



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE MÚSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

ALEXANDRE PEREIRA DA SILVA

**Uma abordagem analítica do legato através de parâmetros
acústicos e cinemáticos na performance de clarinetistas**

TESE DE DOUTORADO

**Belo Horizonte
2022**

ALEXANDRE PEREIRA DA SILVA

Uma abordagem analítica do legato através de parâmetros acústicos e cinemáticos na performance de clarinetistas

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Música.

Orientador: Dr. Maurício Alves Loureiro
Coorientador: Dr. Davi Alves Mota

Belo Horizonte
2022

S586a Silva, Alexandre Pereira da.

Uma abordagem analítica do legato através de parâmetros acústicos e cinemáticos na performance de clarinetistas [manuscrito] / Alexandre Pereira da Silva. - 2022.

114 f. : il.

Orientador: Maurício Alves Loureiro.

Coorientador: Davi Alves Mota.

Linha de pesquisa: Performance musical.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Música.

Inclui bibliografia.

1. Música - Teses. 2. Clarinete. 3. Performance musical. 4. Música - Execução. I. Loureiro, Mauricio Alves. II. Mota, Davi Alves. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Música. IV. Título.

CDD: 788.62

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária: Rachel Mariana Mateus de Oliveira CRB/6-1417



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE MÚSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Tese defendida pelo aluno **Alexandre Pereira da Silva**, em 29 de agosto de 2022, e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Maurício Alves Loureiro
Universidade Federal de Minas Gerais
(orientador)

Prof. Dr. Davi Alves Mota
Músico
(coorientador)

Prof. Dr. Luiz Antônio Eugênio Montanha
Universidade Federal de São Paulo

Prof. Dr. Ricardo José Dourado Freire
Universidade Federal de Brasília

Prof. Dr. Tairone Nunes Magalhães
Músico

Prof. Dr. Thiago de Almeida Magalhães Campolina
Músico

Prof. Dr. Flávio Luiz Schiavoni
Universidade Federal de São João del Rei



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Alves Loureiro, Professor do Magistério Superior**, em 30/08/2022, às 12:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Luiz Schiavoni, Usuário Externo**, em 30/08/2022, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago de Almeida Magalhães Campolina, Usuário Externo**, em 30/08/2022, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Davi Alves Mota, Usuário Externo**, em 30/08/2022, às 20:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tairone Nunes Magalhaes, Usuário Externo**, em 30/08/2022, às 22:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luís Antônio Eugênio Afonso, Usuário Externo**, em 09/09/2022, às 14:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo José Dourado Freire, Usuário Externo**, em 11/09/2022, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_aceeso_externo=0, informando o código verificador **1708883** e o código CRC **C3177A18**.

AGRADECIMENTOS

O questionamento que originou este pequeno estudo surgiu da observação da beleza do legato realizado por grandes clarinetistas e a tentativa de compreendê-lo. A estratégia para levar a essa compreensão envolveu e arregimentou uma equipe de pessoas de grande coração sem a qual o trabalho não passaria de um desejo.

Ao longo dos anos em que esse estudo foi sendo lentamente desenvolvido, amizades foram criadas e laços foram fortalecidos e esse espaço é pouco para demonstrar a enorme gratidão que este estudante devota àqueles que o ajudaram direta e indiretamente nessa jornada.

Inicialmente quero externar meu agradecimento e profunda admiração ao meu orientador, professor Maurício, não só pelo período em que me orientou, no qual demonstrou grande respeito ao meu ritmo de aprendizado e as peculiaridades que envolveram meu ingresso em áreas do conhecimento totalmente desconhecidas até então, como também por moldar meu crescimento musical desde a graduação.

O contato com os pesquisadores do CEGeME foi fundamental não apenas para que uma proposta metodológica adequada fosse criada, como também foi essencial para as análises dos dados. Dentre estes pesquisadores agradeço enormemente aos doutores Davi Mota, Thiago Campolina e Aluizio Neto.

Registro também a contribuição essencial que tive do amigo Ricardo Ville com a ajuda nas análises estatísticas.

Meu agradecimento especial aos grandes clarinetistas que, de forma voluntária, contribuíram para a pesquisa gravando os excertos usados neste estudo. São os professores: Ariane Rovesse, Jonatas Bueno, Jovany Gomes, Luís Umbelino, Marcus Julius, Montanha, Ney Franco e Walter Júnio.

Agradeço de coração aos quarenta clarinetistas que participaram do teste subjetivo cuja contribuição foi fundamental para a validação do índice de legato usado nas nossas análises.

Minha família e esposa pelo suporte de sempre, meu muito obrigado.

E, finalmente, a toda a comunidade da Escola de Música da UFMG e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG.

RESUMO

O estudo buscou relacionar aspectos dos movimentos dos dedos dos clarinetistas a características acústicas, mais especificamente à qualidade do legato; para tanto, foram usadas três bases de dados: (1) as informações coletadas sobre as características cinemáticas dos dedos dos músicos, nomeadamente a velocidade e a aceleração, (2) as informações calculadas pelos descritores acústicos selecionados para extrair dados quantitativos sobre determinado intervalo musical e (3) as opiniões de quarenta ouvintes entre clarinetistas profissionais e estudantes sobre a qualidade do legato em alguns intervalos previamente selecionados.

Os resultados apontam que aspectos cinemáticos dos dedos podem alterar a qualidade do legato e que aparentemente é mais fácil ligar um intervalo ascendente do que um intervalo descendente mesmo quando tratar-se de um intervalo relativamente curto de terça menor. Além disso, o estudo verificou que, se os dedos se moverem de forma excessivamente veloz, o legato pode ser prejudicado mesmo que haja uma perfeita sincronia entre os picos de velocidade nas transições descendentes.

Palavras-chave: clarinete, legato, cinemática, descritores acústicos, teste ABX

ABSTRACT

The study aimed to relate aspects of clarinetists' finger movements to acoustic characteristics, specifically to the quality of legato; for this purpose, three databases were used: (1) the information collected on the kinematic characteristics of the musicians' fingers, namely speed and acceleration; (2) the information calculated by selected acoustic descriptors to extract quantitative data on specific musical intervals, and (3) the opinions of forty listeners, among professional and student clarinetists, on the quality of legato in some previously selected intervals.

The results indicate that kinematic aspects of the fingers can affect the quality of legato, and apparently, it is easier to connect an ascending interval than a descending interval, even when dealing with a relatively short minor third interval. Furthermore, the study found that if the fingers move excessively fast, the legato can be impaired, even if there is perfect synchronization between the speed peaks in the descending transitions.

Keywords: clarinet, legato, kinematic, acoustic descriptors, ABX test

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Posição dos dedos sugerida por Backofen em 1824	21
Figura 2 – Intervalos difíceis de ligar segundo Backofen	22
Figura 3 – Sistemas de clarinete mais utilizados atualmente	25
Figura 4 – Regiões da nota segundo ((LOUREIRO, 2018))	26
Figura 5 – Amplitude da impedância do Trato vocal com diferentes “vocalizações”. Extraído de (FRITZ <i>et al.</i> , 2003)	28
Figura 6 – Excerto n° 01: Solo da Sinfonia n° 8 em Si menor de Schubert, segundo movimento, <i>Andante con moto</i> , compassos 66 a 83	30
Figura 7 – Excerto n° 02: Solo da Sinfonia n° 2 de Rachmaninoff, terceiro movimento, <i>Adagio</i> , compassos 6 a 27	31
Figura 8 – Representação das áreas analisadas pelo Índice Mestre-Gómez. Ex- traída de (LOUREIRO <i>et al.</i> , 2012)	35
Figura 9 – Marcadores dispostos nas unhas de um dos músicos.	38
Figura 10 – Representação do perfil de velocidade de um marcador ao longo do tempo	39
Figura 11 – Áudio e marcador da claquete sincronizados	40
Figura 12 – Programa usado no teste ABX	41
Figura 13 – Histograma do Índice On-Off	44
Figura 14 – Histograma do Índice Relativo	45
Figura 15 – Histograma do Índice de Esteban	46
Figura 16 – Ranque de Esteban vs Ranque ABX: músicos 4, 5 e 6	56
Figura 17 – Conjunto de transições 2	57
Figura 18 – Log do Índice de legato Esteban em transições ímpares e pares	58
Figura 19 – Log do Índice Esteban em transições ímpares	59
Figura 20 – Log do Índice de Esteban em transições pares	61
Figura 21 – Perfil de velocidade de dois marcadores em transição ascendente	63
Figura 22 – Perfil de velocidade de dois marcadores em transição descendente	64
Figura 23 – Perfil da aceleração de dois marcadores	65
Figura 24 – Perfil da velocidade confirmado pelo de aceleração anterior	66
Figura 25 – Sincronia dos picos de velocidade do sujeito 4	67
Figura 26 – Perfil de velocidade do marcadores 3 e 6 do sujeito 6	68
Figura 27 – Legato defeituoso fruto da assincronia entre os dedos	70
Figura 28 – Curva de energia RMS da transição 3	71
Figura 29 – Melhor transição pelos ouvintes	73
Figura 30 – Melhor transição pelo Índice de Esteban	74
Figura 31 – Perda de marcadores durante a captura dos movimentos	76
Figura 32 – Dedo médio mais rápido do que o indicador em transição ascendente	77

Figura 33 – Pico de velocidade do marcador 3 antes do marcador 4 em transição descendente	78
Figura 34 – Picos de velocidade baixos em transição ascendente do sujeito 7	79
Figura 35 – Picos de velocidade altos em transição descendente do sujeito 7	80
Figura 36 – Fá suspenso 5 com dedo médio da mão direita	82
Figura 37 – Fá suspenso 5 com dedos indicador e anelar da mão direita (este último, acionando a chave nº 5).	82
Figura 38 – Log do Índice Esteban de acordo com o nº de dedos na transição 3	83
Figura 39 – Transições 7 e 23 do excerto 1	84
Figura 40 – Ordem decrescente do pico de velocidade dos marcadores	86
Figura 41 – Dedo anelar com velocidade superior ao médio	87
Figura 42 – Ordem decrescente dos picos de velocidade incluindo o dedo mínimo	88
Figura 43 – Dedo mínimo da mão esquerda em transição ascendente	89
Figura 44 – Dedo mínimo da mão esquerda em transição descendente	90
Figura 45 – Movimento Antecipatório em transição descendente	91
Figura 46 – Movimento Antecipatório em transição ascendente	92
Figura 47 – Assincronia dos marcadores em transição descendente	93
Figura 48 – Sincronia dos marcadores em transição descendente	94
Figura 49 – Transição menos ligada do Conjunto 02 do sujeito 5	98
Figura 50 – Transição mais ligada do Conjunto 02 do sujeito 5	99
Figura 51 – Transição menos ligada do Conjunto 02 do sujeito 7	100
Figura 52 – Transição mais ligada do Conjunto 02 do sujeito 7	101
Figura 53 – Transição menos ligada do Conjunto 02 do sujeito 1	102
Figura 54 – Transição mais ligada do Conjunto 02 do sujeito 1	103
Figura 55 – Médias dos picos de velocidade dos marcadores 3 e 4 para os intervalos ascendentes e descendentes	104
Figura 56 – Médias dos picos de velocidade para os intervalos ascendentes	105
Figura 57 – Média dos picos de velocidade para os intervalos descendentes	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alguns métodos para clarinete publicados no século XIX	23
Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos Índices de legato	46
Tabela 3 – Média de acertos no teste ABX: Estudantes vs Profissionais	48
Tabela 4 – Melhores e piores takes: músico 4, transição 3	50
Tabela 5 – Melhores e piores takes: músico 5, transição 51	51
Tabela 6 – Melhores e piores takes: músico 6, transição 3	51
Tabela 7 – Índice e Ranque ABX: músico 4, transição 3	53
Tabela 8 – Índice e Ranque ABX: músico 5, transição 51	53
Tabela 9 – Índice e Ranque ABX: músico 6, transição 3	53
Tabela 10 – Índices e Ranque ABX e de Esteban: músico 4, transição 3	54
Tabela 11 – Índices e Ranque ABX e de Esteban: músico 5, transição 51	54
Tabela 12 – Índices e Ranque ABX e de Esteban: músico 6, transição 3	55
Tabela 13 – Índices de legato nas transições descendentes do clarinetista 5	95
Tabela 14 – Índices de legato nas transições descendentes do clarinetista 7	96
Tabela 15 – Índices de legato nas transições descendentes do clarinetista 1	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	17
1.3	Estrutura da Tese	18
2	FUNDAMENTAÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICOS	19
2.1	O legato na literatura musical e pedagógica do instrumento	20
2.2	Transição entre notas e o legato	26
2.3	Trato vocal	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Protocolo do experimento	30
3.2	Aquisição e parametrização dos dados acústicos	32
3.2.1	Índice On-Off	33
3.2.2	Índice Relativo	34
3.2.3	Índice de Legato de Esteban	34
3.3	Aquisição e parametrização dos dados cinemáticos	36
3.4	Teste subjetivo	40
4	ANÁLISES E RESULTADOS	44
4.1	Índices de legato	44
4.1.1	Análise descritiva	44
4.2	Avaliação dos descritores acústicos	47
4.2.1	Conjunto de transições 1	47
4.2.1.1	Teste ABX: Estudantes versus profissionais	47
4.2.1.2	Índice ABX	49
4.2.1.3	Associação entre o Índice de Esteban e Índice e Ranque ABX	54
4.2.2	Conjunto de transições 2	56
4.2.2.1	Transições ascendentes versus descendentes	57
4.2.2.2	Evolução do diminuendo em transições ascendentes	59
4.2.2.3	Evolução do diminuendo nas transições descendentes	60
4.3	Características cinemáticas	62
4.3.1	Características cinemáticas do Conjunto 1	67
4.3.2	Características cinemáticas do Conjunto 2	75
4.3.3	Diferenças entre dois ou três dedos para a mesma transição	81
4.4	Diversidade e Comunalidade na performance dos clarinetistas	84
5	CONCLUSÕES	107

5.1	Considerações finais	109
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

A sistematização das características envolvidas na alteração de frequências sonoras é debatida, pelo menos, já no século IV a.C. por Aristóxeno de Tarento, que discute a relação epistemológica entre a razão e a percepção na definição de conceitos musicais (PEREIRA, 1995). Ao tratar dos conceitos de notas e intervalos, Aristóxeno distingue, em sua *Elementa Harmonica*, duas categorias de movimentos típicos da voz humana: o movimento Contínuo no qual a alteração das frequências ocorre sem se deter em uma altura específica, de forma “deslizante” (característica própria da fala), e o movimento atualmente chamado Diastemático onde as alturas são definidas e desejavelmente estacionárias, presentes no movimento próprio do canto (MARCHETTI, 2009; MACRAN, 2013; GROUT; PALISCA, 2001).

