destes parâmetros em relação a uma referência ou norma, definida como “plana” ou “sem expressão”. Muito freqüentemente a partitura é usada como referência, por representar a música no domínio simbólico e por ser de fácil acesso, mas pode trazer algumas desvantagens para a interpretação de como os ouvintes julgam a expressividade, já que a execução humana de uma partitura nunca é capaz de realizar literalmente o que está especificado nela, mesmo se a intenção é tocar mecanicamente sem qualquer expressão. Dependendo do problema em questão, pode ser mais adequado considerar a referência como sendo uma performance neutra na qual o intérprete é solicitado a executar os valores exatos da partitura, sem qualquer intenção expressiva (Palmer, 1989). Uma performance média, definida como uma média aritmética entre diferentes performances, tem sido também considerada como norma, por exemplo em estudos sobre preferências estilísticas.

### **Fontes dos Desvios: diversidades e semelhanças.**

Baseados em estudos de Palmer (1996a; 1996b), De Poli identificou

duas fontes de motivação que levariam o intérprete a realizar estes desvios expressivos, com vistas a transmitir suas intenções expressivas: (1) aspectos estruturais da partitura, tais como estrutura hierárquica de frases, estruturas harmônicas ou melódicas, que são comuns a todas as performances e traduziriam o conteúdo expressivo codificado pelo compositor na partitura; (2) intenções expressivas do intérprete, que são específicas de cada performance (De Poli, Rodà et al., 1998). 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 expressivos: vibrato nas cordas, respiração e movimentos da língua nos sopros, ataques no piano e percussão, pinçamento no violão e harpa. A disponibilização destes recursos em cada instrumento específico está relacionada à escrita idiomática do instrumento e é determinante na definição dos parâmetros a serem utilizados.

Bruno Repp (1992) já havia observado que performances distintas de uma mesma música apresentam consistentemente tanto semelhanças quanto diversidades nos padrões de variações temporais. As semelhanças identificadas por Repp, se apresentaram mais no nível estrutural global do que as diversidades: semelhanças entre diferentes intérpretes se referem comumente a alongamentos de finais de frases. As diversidades foram encontradas na condução expressiva de gestos melódicos de aproximadamente sete notas de extensão. Timmers (Timmers, Ashley *et al.*, 2000) estudou a diversidade entre interpretações distintas de um mesmo trecho musical, a partir de comparações entre todas as descrições estruturais possíveis do trecho e manipulações de elementos estruturais específicos, tais como barras de compasso, vozes individuais e harmonia. O estudo identificou que interpretações realizadas a partir da mesma estratégia interpretativa podem apresentar diferenças significativas nos padrões temporais, e que intérpretes podem também expressar o mesmo perfil interpretativo ou expressivo a partir de padrões temporais distintos.

## **Decomposição da Expressividade.**

Mesmo que extraídos individualmente, as intenções expressivas do intérprete são conduzidas tanto por intermédio da variação de parâmetros distintos quanto a partir da interação de um conjunto deles - para enfatizar uma frase ou uma nota, o músico pode aumentar a intensidade, ou alongar a duração, ou utilizar uma articulação específica, ou modificar o timbre, ou manipular uma combinação destes parâmetros. Clarke e Windsor desenvolveram métodos para decompor estruturas de padrões expressivos em dimensões elementares com a finalidade de identificar a contribuição de cada componente individual para o resultado expressivo final (Clarke e Windsor, 2000). Utilizando a mesma metodologia Windsor e colegas partiram da hipótese de que se um elemento qualquer de uma estrutura musical é capaz de ser mapeado em uma performance, o comportamento específico deste elemento será preservado em todos os exemplos da mesma estrutura ao longo desta performance (Windsor, Desain *et al.*, 2006). Os autores propuseram um sistema intitulado DISSECT (SECT de Structural Expression Component Theory) para investigar as contribuições relativas dos vários componentes individuais da expressividade para o perfil expressivo global da performance.