Nos instrumentos, pode-se pensar em transições naturalmente contínuas aquelas realizadas com a técnica tradicional de execução do Theremin, do Erhu e do Serrote, por exemplo. Já a técnica de execução tradicional na maioria dos instrumentos acústicos da tradição ocidental usados nas orquestras sinfônicas atuais realiza transições predominantemente diastemáticas.

A tentativa de se imitar a voz através dos instrumentos musicais permite a realização de ambas as formas de alteração de frequências. Tratar de tais definições no âmbito deste trabalho é fundamental, uma vez que se faz necessário, antes de tudo, estabelecer os elementos sonoros envolvidos na transição entre notas, seja na voz ou nos instrumentos. Neste estudo, serão tratadas as transições durante a performance de clarinetistas através das técnicas de execução tradicionais baseadas no repertório ocidental.

Assim como todos os instrumentos da família das madeiras e metais, o clarinete funciona através de *feedback* acústico, permitindo ao músico controlar o fluxo e a manutenção da coluna de ar no interior do tubo. A variação da ressonância da coluna de ar é ajustada e alterada de acordo com a abertura e fechamento dos orifícios do instrumento pela ação dos dedos do clarinetista (ROSSING, 1989). Quando os movimentos dos dedos são realizados enquanto o músico sopra continuamente, há mudança de frequência e o efeito musical na transição de notas chamado *legato*¹. Trata-se, então, de uma das habilidades e qualidades mais desejadas e apreciadas durante a execução vocal e instrumental, e que se mostra intimamente ligada não somente a aspectos técnicos, mas também à intenção expressiva do músico.

Segundo Loureiro e colegas (LOUREIRO *et al.*, 2008), as variações na realização do *legato* dependem da qualidade do instrumento, das características acústicas do ambiente e da habilidade do músico. Partindo do pressuposto de que essa habilidade vem da maneira

¹ Do italiano: unido, conectado, ligado, amarrado, vinculado.
Plural: *legati*.

como o músico manipula o trato vocal (manipulação esta manifestada através da variação da impedância acústica no próprio trato vocal (CHEN; SMITH; WOLFE, 2010)) bem como a forma a qual movimenta os dedos, pretendeu-se analisar a qualidade do legato na performance de clarinetistas através de parâmetros acústicos e cinemáticos.

Tal pressuposto também segue as afirmações de Stein (STEIN, 1958) e Silva (SILVA, 2016) de que a realização do legato no clarinete é fruto de uma embocadura bem construída e da condução do ar, e que os músicos podem conscientemente alterar a qualidade do legato através de formas distintas de movimentação dos dedos, respectivamente.

Pode-se afirmar, então, que o legato é o resultado sonoro relativo decorrente da transição, sem interrupções ou pausas, entre notas sucessivas. Uma vez que o legato acontece no instante da transição de uma nota a outra, sua realização varia de instrumento para instrumento, incluindo-se a voz.

Neste ponto, é necessária, a descrição da produção sonora no clarinete, a qual depende das duas formas como o instrumentista dá início ao processo vibratório da palheta. Na primeira delas, este processo pode ser iniciado a partir da pressão do ar exercida pelo músico sem o uso da língua. Assim, a palheta parte de uma posição de repouso, estática, estando adequadamente pressionada pelo lábio inferior para a modelagem da embocadura. Na segunda, a palheta é tensionada pela ação da língua e liberada em seguida, permitindo a passagem do ar e dando início à vibração (HOFMANN; GOEBL, 2015).

A manutenção do movimento cíclico da palheta cessa no instante em que o músico interrompe a inserção de ar no interior do tubo, através do espaço entre a palheta e a boquilha, novamente pela ação da língua ou simplesmente por interromper a saída do ar dos pulmões (GUILLEMAIN; VERGEZ; ALMEIDA, 2014), causando uma diminuição exponencial da pressão e conseqüentemente perda de energia no interior do tubo (LI *et al.*, 2016).

Para que seja satisfatoriamente realizado no clarinete, o legato depende, basicamente, de três fatores. O primeiro é a manutenção do ato de soprar, introduzindo no interior do tubo volume e velocidade de ar necessários para a produção do som no instrumento (ODRICH, 2017), mantendo, dessa forma, o movimento contínuo vibratório da palheta. O segundo vem do controle da pressão do lábio inferior sobre a palheta, e o terceiro é a movimentação dos dedos do instrumentista, a qual modifica a configuração ou o “tamanho” do tubo e, conseqüentemente, a altura das notas (a não ser que a intenção do músico seja exatamente a reprodução de multifônicos ou o isolamento de determinado harmônico referente àquela configuração do tubo).

Com relação à pressão que o ar exerce sobre a palheta, é natural imaginar que este aspecto é controlado majoritariamente ou exclusivamente pela ação do diafragma. No entanto, sem desconsiderar a importância deste músculo, deve-se considerar também a manipulação do trato vocal como um aspecto primordial. Alguns estudos evidenciaram que tal manipulação modifica consideravelmente não apenas a emissão, mas também aspectos

como timbre e afinação (WOLFE *et al.*, 2003), além de permitir a mudança de registro no clarinete sem o uso da chave correspondente (chave 12) (JOHNSTON; CLINCH; TROUP, 1986). Por esse motivo, a sessão 2.3 é dedicada exclusivamente à importância do trato vocal na execução do clarinete.

Sobre a pressão do lábio inferior sobre a palheta, é consenso entre os clarinetistas que tanto uma pressão exagerada quanto uma pressão aquém daquela necessária à vedação e modelagem da embocadura são prejudiciais à emissão. Estudo anterior (ALVES, 2013) demonstrou que a emissão foi consideravelmente alterada pela manipulação deste parâmetro.

Sobre a movimentação dos dedos, um estudo prévio analisando a performance de flautistas (ALMEIDA *et al.*, 2009) demonstrou que transições que envolvem a movimentação de apenas um dedo podem produzir transientes que são resultado da velocidade finita do dedo ao pressionar a chave em uma direção (em torno de 10ms) ou de uma mola que retorna essa chave a sua posição de repouso (cerca de 16ms). Ao verificar essa situação na performance de clarinetistas, cuja peculiaridade é a de ter boa parte dos orifícios do instrumento cobertos não por sapatilhas, como na maioria dos modelos de flautas transversais, mas pelo próprio tecido dos dedos, é natural supor que este aspecto desempenhe uma enorme influência na realização do legato.

No entanto, unicamente do ponto de vista da técnica da execução instrumental, a produção do legato varia de acordo com quatro fatores dificultadores da sua realização, a saber: (1) a região ou registro do instrumento onde o legato é realizado, ou seja, se nas regiões grave, média, aguda e superaguda; (2) a dinâmica envolvida, isto é, *pianissimo*, *piano*, *mezzo forte*, etc; (3) a extensão do salto do intervalo envolvido na transição e (4) a sua direção, ascendente ou descendente.

Segundo Stein (STEIN, 1958), a condução do som durante a realização do legato deve ser pensada como uma espécie de glissando em miniatura e se, durante a execução de um excerto onde a beleza do legato é essencial, ouvir-se o bater dos dedos do clarinetista nas chaves e/ou anéis, não apenas uma falta de controle técnico é revelada, como também uma falta de bom gosto musical.

Para um olhar mais abrangente sobre os conceitos de legato, é útil a consulta a uma das maiores fontes de referência sobre a música ocidental publicada desde 1878: o Dicionário Grove. Esta publicação atravessou um século de grandes mudanças estéticas e conceituais na música, tornando-se fundamental para a compreensão não apenas das modificações conceituais, mas também das práticas em determinado período.

As seis primeiras edições são de 1878, 1904, 1927, 1940, 1954 e 1970, respectivamente.

Em sua primeira edição, o legato é conceituado como o som de cada nota de uma frase sendo sustentado até que o som da próxima seja ouvido (GROVE, 1878). Na segunda edição, de 1904, o verbete “legato” não sofreu nenhuma alteração.

Em 1980 o dicionário passou a se chamar New Grove Dictionary of Music and Musicians, primeira edição; a segunda edição desta versão atualizada em 2001 passou a ser publicada na internet sob o nome Grove Music Online.

Nesta última versão, o verbete “legato”, escrito por Geoffrey Chew, é descrito como uma sucessão de notas conectadas sem nenhum silêncio proveniente de articulação (CHEW, 2001). Embora ainda vago, o texto reforça uma informação importante: a conexão ou separação das notas é um aspecto relativo e depende da presença ou ausência de ênfase nos sons. Além disso, o autor lista uma sequência de termos cujo significado varia entre as articulações mais ligadas às aquelas mais separadas², admitindo que alguns desses termos vão além da simples descrição de separação ou conexão entre as notas.

Finalmente, uma outra importante obra que deve ser citada por tratar do conceito de legato e de ter sido uma referência para gerações de grandes compositores é o “Grande Tratado de Instrumentação e Orquestração Moderna” de Hector Berlioz (1803-1869). Sua primeira edição é de 1844, e para o autor, na segunda edição em inglês de 1858, uma execução satisfatória do legato parece estar relacionada às tonalidades de maior facilidade em cada instrumento, bem como ao andamento da obra, havendo, inclusive, instrumentos mais adequados a esse efeito do que outros³ (BERLIOZ, 1858).

1.1 Justificativa

O presente estudo está alicerçado em cinco aspectos que embasam e justificam a pesquisa:

(1) Nas pesquisas e referências bibliográficas estudadas, foi encontrado número bastante reduzido de trabalhos que se direcionassem tanto às características acústicas das transições de notas quanto aos aspectos ligados à movimentação dos dedos dos instrumentistas de sopro, buscando verificar a influência de tais aspectos na qualidade do legato e associando-as à percepção subjetiva dos músicos de forma aprofundada, evidenciando assim a escassez de trabalhos ligados a esse tema.

(2) Por se tratar do estudo de características técnicas da execução de aerofone em performance real e não através do uso de modelos físicos, revela-se aqui um aspecto amplo desta pesquisa, fato que, implantadas as devidas adaptações, permite o uso das ferramentas metodológicas e analíticas durante a execução de outros instrumentos musicais.

(3) Ao lançar mão do uso de ferramentas estatísticas e computacionais, assim como teste subjetivo, unindo abordagens qualitativas e quantitativas, sem perder de vista o valor da manifestação artística presente na performance musical, o estudo evidencia seu caráter

² Segundo o autor, a sequência entre a articulação mais ligada até a mais separada seria: *legatissimo*, *tenuto*, *portamento*, *legato*, *portato*, *non-legato*, *mezzo-staccato*, *staccato* e *staccatissimo*.

³ Berlioz refere-se ao andamento e às tonalidades mais aceitáveis na execução do legato ao descrever o fagote; cita, além disso, um instrumento de teclados (Melodium de Alexandre) que, devido às características acústicas, seria mais adequado a esse efeito musical.

multimodal na medida em que une diversas áreas do conhecimento, tendo como plano de fundo o interesse em aspectos ligados à execução instrumental.

(4) Do ponto de vista do ensino do instrumento, é fundamental a reflexão e a atualização dos professores sobre as questões ligadas à prática e a performance, não apenas no que diz respeito a aspectos musicais, mas também aos aspectos técnicos (sobre os quais esse trabalho se concentra ao analisar o legato), aprofundando assim a relação entre os prismas didático e pedagógico do ensino do clarinete.

(5) A motivação pessoal que faz parte do cotidiano do pesquisador que, ao lidar com a performance musical como instrumentista dentro de uma orquestra sinfônica profissional, como camerista e como professor, preza pela qualidade da execução e tem como princípio a clareza e o equilíbrio entre os aspectos técnicos e musicais associados ao clarinete.

1.2 Objetivos

Assumindo que existem gradações na qualidade das transições em legato e considerando a tentativa de alguns compositores de sistematizar tais gradações pelo uso do superlativo "*Legatissimo*" ou "*Molto legato*", além de registros na partitura do uso de ligaduras duplas como em Elgar (Variações Enigma, IX Nimrod, n° 36) e Chopin (Valsa Op. 64, n° 02, edição de Klindworth), respectivamente, pretende-se aqui analisar a qualidade do legato executado por clarinetistas profissionais através de ferramentas computacionais e estatísticas.

Com o desenvolvimento deste trabalho, objetiva-se também analisar e descrever as características envolvidas na realização do legato, bem como a relação entre os movimentos dos dedos dos clarinetistas e sua influência na qualidade deste tipo de articulação. Uma vez que, na performance tradicional deste instrumento, o legato acontece e depende, necessariamente, dos movimentos dos dedos, é fundamental estudá-los quando da análise de tal articulação musical.

Por meio de abordagens metodológicas quantitativa e qualitativa, o estudo pretende também observar algumas peculiaridades da execução do legato, visando a aplicação dos resultados no âmbito didático-pedagógico do instrumento.

Pretende, ainda, validar a eficácia de alguns descritores acústicos (índices de legato detalhados no capítulo 3) associando-os à experiência de clarinetistas profissionais e estudantes de graduação, além de averiguar a relação entre os movimentos dos dedos e a estrutura fraseológica, quando aplicável, através do andamento e da dinâmica.

1.3 Estrutura da Tese

Este ponto encerra o primeiro dos cinco capítulos da pesquisa.

O segundo capítulo do trabalho foi organizado de forma a mostrar inicialmente um panorama histórico do uso do legato na prática do clarinete, tendo como fonte bibliográfica primária os materiais didáticos/instrucionais desenvolvidos a partir do século XVIII.

Em seguida, serão abordados, ainda que de forma sucinta, os conceitos ligados às transições entre notas, tendo como referência alguns descritores temporais e espectrais. O papel do trato vocal na performance de clarinetistas é abordado logo em seguida.

O capítulo três trata da metodologia usada para a coleta dos dados acústicos e cinemáticos durante a performance de clarinetistas, bem como a descrição do teste subjetivo usado no trabalho.

O quarto capítulo descreve as técnicas usadas nas análises e aborda os resultados encontrados, ao mesmo tempo em que discute as relações entre as características acústicas e cinemáticas observadas durante as execuções de cada clarinetista convidado para o experimento.

O quinto e último capítulo encerra o trabalho e traz as conclusões da pesquisa e as implicações de tais resultados no campo do ensino e da prática do instrumento.

2 FUNDAMENTAÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICOS

De forma abrangente, ao descreverem articulações, os músicos se referem às diversas formas de se criar um som, bem como a maneira de unir ou separar uma sequência deles. A partir desse pensamento, é natural classificá-las em duas categorias: aquelas articulações que apresentam silêncio entre os sons e aquelas que não apresentam. As primeiras dependem da forma como um som é interrompido, da duração do silêncio e da forma como o próximo som acontece. Isto significa que são afetadas pelas características transientes onde timbre, afinação, volume e clareza do ataque, por exemplo, são alterados.

Por esse motivo, há uma gama enorme de tipos de articulações que depende das possibilidades de criação de um som que o instrumento proporciona. Por exemplo, nos instrumentos de orquestra de cordas friccionadas, essas articulações são criadas de acordo com o ângulo e a posição do arco, a força e a pressão exercidas sobre as cordas seja pelo arco, seja pelos dedos assim como o ângulo do cotovelo, do pulso, e a velocidade com a qual o músico movimenta o arco. Algumas dessas articulações são o *spiccato*, o *staccato*, *pizzicato*, *col legno*, etc.

Por outro lado, as articulações ligadas, isto é, as que não deveriam apresentar silêncio entre as notas, dependem, como apontado no primeiro capítulo, do ambiente, da qualidade do instrumento e da habilidade do músico (LOUREIRO *et al.*, 2008). No entanto, as variações, gradações e sutilezas do legato estão, obviamente, atreladas também às possibilidades de manipulação sonora dadas pelo próprio instrumento. De forma geral, essas sutilezas são consideradas “efeitos especiais”, de maneira que o legato “tradicional” de cada instrumento pode variar consideravelmente de um para o outro e evidenciam, especialmente, as mudanças de frequências entre as notas. Entre esses “efeitos especiais” pode-se citar o *glissando*, o *portamento*, *slide*, *hammer-on*, *pull-off*, *pitch bend*, sempre realizados em legato.

Essas possibilidades de manipulação sonora são uma das principais características gerais do legato. Obviamente, o legato realizado pela harpa ao executar um glissando é diferente e tem características acústicas distintas daquele realizado ao se abaixar o pedal de uma mesma corda enquanto esta está soando. Da mesma forma, o legato que o timpanista realiza ao tocar tambores diferentes sucessivamente é diferente de quando este estica a pele de um mesmo tambor enquanto soa.

Outra importante característica geral ligada ao conceito de legato é a atualização da sua concepção de acordo com o tempo e as mudanças tecnológicas na construção dos instrumentos musicais e sua aplicação pelos compositores. Na primeira edição do Dicionário Grove (GROVE, 1878), o autor do verbete, referindo-se aos instrumentos da família dos metais sem o uso de rotores ou pistões como o trompete e a trompa, afirma que estes são incapazes de realizar o “verdadeiro” legato; exemplifica essa afirmação usando um excerto da trompa do Scherzo da Sétima sinfonia de Beethoven, onde afirma que o intervalo de

semiton é realizado alterando-se a posição da mão na campana do instrumento. Ora, as trompas modernas possuem rotores e os trompistas não precisam utilizar essa técnica pra ligar as notas. É pertinente observar que esta edição estampa a informação de que trata do período da música entre 1450 a 1880.

2.1 O legato na literatura musical e pedagógica do instrumento

A descrição de aspectos técnicos da execução do clarinete aparece já no séc. XVIII em um trabalho de Valentin Roeser (1735-1832) (ROESER, 1764). Esta obra, tida como a primeira a publicar informações técnicas deste instrumento direcionadas exclusivamente a compositores, descreve passagens e intervalos que, segundo o autor, não são possíveis de serem executados em legato, considerando os clarinetes de cinco chaves; os mais modernos à época (RICE, 1977; GLICK, 1978).

Tem-se aqui um claro exemplo das limitações tecnológicas empregadas na construção, de certa forma ainda artesanal, do instrumento, manifestada nas posições, quantidades, formato, material e tamanho das chaves. Além disso, soma-se o fato de que, apesar da figura do clarinetista enquanto especialista existir na Alemanha desde 1732 (RICE, 1977), permaneceu ainda até o século seguinte a exploração deste novo instrumento por oboístas, fagotistas, flautistas, trompistas, aplicando naturalmente as técnicas por eles empregadas em tais instrumentos, o que pode ter se configurado em um fator limitador no avanço das técnicas de execução.

Nos anos de 1785 e 1796, Amand Vanderhagen (1753-1822), clarinetista e professor flamenco, escreveu dois importantes métodos para clarinete que o distinguiram como grande pedagogo do instrumento. Essas obras são consideradas os primeiros métodos para clarinete: “*Méthode nouvelle et raisonnée pour la clarinette*” e “*Nouvelle méthode de clarinette*”, respectivamente (BLAZICH, 2005). Nestas obras, o autor exemplifica algumas formas distintas de articulação baseadas em maneiras diversas de golpear a palheta com a língua (“D” e “T” no primeiro método, ou “tu” e “te” no segundo). Quando não estiver especificado na partitura o tipo de articulação a ser usada, o clarinetista pode decidir ligar todas as notas, ligar duas a duas, ligar duas e articular duas (quando os grupos de notas forem pares) dependendo do andamento da música.

Outra importante publicação do final do século XVIII foi o método “*Nouvelle méthode de clarinette*” de 1796 de Matthieu Frédéric Blasius (1758-1829). É uma grande obra dividida em duas partes, sendo a primeira nos moldes dos diálogos platônicos de perguntas e respostas, com ênfase na teoria musical (PEREIRA, 2010). A segunda parte é voltada para alguns aspectos técnicos, inclusive a articulação, onde o autor exemplifica uma grande combinação entre ligaduras e notas articuladas.

Jean Xavier-Lefèvre (1763-1829) foi um importante clarinetista e professor do Con-

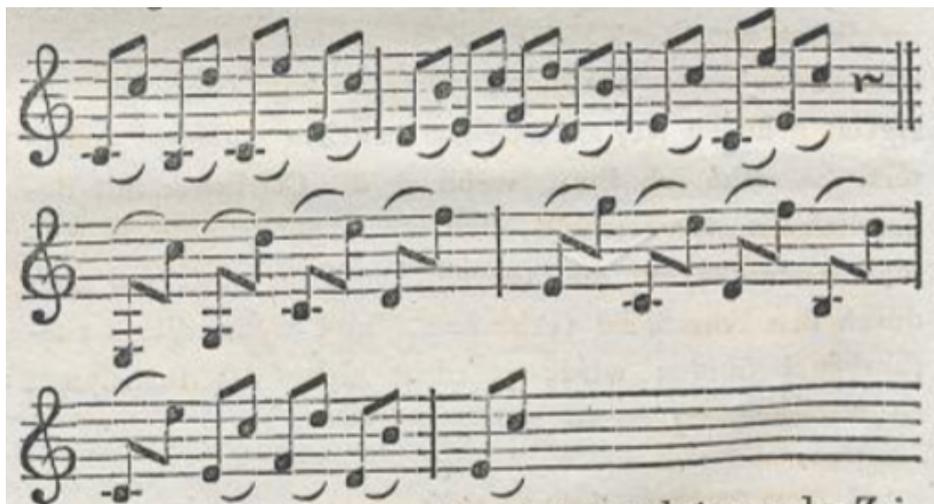
servatório de Paris. Em 1802, ele publicou seu *Méthode de clarinette*. Sobre articulações, ele descreve, sem aprofundar, três tipos: *coulé*, *detaché* ou *coupé* e *piqué*, onde a primeira é o legato, a segunda um tipo mais suave de articulação e a terceira o staccato simples (NORTHOVER, 2018).

Sessenta anos após a publicação do “Ensaio” de Roeser (ROESER, 1764; RICE, 1977), Backofen (BACKOFEN, 1824) publica a segunda edição do seu método para clarinete (a primeira foi publicada em 1803 e é considerada o primeiro método alemão para clarinete), onde aponta a posição desejável dos dedos pra se conseguir uma técnica refinada, incluindo o legato, como mostram as figuras 1 e 2.

Figura 1 – Posição dos dedos sugerida por Backofen em 1824



O texto acima indica que os dedos devem ser arqueados suavemente, como mostra a imagem superior esquerda, e não como a superior direita (como o autor do texto encontrou em algumas escolas de clarinete), de modo que o meio, e não a ponta das articulações mais avançadas dos dedos (falanges distais) cubram os orifícios do instrumento. Da mesma forma, o polegar da mão esquerda deve ficar esticado, como na figura inferior esquerda, e não como na inferior direita. Dessa maneira, basta um pequeno movimento para se acionar a chave de registro, e essa é a única forma, segundo o autor, de se executar os intervalos da figura 2, geralmente escritos para flauta, com o mesmo bom resultado (*Wirkung*).

Figura 2 – Exemplos de intervalos difíceis de ligar sem a posição adequada dos dedos

Uma série de trabalhos de cunho didático ou meramente instrucional foi escrita ainda no século XIX, tendo como preocupação genuína algumas descrições detalhadas das diversas categorias de articulação por golpes de língua, garganta e/ou abdominais, independentemente da preferência do músico pelo uso da palheta voltada para cima ou para baixo. Tais publicações foram concebidas sem a mesma atenção à reprodução do legato, apesar de haver registros de clarinetistas deste período que se destacaram quanto à fluidez no uso desta articulação como Carl Baermann e Richard Mühlfeld (LAWSON, 2000; LAWSON, 1998). É comum neste período o pensamento retórico sobre o uso do legato servindo como caracterização do andamento e do caráter da obra (LAWSON, 1998).

Alguns dos trabalhos desenvolvidos nesse período são:

Tabela 1 – Alguns métodos para clarinete publicados no século XIX

Método	Autor	Ano
Méthode de clarinette	Jean Xavier-Lefèvre (1763-1829)	1802
Anweisung zu Klarinette	Johann Georg Heinrich Backofen (1768-1830)	1803
Nouvelle Méthode pour la Clarinette	Sébastien Demar (1763-1832)	1808
Anweisung zu Klarinette	Johann Georg Heinrich Backofen (1768-1830)	1824
Anweisung zu der Neuen Clarinette und der Clarinette Alto	Iwan Müller (1786-1854)	1826
A Complete Instruction Book for the Clarinet	Thomas Willman (1784-1840)	1826
Nouvelle Méthode de la Clarinette Moderne	Jean Carnaud (1781-1861)	1829
Nouvelle Méthode de Clarinette	Frédéric Berr (1794-1838)	1835
Méthode complète de Clarinette	Frédéric Berr (1794-1838)	1836
Méthode pour la Clarinette	L. Nadaud (?-?)	1841
Méthode pour servir à l'enseignement de la Clarinette	Hyacinthe Eléonore Klosé (1808-1880)	1843
Método Completo de Clarinete	Antonio Romero y Andía (1815-1886)	1845
Méthode pour la Clarinette a Six et Treize Clefs	L. Nadaud (?-?)	1851
Howe's School for the Clarionett	Elias Howe (1820-1895)	1851
Howe's New Clarionett Instructor	Elias Howe (1820-1895)	1860
Clarionett - Schule	Carl Baermann (1810-1885)	1864
Complete Method for the Clarinet	Hyacinthe Eléonore Klosé (1808-1880)	1868
Méthode complète pour la Clarinette	Franz Kellner (1819-1891)	1873
Méthode complète de Clarinette	Aurelio Magnani (1856-1921)	1900

O século XIX foi o mais profícuo em termos de adaptações e melhorias na construção do instrumento e isso se refletiu nas produções dos materiais didáticos desse período. Alguns desses métodos foram tão importantes que continuam sendo usados até hoje.

Esse período pode ser dividido em três partes: (1) o primeiro quarto do século é marcado pela construção de instrumentos “simples” com poucas chaves e ainda sob influência das práticas do século anterior; (2) no segundo quarto do século, surgem sistemas diversos de acordo com modificações nos materiais, números e formato das chaves que, com algumas adaptações, continuam sendo usados atualmente; (3) a segunda metade do século é marcada pela construção dos instrumentos de forma industrial (PINO, 1998).

Em 1843, ao associar-se ao construtor de clarinetes de Paris Auguste Buffet (1786-1864), Hyacinthe Klosé criou o sistema Klosé-Buffet, hoje conhecido como sistema Boehm. Esse sistema, com 17 chaves e 6 anéis, é o mais usado pela maioria dos clarinetistas no mundo (incluindo os participantes deste estudo); foi baseado no sistema de anéis móveis desenvolvido pelo flautista Theobald Boehm (1794-1881) e permaneceu até os dias atuais praticamente sem nenhuma modificação.

O sistema desenvolvido por Oskar Oehler leva seu sobrenome e foi desenvolvido a partir do *Clarinette Omnitonique* de treze chaves criado por Iwan Müller e apresentado no Conservatório de Paris em 1812. É usado predominantemente na Alemanha e Áustria e é chamado no Brasil de Sistema Alemão. É um dos dois sistemas mais utilizados atualmente juntamente como o Sistema Boehm, ou Sistema Francês.

Alguns sistemas que devem ser citados são: Müller (*Clarinette Omnitonique*), Albert, Romero, Clinton, Full Boehm, Mazzeo, McIntyre, NX Benade e Stubbins.

Figura 3 – Sistemas mais utilizados atualmente: Boehm à esquerda e Oehler à direita. Yamaha Co. Wikipedia.



Apesar das semelhanças entre esses dois sistemas, a disposição e quantidade de chaves é notória; isso determina as posições de notas e os dedilhados em ambos os instrumentos.

Assim, as diferenças observadas na “fôrma” das mãos dos clarinetistas (dedos mais esticados ou mais curvos) podem ser fruto do sistema utilizado (YOUNG, 2014). Clarinetistas que tocam o sistema Boehm têm a tendência a curvar os dedos enquanto os que tocam o sistema Oehler tendem a esticá-los de acordo com a técnica do século XIX descrita por Backofen. É importante citar este aspecto já que características motoras dos dedos dos músicos foram usadas como ferramenta metodológica neste trabalho.