## **Conclusão**

Em um levantamento exaustivo de toda a pesquisa em performance musical conduzida até o final do século XX, Gabrielsson constatou que os estudos que focalizam a extração e a medição de parâmetros da performance correspondem ao grupo mais numeroso deste levantamento. Mesmo encapsulando estruturas complexas e muitas vezes não acessíveis, extrair e medir estes parâmetros envolvem procedimentos menos complexos. Cresce, no entanto, cada vez mais o número de trabalhos que buscam interpretar e identificar princípios gerais que possam estar por trás destes parâmetros (Gabrielsson, 2003). A análise deste grande volume de dados obtidos nestes estudos tem conduzido à formulação de uma grande

variedade de modelos, que buscam descrever como e por que o músico modifica, às vezes inconscientemente, o que é indicado na partitura. Os resultados destas análises não apenas contribuirão para a compreensão deste problema complexo da pesquisa musicológica, mas poderão também possibilitar o surgimento de novos conceitos de abordagens pedagógicas objetivas para o ensino da música, em especial da prática instrumental.

### **Bibliografia**

- ASKENFELT, A. "Measurement of Bow Motion Bow Force in Violin Playing". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.80, p.1007-1015, 1986.
- BATTEL, G. U. e R. FIMBIANTI. "How Communicate Expressive Intentions in Piano Performance". *Proceedings CIM 1998*, Gorizia, Italy. p. 67-70, 1998.
- BINET, A. e J. COURTIER. "Recherches Graphiques sur la Musique". *L'Année Psychologique*, n.2, p.201-222, 1895.
- BRESIN, R. "Articulation Rules for Automatic Music Performance". *2001 International Computer Music Conference*, Havana, Cuba: International Computer Music Association. p. 294-297, 2001.
- BRESIN, R. e G. U. BATTEL. "Articulation Strategies in Expressive Piano Performance". *Journal of New Music Research*, v.29, p.211-224, 2000.
- BRESIN, R. e G. WIDMER. "Production of Staccato Articulation in Mozart Sonatas Played on a Grand Piano: Preliminary Results". *Speech, Music and Hearing. Quarterly Progress and Status*, p.1-6, 2000.
- CANAZZA, S., G. DE POLI, G. DI SANZO e A. VIDOLIN. "Adding Expressiveness to Automatic Musical Performance". *Proceedings CIM 1998*, Gorizia, Italy. p. 71-74, 1998.
- CANAZZA, S., G. DE POLI, S. RINALDIN e A. VIDOLIN. "Sonological Analysis of Clarinet Expressivity". In: M. Leman (Ed.). *Music, Gestalt and Computing: Studies in Cognitive and Systematic Musicology*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, p.431-440, 1997.
- CANAZZA, S., G. DE POLI, A. RODÀ e A. VIDOLIN. "An Abstract Control Space for Communication of Sensory Expressive Intentions in Music Performance". *Journal of New Music Research*, v.32, n.3, p.281-294, 2003.
- CANAZZA, S., G. DE POLI e A. VIDOLIN. "Perceptual Analysis of the Musical Expressive Intention in a Clarinet Performance". In: M. Leman (Ed.). *Music, Gestalt and Computing: Studies in Cognitive and Systematic Musicology*. Berlin-Heidelberg: Springer Verlag, p.441-450, 1997.
- CLARKE, E. F. "Some Aspects of Rhythm and Expression in Performances of Erik Satie's "Gnossienne No. 5"". *Music Perception*, v.2, p.299-328, 1985.
- \_\_\_\_\_. "Generative Principles in Music Performance". In: J. A. Sloboda (Ed.). *Generative Processes in Music: The Psychology of Performance, Improvisation and Composition*. Oxford: Clarendon Press, p.1-26, 1988.
- \_\_\_\_\_. "Imitating and Evaluating Real and Transformed Musical Performances". *Music Perception*, n.10, p.317-341, 1993.
- CLARKE, E. F. e W. L. WINDSOR. "Real and Simulated Expression: A listening study". *Music Perception*, v.17, p.277-314, 2000.
- CLYNES, M. "Microstructural Musical Linguistics: Composer's Pulses are Liked by the Best Musicians". *Cognition*, v.55, p.269-310, 1995.
- DANNENBERG, R. B. e I. DERENYI. "Combining Instrument and Performance Models for High-Quality Music Synthesis". *Journal of New Music Research*, v.27, n.3, 1998.
- DE POLI, G. "Methodologies for Expressiveness Modelling of and for Music Performance". *Journal of New Music Research*, v.33, n.3, p.189-202, 2004.
- DE POLI, G., A. RODÀ e A. VIDOLIN. "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.
- DESAIN, P. e H. HONING. "Modeling Continuous Aspects of Music Performance: Vibrato and Portamento". *International Music Perception and Cognition Conference*, Montreal: McGill University, p., 1996.
- DIXON, S. "On the Analysis of Musical Expression in Audio Signals". In: (Ed.). *Storage and Retrieval for Media Databases*: SPIE and IS&T, 2003.
- EBHARDT, K. "Zwei Beiträge zur Psychologie des Rhythmus und des Tempos". *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie des Sinnesorgane* n.18, p.99-154, 1898.
- FRIBERG, A. "Generative Rules for Music Performance". *Computer Music Journal*, n.15, p.57-71, 1991a.
- \_\_\_\_\_. "Generative Rules for Music Performance: A Formal Description of a Rule System". *Computer Music Journal*, v.15, n.2, p.56-71, 1991b.
- \_\_\_\_\_. *A Quantitative Rule System for Musical Performance*. (PhD). Department of Speech Music and Hearing, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1995.
- FRIBERG, A., R. BRESIN, L. FRYDÉN e J. SUNDBERG. "Musical Punctuation on the Microlevel: Automatic Identification and Performance of Small Melodic Units". *Journal of New Music Research*, v.27, n.3, 1998.
- FRIBERG, A., L. FRYDÉN, L.-G. BODIN e J. SUNDBERG. "Performance Rules for Computer-Controlled Contemporary Keyboard Music". *Computer Music Journal*, v.15, n.2, p.49-55, 1991.
- FRIBERG, A. e J. SUNDBERG. "Does Music Performance Allude to Locomotion? A Model of Final Ritardandi Derived from Measurements of Stopping Runners". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.105, p.1469-1484, 1999.
- FRIBERG, A., J. SUNDBERG e L. FRYDÉN. "Music from Motion: Sound Level Envelopes of Tones Expressing Human Locomotion". *Journal of New Music Research*, v.29, p.199-210, 2000.
- GABRIELSSON, A. "Once Again: The Theme from Mozart's Piano Sonata in A Major: A Comparison of Five Performances". In: A. Gabrielsson (Ed.). *Action and Perception in Rhythm and Music*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music, p.81-103, 1987.
- \_\_\_\_\_. "Expressive Intention and Performance. Music, Mind and Machine". In: R. Steiner (Ed.). New York: Springer, p.35-47, 1995.
- \_\_\_\_\_. "Music Performance". In: D. Deutsch (Ed.). *Psychology of music*. New York: Academic Press, p.506-602, 1999.
- \_\_\_\_\_. "Music Performance Research at the Millenium". *Psychology of Music*, v.31, p.221-272, 2003.
- GABRIELSSON, A. e P. N. JUSLIN. "Emotional Expression in Music Performance: Between the Performer's Intention and the Listener's Experience". *Psychology of Music*, v.24 n.1, p.68-91, 1996.
- GOEBL, W., E. PAMPALK e G. WIDMER. "Exploring Expressive Performance Trajectories: Famous Pianists Play Six Chopin Peices". *8th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC '04)*, Evanston, Illinois, p., 2004.
- HAJDA, J. M., R. A. KENDALL, E. C. CARTERETTE e M. L. HARSHBERGER. "Methodological Issues in Timbre Research". In: I. Deliège e J. A. Sloboda (Ed.). *Perception and Cognition of Music*. Hove: Psychology Press, p.253-306, 1997.
- HONING, H. "The Final Ritard: on Music, Motion, and Kinematic Models". *Computer Music Journal*, v.27, p.66-72, 2003.
- JUSLIN, P. N. "Emotional Communication in music performance: a functionalist perspective and some data". *Music Perception*, v.14, p.383-418, 1997.
- \_\_\_\_\_. "Cue utilization in communication of emotion in music performance: relating performance to perception". *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, v.26, n.6, p.1797-1813, 2000.
- KRONMAN, U. e J. SUNDBERG. "Is the Musical Ritard an Allusion to Physical Motion?" In: A. Gabrielsson (Ed.). *Action and Perception in Rhythm and Music*. Stockholm: The Royal Swedish Academy of Music, 1987.
- LOUREIRO, M. A., H. B. DE PAULA e H. C. YEHIA. "Sonological Representation of a Musical