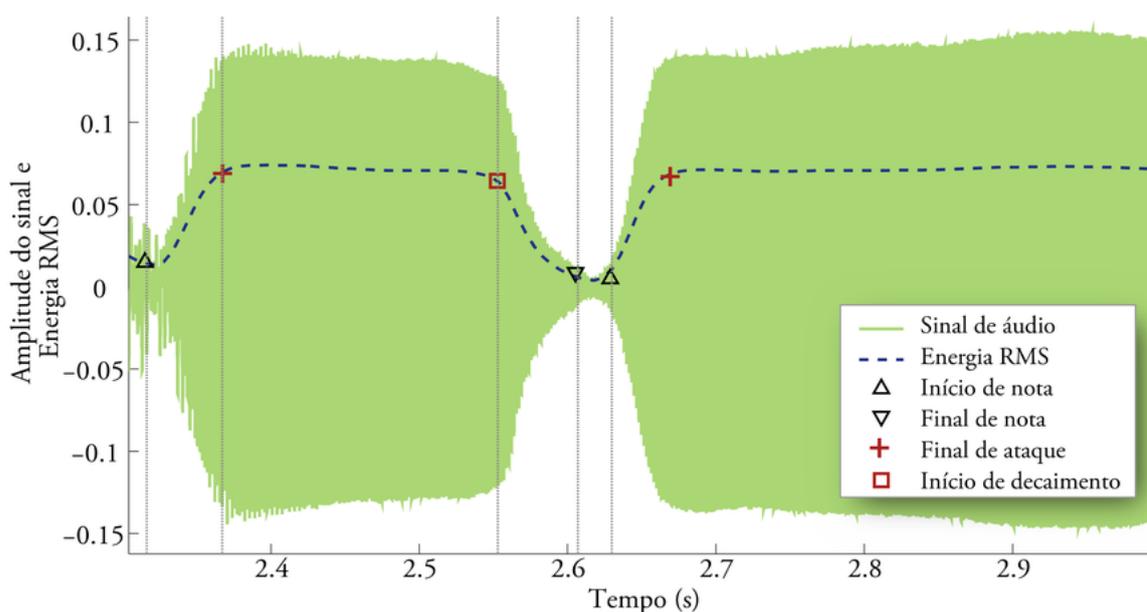
2.2 Transição entre notas e o legato

Como um dos objetos de estudo é o legato, e este acontece entre notas sucessivas, nesta seção serão abordados alguns conceitos relativos à transição entre notas pertencentes ao domínio do tempo e da frequência, referidos aqui como descritores acústicos temporais e espectrais, respectivamente. Park (PARK, 2004) descreve quinze descritores do domínio da frequência e oito no domínio do tempo.

Uma análise descritiva do sinal de áudio passa necessariamente pela segmentação deste e, para tanto, é prática usual a busca por regiões de transientes no sinal (BELLO *et al.*, 2005).

A segmentação do sinal estabelece e delimita a nota musical (escrita na partitura) determinando três regiões “intra-nota” (ataque, sustentação e decaimento ou repouso). Estas regiões são intercaladas entre quatro instantes: início da nota ou *onset*, final do ataque, início do decaimento e final da nota ou *offset*, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Regiões da nota segundo ((LOUREIRO, 2018))



Há vários métodos para se determinar as regiões de uma nota e, conseqüentemente, a segmentação entre um conjunto delas. Um método simples é solicitar a ouvintes que determinem o instante onde cada nota se iniciou. Obviamente a precisão das medições depende da experiência de cada ouvinte neste tipo de tarefa.

Para que uma maior precisão e uma padronização sejam atingidas neste tipo de experimento, é necessário o uso de ferramentas computacionais para a determinação automática das regiões das notas. Cada uma destas ferramentas apresenta melhor desempenho dependendo do seu uso e da metodologia empregada, a começar pela fonte a qual se deseja analisar, ou seja, o instrumento ou a voz. Além disso, as técnicas que analisam a segmentação e a transição entre notas frequentemente fazem uso de ferramentas matemáticas similares.

Nackaerts e colegas (NACKAERTS; MOOR; LAUWEREINS, 2000) revisaram seis¹ diferentes modelos de análise de transição entre notas em instrumentos de sopro e concluíram que um desses modelos (Parallel Crossfading Technique) apresentou resultados mais robustos do que os demais.

Analisando técnicas diferentes de execução no violão, incluindo o legato, staccato e vibrato, Czarnecki (CZARNECKI; MOSZYNSKI; ROJEWSKI, 2012) utilizou o método “Concentrated Spectrograph” ou “Cross-spectral method”; esse método se mostrou bastante eficaz exceto quando da análise de *bending*, *slide* e *vibrato*.

A quantidade e a natureza dos métodos usados para a análise das transições entre notas varia enormemente. Yang (YANG; CHEW; RAJAB, 2015), utilizando uma técnica aplicada originalmente para a análise dinâmica de populações, incluindo crescimento de organismos e florestas, bem como o uso de energia e modificações na indústria, chamada Logistic Model, aplicou-a ao estudo do *portamento* (articulação feita em legato) tanto no violino quanto no erhu. Concluiu que esta técnica apresentou melhores resultados do que outros métodos, como Polynomial Model, Gaussian Model e Fourier Series Model. As técnicas usadas para a segmentação do sinal de áudio no presente estudo são citadas na seção 3.2 (Aquisição e processamento dos dados acústicos).

2.3 Trato vocal

Como apontado na Introdução, a manipulação do trato vocal é tida pelos instrumentistas de sopro experientes como fator decisivo para o controle não apenas da emissão do som, como também do timbre e da afinação.

No entanto, nem sempre houve consenso entre músicos e físicos. Backus (BACKUS, 1961) indicou que o trato vocal não apresenta importância na produção do som no clarinete. Vinte e cinco anos mais tarde, sem desqualificar os trabalhos deste pesquisador, Benade (BENADE, 1986) apresentou um estudo demonstrando matematicamente a influência do que chamou de *Player's windway*. No mesmo ano, Johnston e colegas (JOHNSTON; CLINCH; TROUP, 1986), afirmaram que a manipulação do trato vocal é o principal método usado

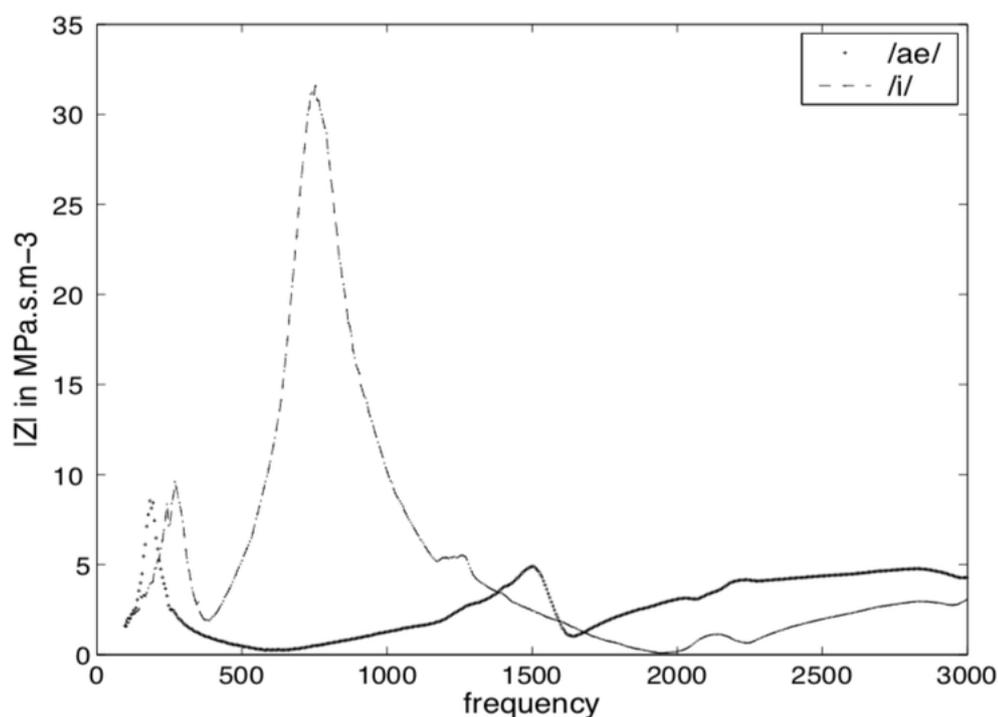
¹ Full Acoustic Model, Serial Crossfading, Model Morphing, Model Switching, Linked Model Switching, Joined Parallel Crossfading.

pelos músicos para a realização do *Glissando*, bem como o controle da afinação e a troca de registro sem o uso da chave correspondente, trabalho cujo resultado foi corroborado por pesquisa mais recente (CHEN; SMITH; WOLFE, 2008).

Passados dezessete anos do trabalho de Johnston e sua equipe, Scavone (SCAVONE, 2003) levanta questionamentos sobre a confiabilidade dos estudos anteriores e afirma não haver consenso sobre a influência do trato vocal na performance “tradicional”; compara a interação músico-instrumento a um circuito elétrico a partir das alterações no trato vocal.

No mesmo ano, Fritz e colegas (FRITZ *et al.*, 2003) analisaram a impedância do trato vocal na região aguda usando duas “vocalizações” comumente citadas por clarinetistas. A vocalização “i” (como na palavra inglesa “heed”) reduzindo o espaço de passagem do ar dentro da cavidade oral apresentou um pico de 753 Hz. A Figura 5 apresenta as diferenças entre essa vocalização e em “æ” (como em “had”), cujo espaço para a passagem do ar aumenta.

Figura 5 – Amplitude da impedância do Trato vocal com diferentes “vocalizações”. Extraído de (FRITZ *et al.*, 2003)



Em outro trabalho, (FRITZ *et al.*, 2005) os autores concluíram que os músicos utilizam esta característica para controlar a afinação e que seu uso pode facilitar ou dificultar a realização de ligaduras, que são o foco desse trabalho. Esse tipo de análise é possível uma

vez que a palheta interage com a impedância acústica (denominada variável Z^2) do trato vocal e do instrumento (WOLFE *et al.*, 2003), sendo esta uma medida útil para a verificação da influência do trato vocal na produção do som (WOLFE; GARNIER; SMITH, 2009).

A escolha pelo material musical analisado neste trabalho levou em consideração, entre outros importantes estudos, as conclusões de Fritz (FRITZ; WOLFE, 2005) que afirmou que, exceto no registro agudo do clarinete, o espectro da impedância acústica tende a se manter estável. Assim, optamos por analisar o legato em intervalos musicais curtos e dentro de um mesmo registro do instrumento que não o agudo; neste estudo, o registro médio. Optamos também por analisar as performances apenas de clarinetistas profissionais porque, como apontado por Chen (CHEN; SMITH; WOLFE, 2009), estes músicos são capazes de ajustar o trato vocal de acordo com a sua intenção, mas os músicos inexperientes não são capazes de fazê-lo.

O uso de modelos físicos, onde são usados pulmões, diafragma, trato vocal, língua e lábios artificiais, foi predominante nos anos seguintes. Em um dos vários trabalhos que desenvolveram controlando em laboratório a pressão do ar, a força do lábio inferior sobre a palheta, a rigidez desta e a posição do lábio, Almeida e colegas (ALMEIDA *et al.*, 2013) demonstraram que a condução do ar alterada por estas variáveis pode afetar drasticamente a produção e a manutenção do som no clarinete: valores baixos de pressão do ar (P) e da força do lábio inferior (F) podem criar o que os clarinetistas brasileiros chamam de “guinchos”; o aumento de F e P fecha a palheta completamente e P alto e F baixo produziu os maiores níveis de intensidade sonora e reforçaram a presença de harmônicos agudos. A análise destas outras variáveis, além da pressão do ar no interior do trato vocal, marca outra fase no estudo da criação e das transições de notas como as análises realizadas por Pàmies-Vilà e colaboradores (PÀMIES-VILÀ; HOFMANN; CHATZIIOANNOU, 2019) que realizou a observação da performance de clarinetistas reais e não mais modelos físicos.

² A impedância acústica (Z) pode ser pensada como uma medida que mostra quão resistente pode ser a produção de um fluxo de ar através de uma área a uma determinada frequência ou a resposta de um instrumento musical a esse aspecto. É dada pela razão entre a pressão acústica p e a componente oscilatória do fluxo ou volume de vazão U , sendo esta mesurada em uma área específica como a glote ou a câmara da boquilha e aquela, a variação da pressão através dessa área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será descrito o desenho metodológico usado durante o processo de aquisição dos dados acústicos e motores dos participantes, bem como aquele usado no teste subjetivo, à luz da Justificativa e dos objetivos elaborados no trabalho, tendo em vista os fatores que caracterizam o legato citados na Introdução.

3.1 Protocolo do experimento

Oito músicos profissionais (sete homens e uma mulher com média de idade $\bar{x} = 34,12$ e desvio padrão amostral $s = 8,83$) executaram, sentados, nas dependências do CEGeME (Centro de Estudos do Gesto Musical e Expressividade da UFMG), dois excertos de obras reconhecidamente importantes do repertório orquestral ocidental onde o clarinete tem papel de destaque. Cada excerto foi executado repetidas vezes até que o(a) instrumentista decidisse que haviam sido gravadas quatro execuções satisfatórias; sem o uso do metrônomo e simulando uma situação real de concerto. Os clarinetistas foram orientados a executar as obras do início ao fim, sem que soubessem quais transições seriam selecionadas para a análise do legato.

Um excerto foi extraído da Sinfonia número 8 em Si menor, D. 759, *Inacabada*, de Franz Schubert¹ (segundo movimento, *Andante con moto*, compassos 66 a 83) e um excerto da Sinfonia número 2 em Mi menor, Op. 27 de Sergei Rachmaninoff (terceiro movimento, *Adagio*, compassos 6 a 27), totalizando dois excertos para clarinete em Lá. Cada excerto foi enviado com antecedência aos músicos para estudo, análise e interpretação.

Figura 6 – Excerto n° 01: Solo da Sinfonia n° 8 em Si menor de Schubert, segundo movimento, *Andante con moto*, compassos 66 a 83

¹ O excerto escolhido desta obra apresenta em determinadas notas a indicação de *Sforzando* (>); isto significa, neste contexto, que a nota a qual se encontra imediatamente abaixo ou acima deste sinal, deve ser evidenciada por meio da intensidade utilizando maior pressão de ar do que nas notas as quais não possuem esta indicação. Por esta razão, os músicos foram orientados a ignorarem tal indicação para que apenas o *legato* fosse evidenciado, já que, do contrário, a conexão entre as notas poderia ser alterada através desse efeito.

Figura 7 – Excerto n° 02: Solo da Sinfonia n° 2 de Rachmaninoff, terceiro movimento, Adagio, compassos 6 a 27

The musical score consists of four staves of music. The first staff (measures 6-23) begins with a 'Solo' marking and 'a tempo'. It features a melodic line with dynamics starting at *p* (*espressivo e cantabile poco cresc.*), moving to *dim.*, and ending with *dim.*. The second staff (measures 24-51) starts with a box labeled '46' and a *p* dynamic, followed by *poco cresc.*, *p*, *mf cresc.*, and *f*. The third staff (measures 52-77) includes dynamics *dim.*, *pp*, *p*, *mf*, and *p*. The fourth staff (measures 78-102) features *p*, *poco cresc.*, *dim.*, and *p dim.*. The score includes various articulations such as slurs, accents, and dynamic hairpins.

A escolha destas obras levou em consideração o andamento (*Andante con moto* e *Adagio*) devido a sua importância na realização do legato, tal como mencionado no capítulo anterior, bem como a relevância de tais composições dentro do universo sinfônico.

A seleção das transições a serem analisadas nesses excertos, considerou os quatro fatores dificultadores da realização do legato, listados na página 14.

Visando controlar as condições experimentais resultantes de 3 desses fatores (registro, dinâmica e extensão do salto), para todas as transições foram adotados o mesmo registro (médio), a mesma dinâmica (assumindo a *expertise* dos músicos profissionais em reproduzir as dinâmicas escritas na partitura) e os mesmos intervalos de terça menor, agrupados em dois conjuntos descritos adiante. Sobre a dinâmica, vale acrescentar que, segundo Czarnecki e colegas (CZARNECKI; MOSZYNSKI; ROJEWSKI, 2012) as notas articuladas apresentam em seu estágio inicial um rápido aumento da intensidade o que não acontece nas notas ligadas. A escolha por esses intervalos curtos de terça menor e o registro médio levou em consideração as afirmações de que o trato vocal tende a se manter estável, exceto quando da realização de grandes saltos ligados entre registros diferentes (FRITZ; WOLFE, 2005). Este critério de escolha do material de análise facilitou isolar efeitos específicos para serem testados: (1) a direção do salto intervalar, ascendente ou descendente, (2) a movimentação dos dedos utilizada na transição.

Serão analisados dois conjuntos de transições formados por intervalos de terça menor ascendentes e descendentes.

O primeiro conjunto de transições, denominado Conjunto 1, engloba a transição 3 do excerto 1 (oitava sinfonia de Schubert), ou seja, a transição entre as notas fá#5 e lá5 (Figura 6, pg. 29) executadas pelos sujeitos 4 e 6, bem como a transição 51 (lá5-fá#5) do excerto 2, segunda sinfonia de Rachmaninoff (Figura 7, pg. 30) executada pelo sujeito 5. O critério para a escolha destas transições, bem como dos músicos que as executaram, levou em consideração as possibilidades de dedilhados que estes intervalos permitem aos músicos realizar e as peculiaridades musicais e técnicas dos clarinetistas, observadas e avaliadas previamente pelo pesquisador. Além disso, esses foram os intervalos selecionados para a realização do Teste Subjetivo, descrito na seção 3.4. Forma um conjunto de 36 transições (3 transições x 3 músicos x 4 takes).

Esse grupo traz informações sobre os movimentos de dedos das mãos ao mesmo tempo em transições ascendentes e descendentes².

O segundo conjunto, Conjunto 2, é formado pelas últimas transições do excerto 1 (transições 17 a 22, Figura 6, pg. 29) criando um grupo de intervalos de terças menores ascendente e descendente que se repetem três vezes cada. O objetivo é observar o comportamento dos movimentos de dois dedos da mão direita que se repetem ao longo da frase musical, bem como as características dessas transições a serem reveladas pela análise acústica. Essas transições formam 192 intervalos (6 transições x 8 músicos x 4 takes). Porém, em 22 deles, os músicos respiraram, interrompendo assim, a ligadura, restando 170 transições que foram efetivamente analisadas neste conjunto.

Entre os dois excertos foram selecionadas, então, 206 transições que foram identificadas pela sequência abreviada de sujeito, excerto, take e transição. A sequência sujeito 1, excerto 1, take 1, transição 1, por exemplo, foi identificada por suj1ex1tk1tr1.

3.2 Aquisição e parametrização dos dados acústicos

Os excertos foram gravados usando-se o software livre Audacity®, um microfone condensador cardióide M-audio Solaris a um metro do(a) instrumentista e uma taxa de amostragem para a análise de 44,100 Hz.

Os áudios registrados em cada execução foram segmentados automaticamente no

² Para executar o intervalo ascendente fá#5-lá5, os clarinetistas levantam os dedos médio da mão direita e anelar da esquerda ou o anelar e indicador da mão direita e anelar da esquerda, a depender da escolha por um ou outro dedilhado pelo clarinetista, uma vez que a nota fá#5 pode ser executada com dedilhados diferentes; para o intervalo descendente lá5-fá#5, os músicos podem usar essas mesmas opções de dedilhado.

programa Sonic Visualiser pelo plugin Expan desenvolvido no CEGeME - Centro de Estudos do Gesto Musical e Expressividade - na Universidade Federal de Minas Gerais, segundo os trabalhos: (LOUREIRO *et al.*, 2008; LOUREIRO *et al.*, 2009a; LOUREIRO *et al.*, 2012; PARK, 2004; MAESTRE; EMILIA GÓMEZ, 2005).

A segmentação obtida no Sonic Visualiser, com pequenas correções manuais, foi exportada no formato .csv (comma separated values) para o sistema Expan implementado no MATLAB que processou a extração dos parâmetros temporais como o início de cada nota (onset), o final (offset), o intervalo entre os inícios de cada nota (IOI- Inter Onset Interval), bem como parâmetros espectrais como o centróide espectral e o fluxo espectral, por exemplo.

Três descritores acústicos foram utilizados para inferir sobre a qualidade do legato: o Índice de legato On-Off, o Índice Relativo e o Índice de Legato Maestre-Gómez (MAESTRE; EMILIA GÓMEZ, 2005), que serão descritos a seguir.

3.2.1 Índice On-Off

Pode-se dizer que representa um dos mais simples descritores de transições em legato do ponto de vista dos critérios usados para sua análise.

Como descreve o código abaixo, o Índice On-off subtrai o instante do início de uma nota qualquer (nota $i + 1$) do final da nota anterior (nota i) e divide esse valor pela taxa de amostragem do áudio (fs), que neste caso foi de 44.100Hz, para que se tenha, em segundos, a duração entre o final de uma nota e o início da próxima. Quanto maior o valor calculado, maior a “distância” entre as notas e assim, interpretamos que foi executado um mau legato. A descrição das regiões de uma nota e as técnicas de segmentação do sinal monofônico foram abordadas na seção 2.2.

Código 3.1 – Função do Índice de legato Onset-Offset

```
1 function onof = expan_legato_onof(notes, i, fs)
2 if (i == length(notes))
3     onof = NaN;
4     return
5 end
6 onof = (notes(i+1).onset - notes(i).offset)/fs;
```

Apesar da semelhança entre esse índice e o Índice de Articulação³ quanto aos valores próximos a zero para transições em legato (LOUREIRO *et al.*, 2009a; CAMPOLINA; LOUREIRO; MOTA, 2009), este índice ainda será analisado aqui para efeito de comparação com os outros descritores, haja vista a escassa literatura sobre essas investigações.

3.2.2 Índice Relativo

O Índice Relativo também é um índice que mede a “distância” entre regiões de uma nota. Como é descrito no próximo código ele soma instantes distintos de duas regiões de uma nota $i + 1$ (neste caso, o início da nota e o final do ataque) e a nota anterior i (início da nota e início do decaimento) e subtrai o resultado um do outro, dividindo o resultado em seguida, pela taxa de amostragem. Assim como o On-off, quanto maior o resultado, “pior” o legato.

Código 3.2 – Função do Índice de legato Relativo

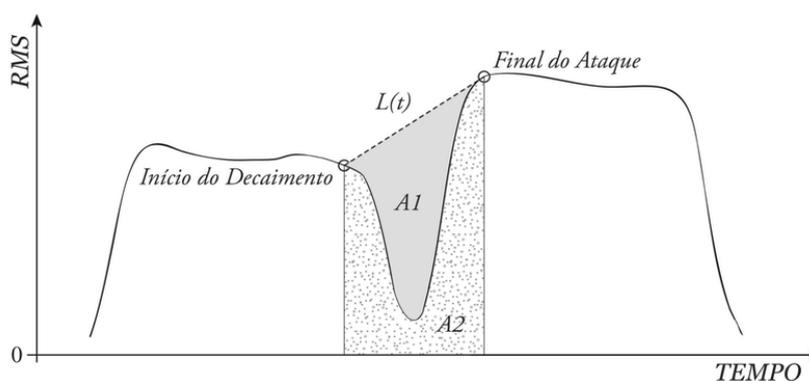
```
1 function relat = expan_legato_relat(y, i)
2 if (i == length(y.notes))
3     relat = NaN;
4     return
5 end
6 relat = ((y.onsets(i+1) + y.attack(i+1)) - (y.onsets(i) + y
    .release(i)))/y.fs;
```

3.2.3 Índice de Legato de Esteban

O descritor aqui informalmente denominado Índice de Esteban ou Índice Maestre-Gómez, foi proposto inicialmente por Esteban Maestre e Emilia Gómez (MAESTRE; EMILIA GÓMEZ, 2005). Os autores propuseram neste trabalho uma forma de analisar automaticamente a dinâmica e a articulação em gravações monofônicas e, partindo de uma transição hipotética em legato sem alteração da energia, considera as características acústicas do ambiente e do instrumento (CAMPOLINA; LOUREIRO; MOTA, 2009).

³ O Índice de Articulação é um descritor acústico usado para se inferir a qualidade das transições entre notas articuladas. Está relacionado à duração das notas e o controle do ataque, normalmente através de golpes de língua pelo intérprete e pode ser medido pela razão entre a Duração Real da nota, que consiste do intervalo de tempo entre o início e o fim de uma nota qualquer, e o valor do IOI (Inter Onset Interval) que é o valor entre os instantes de inícios entre essa nota e a seguinte.

Figura 8 – Representação das áreas analisadas pelo Índice Mestre-Gómez. Extraída de (LOUREIRO *et al.*, 2012)



Este descritor calcula a razão entre a área 1 ($A1$) e a área total ($A1 + A2$), conforme a expressão adaptada de (LOUREIRO *et al.*, 2012):

$$IL(i) = 1 - \frac{A1}{A1 + A2} = 1 - \frac{\sum_{t=id}^{fa(i+1)} L(t) - RMS(t)}{\sum_{t=id}^{fa(i+1)} L(t)} \quad (3.1)$$

Onde i representa a transição, $L(t)$ a reta entre o início do decaimento da nota i e o final do ataque da nota $i + 1$ (em uma transição hipotética sem acréscimo ou decréscimo de energia esta reta seria paralela ao eixo X) e a energia RMS (Root Mean Square) do sinal.

Este índice varia entre 0 e 1 sendo melhor ligada a transição que mais se aproxima deste número .

A seguir, o código do MATLAB/Expan que calcula este índice.

Código 3.3 – Função do Índice de legato Esteban

```

1 function ileg = expan_ilegato_stebam(y,i)
2 if (i == length(y.notes))
3     ileg = NaN;
4 else
5     ileg = 0;
6     % Equacao da reta que liga release a attack
7     idx1 = fix((y.notes(i).release + y.notes(i).onset) / y.
            hop);
8     idx2 = fix((y.notes(i + 1).attack + y.notes(i + 1).
            onset) / y.hop);
9     delta_y = abs(y.rms(idx2) - y.rms(idx1));
10    delta_x = idx2 - idx1;
11    b = y.rms(idx1);
12    a = delta_y / delta_x;
13    A1 = 0;
14    A2 = 0;
15    D1 = 0;
16    D2 = 0;
17    for j = 1:delta_x
18        A1 = A1 + ((a * j + b) - y.rms(idx1 + j));
19    end
20    for k = 1:delta_x
21        A2 = A2 + y.rms(idx1 + k);
22    end
23    ileg = abs(A1 / (A1 + A2));
24 end

```

Campolina e colegas (CAMPOLINA; LOUREIRO; MOTA, 2009) associam este descritor também à configuração do dedilhado em uma determinada transição e esse fenômeno será discutido na seção 4.3.3 (Diferenças entre dois ou três dedos para a mesma transição); além disso, Loureiro e equipe (LOUREIRO *et al.*, 2009a; LOUREIRO *et al.*, 2009b) encontraram uma grande variabilidade desse índice em performances expressivas de clarinetistas (abordagem utilizada neste estudo) em comparação àquelas não expressivas.