Instrument by Sub-spaces of Spectral Component". *Mikropolyphonie - The Online Contemporary Music Journal*, v.7, 2001.

\_\_\_\_\_. "Representation and Classification of the Timbre Space of a Single Musical Instrument". *International Speech Communication Association - Tutorial and Research Workshop on Statistical and Perceptual Audio Processing (SAPA 2004)*, Jeju, Korea, 2004: International Conference Center. p. 546-549, 2004a.

\_\_\_\_\_. "Timbre Classification of a Single Music Instrument". *5th International Conference on Music Information Retrieval*, Barcelona: University Pompeu Fabra. p. 546-549, 2004b.

MCADAMS, S., S. WINSBERG, S. DONNADIEU, G. DE SOETE e J. KRIMPHOFF. "Perceptual Scaling of Synthesized Musical Timbres: Common Dimensions, Specificities and Latent Subject Classes". *Psychological Research*, v.58, p.177-192, 1995.

MISDARIIS, N. R., B. K. SMITH, D. PRESSNITZER, P. SUSINI e S. MCADAMS. "Validation of a Multidimensional Distance Model for Perceptual Dissimilarities Among Musical Timbres". *Proceedings of the 16th International Congress on Acoustics*, Woodbury, New York: ASA - The Acoustical Society of America. p., 1998.

PALMER, C. "Mapping Musical Thought to Musical Performance". *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v.15 n.12, p.331-346, 1989.

\_\_\_\_\_. "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.

\_\_\_\_\_. "Music Performance". *Annual Review of Psychology*, v.48, p.115-138, 1997.

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

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 Traumerel". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.92 n.5, p.2546-2568, 1992.

SEARS, C. H. "A Contribution to the Psychology of Rythm". *American Journal of Psychology*, n.13, p.28-61, 1902.

SEASHORE, C. E., Ed. *University of Iowa Studies in the Psychology of Music: Vol. I. The Vibrato*. Iowa city: University of Iowaed. 1932.

\_\_\_\_\_, Ed. *University of Iowa Studies in the Psychology of Music: Vol. III. Psychology of Vibrato in Voice and Instrument*. Iowa city: University of Iowaed. 1936.

\_\_\_\_\_. *University of Iowa Studies in the Psychology of Music: Vol. IV. Objective Analysis of Music Performance*. Iowa city: University of Iowa 1937.

\_\_\_\_\_. *Psychology of Music*. New York: McGraw-Hill. Reprinted 1967 by Dover Publications, New York, 1938.

SENJU, M. e K. OHGUSHI. "How are the Player's Ideas Conveyed to the Audience?" *Music Perception*, v.4, p.311-324, 1987.

SHAFFER, L. H., E. F. CLARKE e N. P. M. TODD. "Meter and Rhythm in Piano Playing". *Cognition*, v.20, p.61-77, 1985.