3.3 Aquisição e parametrização dos dados cinemáticos

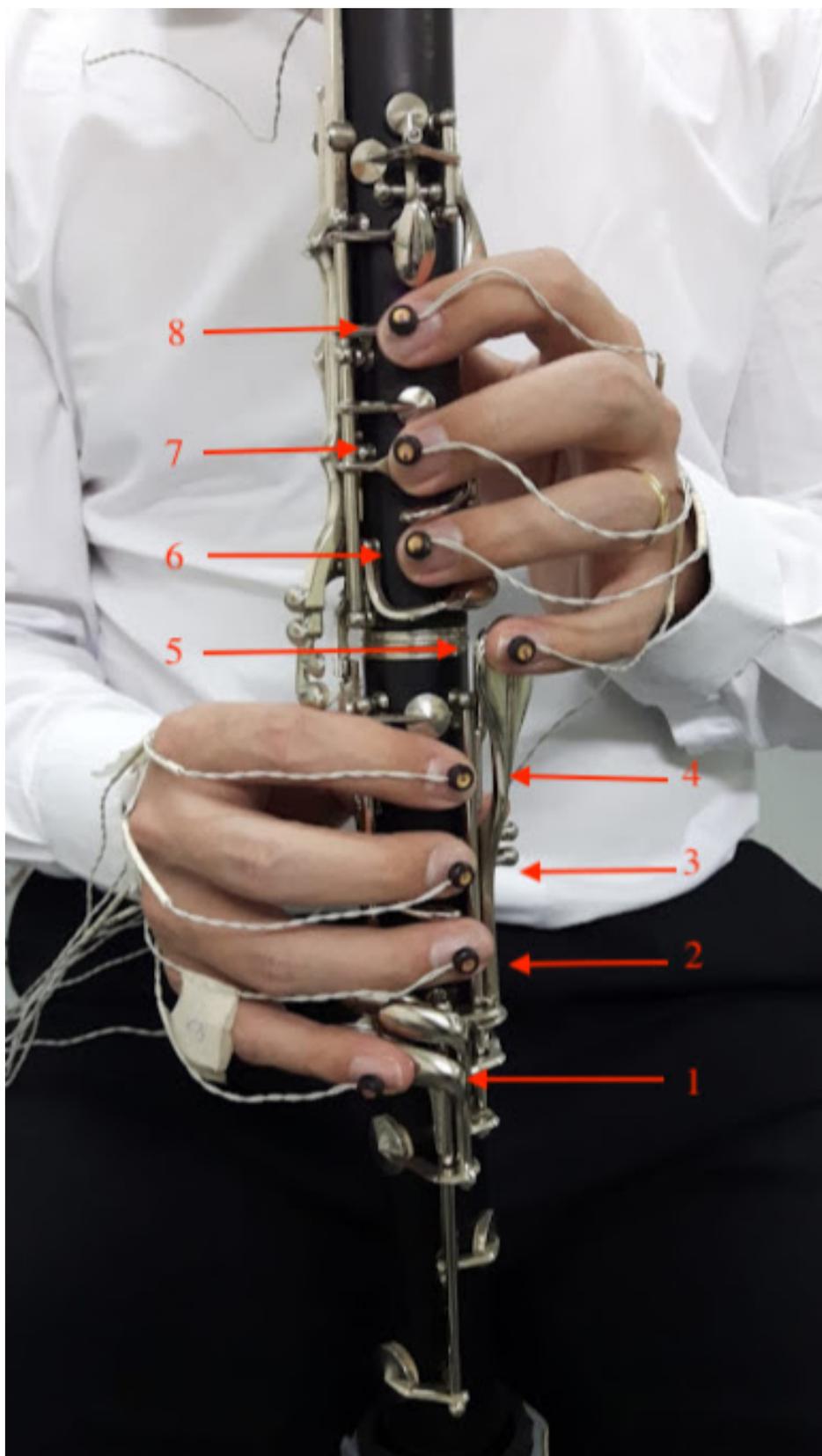
Durante as gravações, além dos dados acústicos, foram extraídas informações dos movimentos dos dedos dos músicos, excluindo-se os polegares, através do sistema óptico ativo de captura de movimentos em tempo real NDI-Optotrak Certus.

Os instrumentistas de sopro geralmente não se atentam tanto aos movimentos dos dedos quanto os pianistas cujos movimentos participam da produção do som (HOFMANN; GOEBL, 2014). Entretanto, alguns estudos apontaram para uma influência destes movi-

mentos em determinados aspectos da performance dos músicos de sopro. Livingstone (LIVINGSTONE, 2013) sugere que a natureza periódica desses movimentos pode se prestar a análises baseadas no domínio da frequência e Hofmann (HOFMANN *et al.*, 2013) observou que, dependendo da “fôrma” da mão dos saxofonistas, a precisão rítmica pode ser afetada. Estas observações também contribuem para a necessidade e justificativa deste estudo.

As informações cinemáticas obtidas durante as gravações (velocidade e aceleração instantâneas, trajetória, duração do movimento, por exemplo) foram colhidas através de marcadores ópticos ativos numerados de 1 a 8 no sentido campana-barrilhete e dispostos nas unhas dos músicos. Pelas suas dimensões, os marcadores não atrapalham a execução musical. Cada marcador foi posicionado da seguinte maneira: marcadores 1 a 4 nos dedos mínimo, anelar, médio e indicador da mão direita e 5 a 8 nos dedos mínimo, anelar, médio e indicador da mão esquerda, respectivamente. Além destes marcadores, foram dispostos outros três na campana (marcadores 9, 10 e 11), um no barrilhete (12) e dois em uma claquete (13 e 14), seguindo a mesma proposta metodológica de Palmer (PALMER *et al.*, 2009).

Figura 9 – Marcadores dispostos nas unhas de um dos músicos.

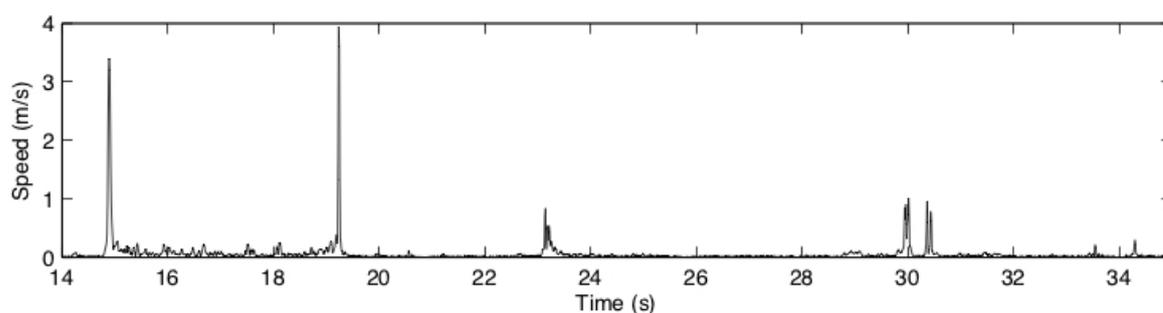


A velocidade tangencial de cada marcador foi utilizada como parâmetro descritor do movimento, estimada conforme a equação 3.2 (MOTA; SILVA; LOUREIRO, 2015).

$$v_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2} \cdot fs \quad (3.2)$$

Onde x , y e z são as coordenadas espaciais, i a amostra em dado instante e fs a taxa de amostragem (*frequency sample*). A figura 10 representa a variação de velocidade dos movimentos de um marcador/dedo ao longo do tempo.

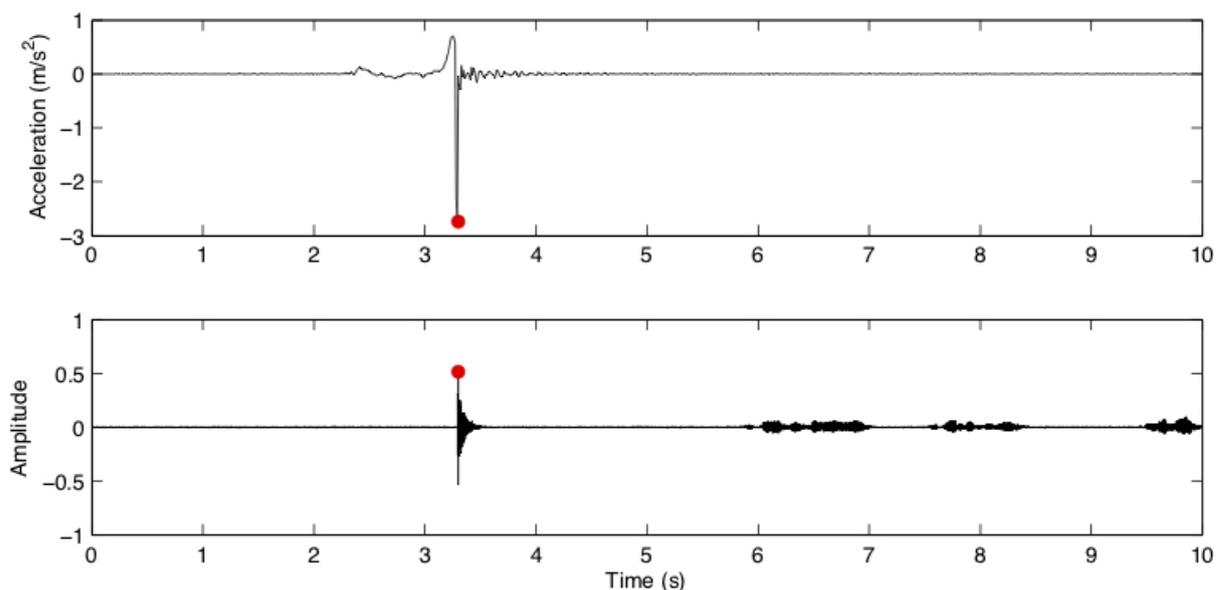
Figura 10 – Representação do perfil de velocidade de um marcador ao longo do tempo



Antes de tudo, porém, é necessário que os dados dos movimentos sejam sincronizados com os áudios. Para isso os músicos acionaram a claquete antes de começarem a tocar. O instante de menor aceleração do marcador 13 fixado na claquete determina o início de cada take, que é sincronizado com o som produzido pela claquete (Figura 11). O registro dos dados dos marcadores é feito a uma taxa de amostragem de 100Hz.

Uma vez sincronizados, é possível associar cada nota e transição à posição dos dedos dos músicos no espaço, assim como a velocidade e a aceleração.

Figura 11 – Áudio e marcador da claquete sincronizados



Ao tocar, os músicos movem não apenas os dedos, assim como todo o corpo, mas também o instrumento. Para que os movimentos dos marcadores tenham pontos de referência no espaço, é necessária a subtração dos movimentos dos dedos daqueles movimentos do instrumento. Os marcadores na campana e no barrilhete serviram como referência para essa subtração.

3.4 Teste subjetivo

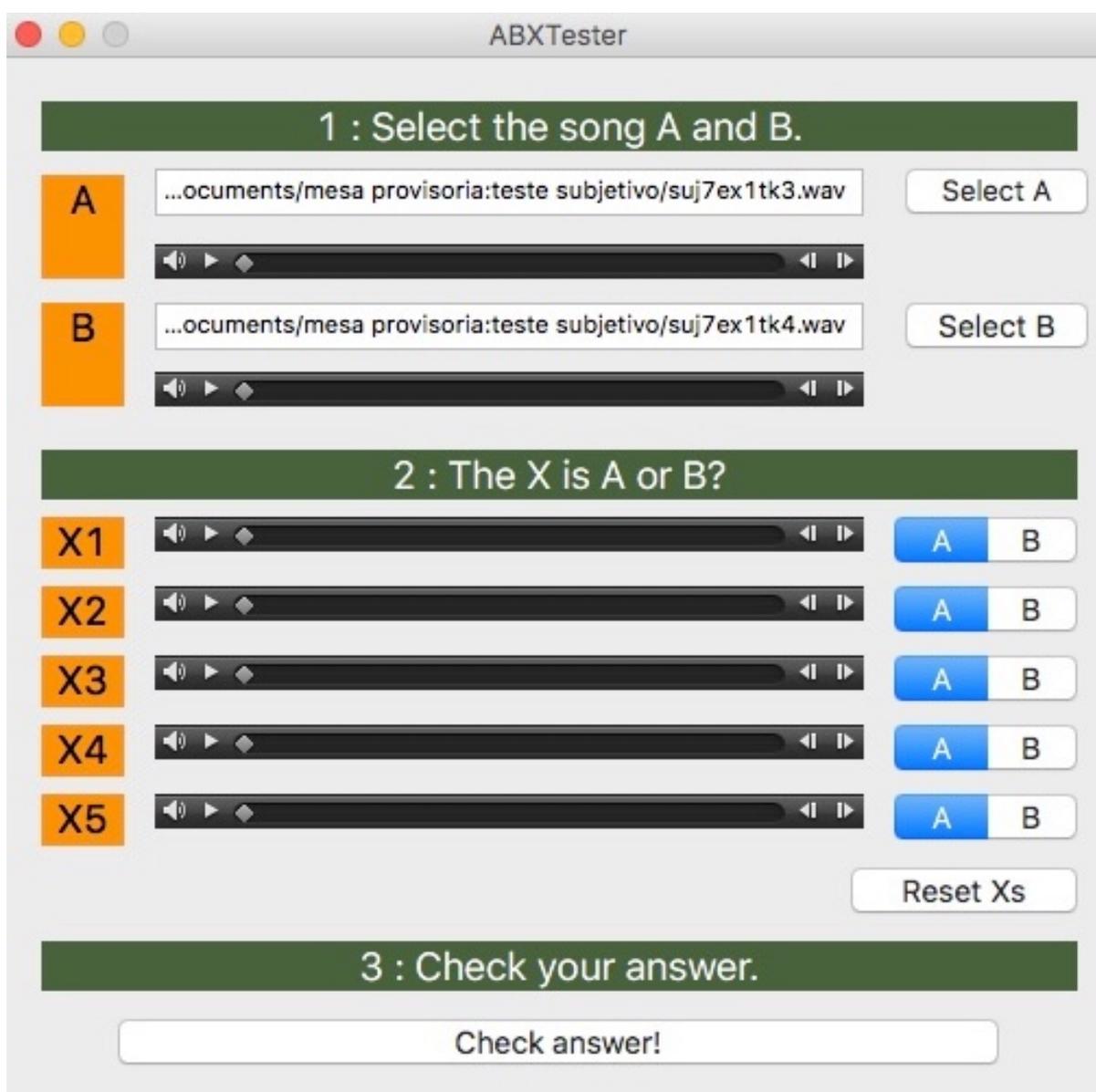
O teste subjetivo usado no trabalho é um teste do tipo ABX que foi descrito pela primeira vez em um artigo publicado em 1950 (MUNSON; GARDNER, 1950). Trata-se de um teste duplo cego que, neste trabalho, foi realizado por quarenta ouvintes (26 profissionais e 14 estudantes de graduação), todos clarinetistas e que usaram o mesmo fone de ouvido (AKG K414p). Tem como objetivo comparar a opinião dos clarinetistas com as análises dos índices de legato sobre a qualidade dessa técnica de execução, verificando, estatisticamente, se os ouvintes são capazes de identificar e individualizar cada transição.

Neste teste, é verificada a habilidade dos ouvintes em perceber auditivamente diferenças entre dois estímulos (áudio A e áudio B), selecionando um terceiro (áudio X) que necessariamente é o A ou o B e, no presente estudo, adaptamos a metodologia usada por Hofmann e Goebel (HOFMANN; GOEBL, 2014). Para cada par de transições comparado, os ouvintes fizeram dez tentativas. Neste estudo, o áudio A é uma transição e o B a mesma

transição, porém, de um outro take do mesmo excerto, executado pelo mesmo clarinetista. Foi solicitado aos ouvintes que também julgassem a qualidade das transições, declarando qual delas apresentou o melhor legato.

Os ouvintes puderam comparar as seis combinações possíveis⁴ para a transição 3 do excerto 1 (Schubert) dos quatro takes dos clarinetistas quatro e seis e a transição 51 do excerto 2 (Rachmaninoff) executada pelo clarinetista 5. Utilizando o software Audacity®, foram aplicados o efeito *fade-in* e *fade-out* antes e depois das transições, buscando direcionar a atenção dos ouvintes para o instante da mudança entre as duas notas e o algoritmo de normalização para igualar as dinâmicas entre as tomadas (*takes*). O programa utilizado para o teste foi o software gratuito ABXTester desenvolvido por Takashi Jogataki.

Figura 12 – Programa usado no teste ABX



⁴ Take 1 com 2; 1 com 3; 1 com 4; 2 com 3; 2 com 4 e 3 com 4.

Um Modelo Linear Generalizado (GLM) (MONTGOMERY; PECK, 1992), usando a função *glm* do software R, foi aplicado para comparar as proporções dos acertos entre os clarinetistas profissionais e os estudantes.

O desempenho das transições escolhidas para o teste ABX foi medido como a proporção de vezes em que uma transição foi escolhida em pelo menos oito de dez identificações corretas pelos ouvintes. Esse desempenho no teste ABX foi aqui chamado de Índice ABX e será detalhado no próximo capítulo.

Para o intervalo de confiança de 95% nas dez tentativas realizadas foi usado o critério de pelo menos oito acertos considerando o manual do ABX Comparator desenvolvido pela empresa QSC AUDIO (QSC, 1998) e o método *mid p-value* (BERRY; ARMITAGE, 1995), que é o mais indicado para distribuições discretas, principalmente com pequeno tamanho amostral. Oito é o menor valor tal que podemos rejeitar a probabilidade de acertos ao acaso.

Assim, pode-se supor que sob a Hipótese Nula, o número de acertos de um ouvinte que seleciona o take aleatoriamente segue uma distribuição binomial com $n = 10$.

Sendo X o número de acertos, temos:

$$P(X = 8) = \binom{10}{8}(1/2)^{10} = 0,04394531$$

$$P(X = 9) = \binom{10}{9}(1/2)^{10} = 0,009765625$$

$$P(X = 10) = \binom{10}{10}(1/2)^{10} = 0,0009765625$$

Pelo critério *mid p-value*, em que o valor- $p=f(x)$:

$$f(x) = 0.5P(X = x) + \sum_{i=x+1}^n P(X = i) \quad (3.3)$$

Logo,

$$f(8) = 0,04394531/2 + 0,009765625 + 0,0009765625 = 0,03271484$$

$$f(7) = 0,1171875/2 + 0,04394531 + 0,009765625 + 0,0009765625 = 0,1132812$$

Como $f(8) < \alpha = 0,05$ e $f(7) > \alpha = 0,05$, oito ou mais acertos passa a ser o ponto de corte para rejeitarmos a hipótese nula de respostas ao acaso, isto é, os ouvintes não terem sido capazes de reconhecer e individualizar as transições. Assim, os resultados inferiores a 8 acertos foram excluídos e computados apenas aqueles onde os ouvintes acertaram 8 ou mais acertos.

Os valores dos Índices ABX foram confrontados com os valores do Índice de Esteban. A significância da correlação para cada músico foi também calculada e testada usando a função *cor.test* do software R utilizando tanto o coeficiente paramétrico de Pearson (TRIOLA, 2017) quanto o não paramétrico de Spearman (LEHMANN, 2006).

Uma vez que a qualidade do legato em determinada transição no teste ABX foi avaliada a partir da comparação com a mesma transição dos outros takes do mesmo clarinetista, a variável do Índice ABX foi transformada em um Ranque ABX, no qual os quatro Índices de cada sujeito foram ordenados do menor para o maior sendo 1 o menor e 4 o maior como será descrito na seção 4.2.1.2. A mesma estratégia foi adaptada ao Índice de Esteban onde os menores valores, dentre os 4 takes, receberam 1 e os maiores, 4.

Ao final destes dois processos de ranqueamento das duas variáveis (Ranque ABX e Ranque de Esteban), foi obtido um conjunto de 12 pares de observações, tendo cada variável 3 valores 1, 3 valores 2, 3 valores 3 e 3 valores 4 já que foram ouvidos três clarinetistas distintos no teste (músicos 4, 5 e 6), cada um executando uma transição. A correlação destas duas variáveis, embora possa ser calculada usando o coeficiente paramétrico de Pearson e o coeficiente não paramétrico de Spearman, só pode ser testada estatisticamente por meio do segundo, uma vez que o primeiro necessita do pressuposto de que as variáveis possuem distribuição normal, o que não se aplica aqui já que estas possuem distribuição Uniforme Discreta entre 1 e 4.

4 ANÁLISES E RESULTADOS

Nesta seção, serão analisados os Conjuntos de transições 1 e 2 com foco nas características tanto acústicas (através dos Índices de legato) e perceptivas (através do Teste ABX), quanto cinemáticas (pelos perfis de velocidade e aceleração dos dedos), relacionadas ao legato.

Os índices de legato On-Off (Onset-Offset), Relativo e Maestre-Goméz (Esteban) foram usados para a observação das características acústicas, e os perfis de velocidade e aceleração dos marcadores serão usados para as análises dos movimentos dos dedos. A análise do Conjunto 1 inclui ainda os dados do teste ABX. O material musical usado nestes Conjuntos foi dividido de acordo com o intervalo ascendente ou descendente.

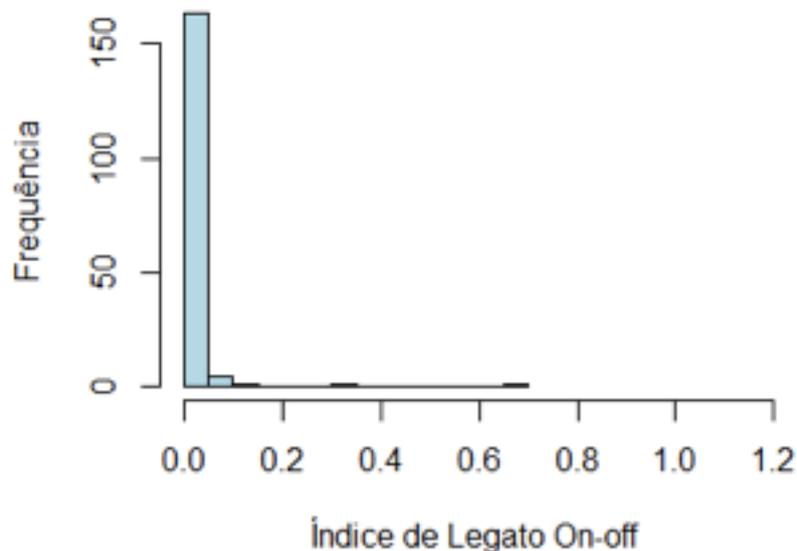
4.1 Índices de legato

Aqui serão inicialmente detalhados os índices de legato selecionados para a análise das transições.

4.1.1 Análise descritiva

Nesta seção é apresentada uma descrição dos índices de legato calculados pelo Expan que foram selecionados entre aqueles descritores que potencialmente podem descrever as transições ligadas no clarinete.

Figura 13 – Histograma do Índice On-Off



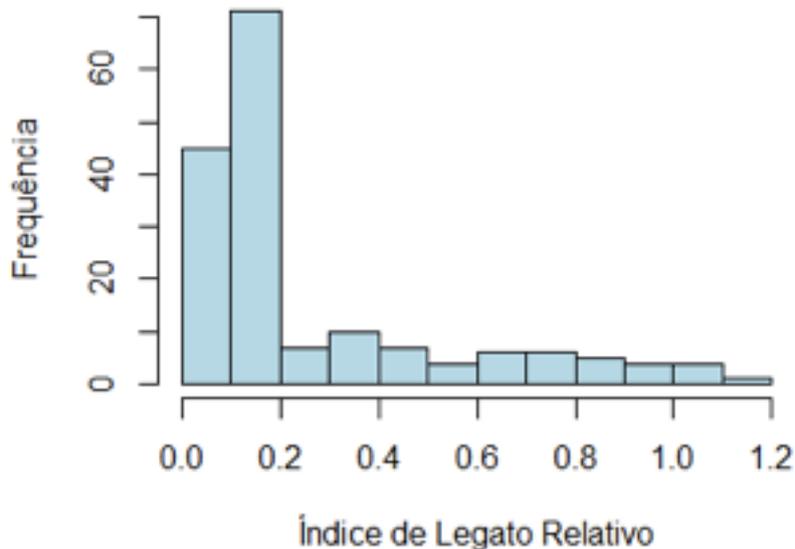
A Figura 13 mostra o histograma da distribuição dos valores do Índice On-Off em 170 transições válidas do Conjunto 2 (transições 17 a 22, Figura 6, pg. 29).

O valor médio deste Índice foi de 0,02 e o desvio padrão de 0,06 com valores mínimos e máximos de 0,01 e 0,67. O histograma da figura 13 mostra uma grande assimetria à esquerda, observada pela ocorrência de valores inferiores a 0,05.

Nas 170 transições válidas, o valor 0,005 apareceu 143 vezes na base de dados do Grupo 2.

A seguir é apresentado o histograma do Índice Relativo.

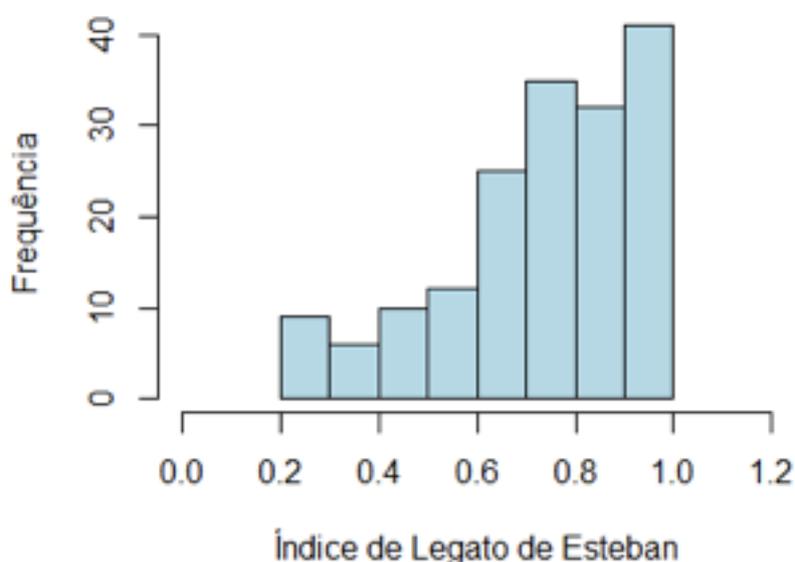
Figura 14 – Histograma do Índice Relativo



Diferentemente do Índice On-Off, o Relativo apresentou 86 valores únicos das 170 transições. A média dos valores deste índice foi de 0,26 e o desvio padrão de 0,27. Esses valores variaram entre um mínimo de 0,03 e um máximo de 1,18.

Por último, o histograma do Índice de Esteban é exibido a seguir.

Figura 15 – Histograma do Índice de Esteban



Este índice variou entre 0,21 e 0,995 sendo este o valor da melhor transição feita pelo suj8ex1tk4tr17 já que este descritor varia de 0 a 1 conforme comentado no capítulo anterior. O Índice de Esteban apresentou também uma distribuição assimétrica, mas desta vez uma assimetria à direita. A média do Índice de Esteban foi de 0,73 e o desvio padrão foi 0,2.

A tabela a seguir resume as estatísticas citadas acima, acrescida dos Coeficientes de Assimetria, calculados com a função *skewness* do pacote *moments* do R. Distribuições simétricas, como a distribuição normal, possuem coeficientes amostrais de assimetria próximos de 0.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos Índices de legato

Índice	Média	Desvio padrão	Coeficiente de Variação	Mínimo	Máximo	Coeficiente de Assimetria
On-off	0,01612	0,05748	3,566	0,005442	0,6734	9,659
Relativo	0,2642	0,2701	1,022	0,03483	1,178	1,621
Esteban	0,7313	0,2003	0,274	0,21	0,9957	-0,7767

A tabela 2 também mostra, contudo, um grande Coeficiente de Variação ($CV = \text{Desvio padrão} / \text{Média}$) e Assimetria, especialmente para o Índice On-off. O Índice de Esteban, por outro lado, apresenta um $CV = 0,274$ e um Coeficiente de Assimetria de

apenas -0,777, indicando uma variável muito menos instável, o que pode ser visto como uma qualidade do Índice em comparação aos demais.

Como apontado nas subseções 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, os índices de legato On-Off e Relativo são de natureza temporal, ou seja, são calculados a partir de instantes específicos de regiões “intra-notas”, como o início da nota e final do ataque; o Índice Maestre-Gómez por sua vez, utiliza, além de instantes específicos, o envelope de energia e o contorno da frequência fundamental para o cálculo de áreas envolvendo a transição entre duas notas em sinal monofônico (MAESTRE; EMILIA GÓMEZ, 2005). Uma vez que, usando uma taxa de amostragem de 44,1KHz, cujo valor de resolução é de 0,0226 milissegundos, os valores extremamente baixos dos dois primeiros índices, menores do que a resolução usada na análise, demonstram que, nessas condições, tais índices são inadequados para este estudo. Por este motivo, foi decidido que as análises seguintes serão realizadas usando-se unicamente o Índice Maestre-Gómez.

4.2 Avaliação dos descritores acústicos

Nesta seção serão detalhados os dados relacionados tanto às respostas dos ouvintes ao teste ABX, quanto às informações observadas através do Índice de Esteban. Será dividida em duas partes de acordo com os Conjuntos de transições 1 (Schubert, transição 3 e Rachmaninoff, transição 51) e 2 (Schubert 17 a 22).

4.2.1 Conjunto de transições 1

Este conjunto de transições é formado por aquelas transições usadas no teste ABX, onde 40 ouvintes avaliaram a qualidade do legato e as ranquearam. Foram selecionadas as transições 3 do excerto 1 (executadas pelos clarinetistas 4 e 6) e 51 do excerto 2 (executada pelo clarinetista 5). Forma o total de 36 transições que foram analisadas pelo índice de Esteban e comparadas posteriormente com as características cinemáticas dos dedos dos clarinetistas.