SHAFFER, L. H. e N. P. M. TODD. "The Interpretative Compponent in Musical Performance". In: A. Gabriellsson (Ed.). *Action and Perception in Rythm and Music*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music, v.55, p.139-152, 1987.

SHOONDERWALDT, E. e A. FRIBERG. "Towards a Rule-Based Model for Violin Vibrato". *Workshop on Courrent directions in Computer Music Research*, Barcelona: Audiovisual Institute, Pompeu Fabra University. p. 61-64, 2001.

SKINNER, L. e C. E. SEASHORE. "A Musical Pattern Score of the Last Movement of Beethoven sonata Opus 27, No. 2". In: C. E. Seashore (Ed.). *University of Iowa Studies in the Psychology of Music: Vol. IV. Objective Analysis of Music Performance*. Iowa city: University of Iowa, p.263-280, 1937.

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

STAMATATOS, E. "Quantifying the Differences Between Music Performances: Score vs. Norm". *2002 International Computer Music Conference*, Goteborg, Sweden. p., 2002.

STAMATATOS, E. e G. WIDMER. "Music Performer Recognition Using an ensemble of Simple Classifiers". *15th European Conference on Artificial Intelligence*, Lyon, France: Amsterdam IOS Press. p. 335-339, 2002.

SUNDBERG, J. "How can Music be Expressive?". *Speech Communication*, v.12, p.239-253, 1993.

\_\_\_\_\_. "Four Years of Research on Music and Motion". *Journal of New Music Research*, v.29, p.183-185, 2000.

SUNDBERG, J., A. ASKENFELT e L. FRYDÉN. "Musical Performance. A Synthesis-by-Rule Approach". *Computer Music Journal*, v.7, p.37-43, 1983.

SUNDBERG, J., A. FRIBERG e R. BRESIN. "Attempts to Reproduce a Pianist's Expressive Timing with director Musices Performance Rules". *Journal of New Music Research*, v.32, p.317-325, 2003.

SUNDBERG, J., A. FRIBERG e L. FRYDÉN. "Rules for Automated Performances of Ensemble Music". *Contemporary Music Review*, v.3, p.89-109, 1989.

\_\_\_\_\_. "Common Secrets of Musicians and Listeners: An analysis-by-synthesis Study of Musical Performance". In: P. Howell, R. West, et al (Ed.). *Representing Musical Structure*. London: Academic Press, p.161-197, 1991a.

\_\_\_\_\_. "Threshold and Preference Quantities of Rules for Music Performance". *Music Perception*, v.9, n.1, p.71-92, 1991b.

SUNDBERG, J., L. FRYDÉN e A. ASKENFELT. "What Tells You the Player is Musical? An Analysis-by-Synthesis Study of Music Performance". In: J. Sundberg (Ed.). *Studies of Music Performance*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music, v.39, p.61-75, 1983.

SUNDBERG, J. e V. VERRILLO. "On the Anatomy of the Ritard: A Study of Timing in Music". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.68, p.772-779, 1980.

TIMMERS, R., R. ASHLEY, P. DESAIN e H. HEIJINK. "The Influence of Musical Context on Tempo Rubato". *Journal of New Music Research*, v.29, n.2, p.131-158, 2000.

TIMMERS, R., R. ASHLEY, P. DESAIN, H. HONING e W. L. WINDSOR. "Timing of Ornaments in the Theme of Beethoven's Paisiello Variations: Empirical Data and a Model". *Music Perception*, v.20, n.1, 2002.

TODD, N. P. M. "A Model of Expressive Timing in Tonal Music". *Music Perception*, v.3, p.33- 58, 1985.

\_\_\_\_\_. "A Computational Model of Rubato". *Contemporary Music Review – "Music, Mind and Structure"*, v.3, n.1, p.69-88, 1989a.

\_\_\_\_\_. "Towards a Cognitive Theory of Expression: The Performance and Perception of Rubato". *Contemporary Music Review*, v.4, p.405-416, 1989b.

\_\_\_\_\_. "The Dynamics of Dynamics: A Model of Musical Expression". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.91 n.6, p.3540-3550, 1992.

\_\_\_\_\_. "The Kinematics of Musical Expression". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.91, p.1940-1949, 1995.

WIDMER, G. "A Machine Learning Analysis of Expressive Timing in Pianist's Performances of Schumann's "Träumerei"". *KTH Symposium on Grammar for Music Performance*, Stockholm: Department of Speech Communication and Music Acoustics - Royal Institute of Technology. p. 69-81, 1995a.

\_\_\_\_\_. "Modeling Rational basis for Musical Expression". *Computer Music Journal*, v.19, p.79-96, 1995b.

\_\_\_\_\_. "Learning expressive Performance: The Structure-Level Approach". *Journal of New Music Research*, v.25, p.179-205, 1996.

\_\_\_\_\_. "Large-Scale Induction of Expressive Performance Rules: First Quantitative Results". *2000 International Computer Music Conference*, Berlin: International Computer Music Association. p. 344-347, 2000.

\_\_\_\_\_. *Using AI and Machine Learning to Study Expressive Music Performance: Project Survey and First Report*. AI Communications, 2001.

WIDMER, G., S. DIXON, W. GOEBL, E. PAMPALK e A. TOBUDIC. "In Search of the Horowitz Factor". *AI Magazine*, v.24, p.111-130, 2003.

WIDMER, G. e W. GOEBL. "Computational Models of Expressive Music Performance: The State of the Art". *Journal of New Music Research*, v.33, n.3, p.203-216, 2004.

WIDMER, G. e A. TOBUDIC. "Playing Mozart by Analogy: Learning Multi-Level Timing and Dynamics Strategies". *Journal of New Music Research*, v.32, n.3, p.259-268, 2003.

WINDSOR, W. L., P. DESAIN, A. PENEL e M. BORKENT. "A Structurally Guided Method for the Decomposition of Expression in Music Performance". *Journal of the Acoustical Society of America*, v.119, n.2, p.1182-1193, 2006.

ZANON, P. e G. DE POLI. "Estimation of Time-varying Parameters in Rule Systems for Music Performance". *Journal of New Music Research*, v.32, n.3, p.295-315, 2003.

ZANON, P. e G. WIDMER. "Learning to Recognize Famous Pianists with Machine Learning Techniques". In: (Ed.). *Proceedings SMAC 03*. Stockholm, Sweden, p.581-584, 2003.

---

**Mauricio Alves Loureiro** - É Doutor em Música (University of Iowa, USA), onde estudou também música eletrônica e computação musical. Engenheiro Aeronáutico formado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Iniciou seus estudos de clarineta com o Professor Dieter Klöcker na Staatliche Hochschule für Musik Freiburg, (Alemanha), com bolsa de estudos do DAAD (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico), graduando-se em 1983. Atuou como clarinetista na *Orquestra Sinfônica Municipal de Campinas*, *Orquestra Sinfônica do Estado de São Paulo* e como solista da *Orquestra Sinfônica Municipal de São Paulo*, *Orquestra Sinfônica de Minas Gerais*, *Orchestergesellschaft Weil am Rhein* (Alemanha). Foi membro integrante de vários conjuntos de música contemporânea: *Grupo Nexus* de São Paulo, *Grupo Experimental de Câmara de Belo Horizonte*, *Center For New Music* da Universidade de Iowa, *Grupo de Música Contemporânea da UFMG*, do qual é fundador e coordenador desde 1992. Atualmente é professor titular na Escola de Música da UFMG, onde é coordenador do Programa de Pós-Graduação em Música e pesquisador em Música e Tecnologia, no âmbito dos Grupos de Pesquisa MÚSICA E TECNOLOGIA e CEFALA ( *Centro de Estudos da Fala Acústica Linguagem e Música*). Atua como intérprete de música eletroacústica e computacional e é membro do Comitê Assessor de Artes no CNPQ.