4.2.1.1 Teste ABX: Estudantes versus profissionais

As características do teste ABX foram apresentadas na seção 3.4 e aqui serão abordados os resultados do teste. Foram selecionadas as transições 3 do excerto 1 (Schubert) executadas pelos clarinetistas 4 e 6, e a transição 51 do excerto 2 (Rachmaninoff) executada pelo clarinetista 5. Dos 40 ouvintes do teste ABX, 26 são profissionais e 14 estudantes.

As avaliações dos *takes*, sempre de um mesmo músico e mesma transição, foram feitas comparativamente, aos pares onde cada ouvinte manifestou sua preferência por uma das duas transições apresentadas por vez, julgando assim a qualidade do legato. Cada ouvinte fez 6 comparações entre os 4 takes para cada músico e transição (take 1 com take 2, 1 com 3, 1 com 4, 2 com 3, 2 com 4 e 3 com 4,); esse é o número de combinações de 4 elementos tomados 2 a 2:

$$C(4, 2) = \binom{4}{2} = \frac{4!}{(4-2)!2!} = \frac{n(n-1)}{2} = 6 \quad (4.1)$$

Sendo assim, o total de comparações que cada ouvinte realizou foi o produto entre o número de músicos/transições, que são 3, e o número de comparações para cada músico/transição, que são 6, totalizando 18 comparações. Dezoito comparações para cada ouvinte, multiplicado por quarenta ouvintes no total, resulta em 720 comparações.

Para cada par de transições comparado o software ABXTester selecionava aleatoriamente uma das duas transições (denominada agora de transição X) e apresentava aos ouvintes, os quais deveriam tentar identificá-la corretamente entre a transição A e a transição B. Isso foi repetido 10 vezes, sendo registrada a quantidade de acertos de cada ouvinte. Assim, temos 18 registros de um número entre 0 e 10, que pode ser modelado por uma distribuição Binomial com $n = 10$.

Partindo da hipótese de que as diferenças entre os níveis de experiência dos músicos profissionais e estudantes poderiam ter um papel importante na avaliação subjetiva da qualidade do legato, foi calculada a média de acertos dos dois grupos que é resumida na tabela a seguir.

Tabela 3 – Média de acertos no teste ABX: Estudantes vs Profissionais

Ouvintes	Músico 4, transição 3	Músico 5, transição 51	Músico 6, transição 3	Total
Estudantes	8,786	9,095	9,298	9,06
Profissionais	9,032	9,032	9,468	9,177

A tabela 3 mostra valores muito próximos da média de acertos entre os estudantes e os profissionais. Assim, foi realizado um teste de hipóteses comparando os dois grupos: estudantes contra profissionais.

Como apontado, a proporção de acertos pode ser modelada por uma distribuição Binomial. Como pode haver um efeito de três fatores (o clarinetista que gravou, a transição em questão e o ouvinte), foi ajustado um Modelo Linear Generalizado, considerando a família binomial, através da função *glm* no R. O modelo ajustado foi o seguinte.

$$p_{ijk} = \frac{e^{\beta_0 + \sum_{j \in \{4,5,6\}} \beta_{1j} I_{\{Musico_j\}} + \beta_2 I_{\{Profissional_i\}} + \epsilon_{ijk}}}{1 + e^{\beta_0 + \sum_{j \in \{4,5,6\}} \beta_{1j} I_{\{Musico_j\}} + \beta_2 I_{\{Profissional_i\}} + \epsilon_{ijk}}} \quad (4.2)$$

Onde i representa o ouvinte; j o músico; k a comparação; p_{ijk} é a proporção (número de acertos dividido por 10) de acertos do ouvinte i , músico j na comparação k ; $I_{\{Musico_j\}}$ é a variável Indicadora que recebe o valor 1 para o músico j e 0 caso contrário; $I_{\{Profissional_i\}}$ é a variável Indicadora que recebe o valor 1 se o ouvinte i é profissional e 0 se é estudante; β_0 , β_{1j} e β_2 são parâmetros a serem estimados pelo modelo; e ϵ_{ijk} é o erro aleatório, com distribuição normal com média 0.

O parâmetro que nos interessa aqui é o β_2 , que se for estatisticamente diferente de 0, indica que de fato há uma diferença entre os ouvintes profissionais e estudantes. O resultado foi $\beta_2 = -0,148$, mas o respectivo valor-p do teste t de significância foi 0,591, o que indica não haver significância estatística da diferença entre os grupos. Em outras palavras, a diferença entre as médias 9,06 e 9,177 de proporção de acertos para o grupo de estudantes e de profissionais, provavelmente ocorreu simplesmente ao acaso, e não por haver diferença entre eles.

Por essa razão, a opinião de ambos os grupos de ouvintes (clarinetistas profissionais e estudantes) sobre a qualidade do legato em cada transição analisada no teste ABX, foi computada, já que estes ouvintes se mostraram igualmente competentes.

4.2.1.2 Índice ABX

Como apontado na seção anterior, cada um dos 40 ouvintes fez 6 comparações. Desta forma, o total de comparações para cada músico e transição foi 240 (40 ouvintes vezes 6 comparações). No entanto, foram computados para efeito do Índice ABX os resultados em que os ouvintes, ao ouvirem aleatoriamente as transições selecionadas em cada take 10 vezes, a identificaram corretamente em pelo menos 8 tentativas. A justificativa para este critério foi dada na seção 3.4 (Teste subjetivo).

A seguir, apresentamos os resultados do teste ABX para o músico 4 quando executou a transição 3 do excerto 1 (Schubert). As linhas representam o número dos takes considerados melhores e as colunas os piores.

Tabela 4 – Melhores e piores takes: músico 4, transição 3

		Pior Take				Soma
		1	2	3	4	
Melhor Take	1	0	12	9	27	48
	2	14	0	17	27	58
	3	18	14	0	27	59
	4	8	12	10	0	30
	Soma	40	38	36	81	195

Como exemplo, o take 1 foi considerado melhor que o take 2, 12 vezes, e foi considerado pior que o take 2, 14 vezes. Como a soma de 12 e 14 é 26, significa que 14 ouvintes (de um total de 40) erraram ao tentar identificar o take em pelo menos 3 dentre 10 tentativas.

Contra o take 3, por sua vez, o take 1 foi considerado melhor por 9 ouvintes, mas foi considerado pior por outros 18. A soma entre 9 e 18 é 27, mais uma vez inferior a 40, indicou que houve 13 ouvintes que não conseguiram diferenciar os takes em pelo menos 30% das audições.

De fato, o número total de comparações consideradas para o músico 4, conforme apresentado na tabela acima foi de 195, indicando que em 45 vezes (de 240) os ouvintes erraram ao identificar corretamente o take da audição em pelo menos 3 das 10 tentativas.

O Índice ABX foi então calculado como a fração de vezes que determinado take ou transição foi considerado(a) o melhor dentre as comparações em que ele participou e houve um vencedor válido. Por exemplo, a partir da tabela acima, a fórmula é a seguinte: total de linhas dividido pelo total de linhas mais o total de colunas. Para o músico 4, temos que o take 1 recebeu o seguinte valor do Índice ABX:

$$I_{ABX_{4,1}} = \frac{\text{melhor}}{\text{melhor} + \text{pior}} = \frac{\sum \text{linha } 1}{\sum \text{linha } 1 + \sum \text{coluna } 1} = \quad (4.3)$$

$$I_{ABX_{4,1}} = \frac{48}{48+40} = \frac{48}{88} = 0,5454545$$

Com a mesma fórmula, podemos calcular os Índices ABX dos outros 3 takes do músico 4:

$$I_{ABX_{4,2}} = \frac{58}{58+38} = \frac{58}{96} = 0,6041667$$

$$I_{ABX_{4,3}} = \frac{59}{59+36} = \frac{59}{95} = 0,6210526$$

$$I_{ABX_{4,4}} = \frac{30}{30+81} = \frac{30}{111} = 0,2702703$$

Da mesma forma foram calculadas e exibidas a seguir as tabelas com os resultados do teste ABX dos músicos 5 (transição 51 do excerto 2) e 6 (transição 3 do excerto 1):

Tabela 5 – Melhores e piores takes: músico 5, transição 51

		Pior take				Soma
		1	2	3	4	
Melhor take	1	0	13	16	18	47
	2	20	0	20	18	58
	3	19	17	0	16	52
	4	21	11	18	0	50
	Soma	60	41	54	52	207

Tabela 6 – Melhores e piores takes: músico 6, transição 3

		Pior take				Soma
		1	2	3	4	
Melhor take	1	0	2	28	22	52
	2	22	0	36	35	93
	3	9	2	0	4	15
	4	14	3	35	0	52
	Soma	45	7	99	61	212

É possível observar que o sujeito 4 foi mais difícil de se individualizar cada take do que os outros dois músicos, indicando uma maior consistência e igualdade entre cada

take. Isso fez com que os ouvintes errassem mais ouvindo esse clarinetista. Também é válido observar os resultados do teste ABX deste sujeito com os do sujeito 6 que executou a mesma transição: para este sujeito a individualização de cada take foi facilitada já que não houve tanta invariabilidade quanto o sujeito 4, possibilitando aos ouvintes identificar os takes com mais facilidade.

Os Índices ABX de cada take dos músicos 5 e 6 foram calculados seguindo a mesma equação utilizada para o músico 4.

$$I_{ABX_{5,1}} = \frac{47}{47+60} = \frac{47}{107} = 0,4392523$$

$$I_{ABX_{5,2}} = \frac{58}{58+41} = \frac{58}{99} = 0,5858586$$

$$I_{ABX_{5,3}} = \frac{52}{52+54} = \frac{52}{106} = 0,490566$$

$$I_{ABX_{5,4}} = \frac{50}{50+52} = \frac{50}{102} = 0,4901961$$

$$I_{ABX_{6,1}} = \frac{52}{52+45} = \frac{52}{97} = 0,5360825$$

$$I_{ABX_{6,2}} = \frac{93}{93+7} = \frac{93}{100} = 0,93$$

$$I_{ABX_{6,3}} = \frac{15}{15+99} = \frac{15}{114} = 0,1315789$$

$$I_{ABX_{6,4}} = \frac{52}{52+61} = \frac{52}{113} = 0,460177$$

Tendo sido finalizados os cálculos dos Índices ABX dos 3 músicos e de seus 4 takes, partimos agora para ranqueá-los, conforme justificado no capítulo 3 Materiais e Métodos.

O resultado dos Índices ABX de cada take e seus respectivos ranques, para o músico 4, estão resumidos na tabela a seguir. Do menor valor do Índice ABX, para o maior, os takes foram recebendo valores de 1 a 4 no ranque.

Tabela 7 – Índice e Ranque ABX: músico 4, transição 3

Take	Índice ABX	Ranque ABX
1	0,5455	2
2	0,6042	3
3	0,6211	4
4	0,2703	1

Da mesma forma, foram construídas as tabelas análogas, referentes aos takes dos músicos 5 e 6, exibidas a seguir, respectivamente.

Tabela 8 – Índice e Ranque ABX: músico 5, transição 51

Take	Índice ABX	Ranque ABX
1	0,4393	1
2	0,5859	4
3	0,4906	3
4	0,4902	2

Tabela 9 – Índice e Ranque ABX: músico 6, transição 3

Take	Índice ABX	Ranque ABX
1	0,5361	3
2	0,93	4
3	0,1316	1
4	0,4602	2

Tendo sido finalizados os cálculos dos Índices ABX e Ranque ABX para cada take e músico, na próxima seção é apresentado o cruzamento destes valores com o Índice de Esteban.

4.2.1.3 Associação entre o Índice de Esteban e Índice e Ranque ABX

São acrescentados às últimas tabelas do capítulo anterior (tabelas de Índice e Ranque ABX de cada take para cada músico), os respectivos Índices e Ranques de Esteban. A seguir a tabela resultante do músico 4 novamente executando a transição 3 do excerto 1.

Tabela 10 – Índices e Ranque ABX e de Esteban: músico 4, transição 3

Take	Índice ABX	Ranque ABX	Índice de Esteban	Ranque de Esteban
1	0,5455	2	0,7683	2
2	0,6042	3	0,7813	3
3	0,6211	4	0,8523	4
4	0,2703	1	0,7424	1

A tabela 10 mostra que os ranques ABX e de Esteban para o músico 4 coincidem, indicando uma correlação ordinal perfeita que mostra aparentemente que os ouvintes validaram a qualidade do legato da mesma forma que o índice Maestre-Gómez, concordando entre si.

Os resultados das correlações paramétrica de Pearson e não paramétrica de Spearman foram $r = 0$ e $\rho = 1$, que apesar de altos, apresentaram valores-p de 0,272 e 0,083, indicando em ambos os casos uma associação não estatisticamente significativa.

A correlação de Spearman é uma correlação por postos (ranques), e isso justifica o resultado ter sido uma correlação perfeita. No entanto, é importante notar que com uma amostra de apenas 4 observações, mesmo um resultado de correlação amostral perfeita ainda não é o suficiente para que o resultado seja estatisticamente significativo para a correlação de Spearman.

Igualmente foram confeccionadas as tabelas conjuntas dos Índices ABX e de Esteban e seus respectivos Ranques para os músicos 5 e 6. A seguir, os dados do músico 5.

Tabela 11 – Índices e Ranque ABX e de Esteban: músico 5, transição 51

Take	Índice ABX	Ranque ABX	Índice de Esteban	Ranque de Esteban
1	0,4393	1	0,7087	1
2	0,5859	4	0,8875	3
3	0,4906	3	0,992	4
4	0,4902	2	0,8697	2

A tabela 11 mostra uma discordância entre o índice ABX e o índice de Esteban entre os takes 2 e 3, tendo este take apresentado um Índice de Esteban maior do que era de se esperar, segundo o Índice ABX. Os ouvintes e o Índice de Esteban “concordaram” entre si nos takes 1 e 4. As correlações calculadas, ao contrário da análise visual do gráfico, resultaram em fortes correlações: $r = 0,474$ e $\rho = 0,8$. Os valores-p, entretanto, de 0,526 e 0,333 como era de se esperar, não indicaram uma associação estatisticamente significativa.

O take 2 foi o melhor no teste ABX e o segundo melhor no Índice de Esteban, exatamente o oposto do take 3.

Por fim, seguiu-se a tabela com os Índices ABX e de Esteban e seus respectivos Ranques, para os takes do músico 6 na transição 3.

Tabela 12 – Índices e Ranque ABX e de Esteban: músico 6, transição 3

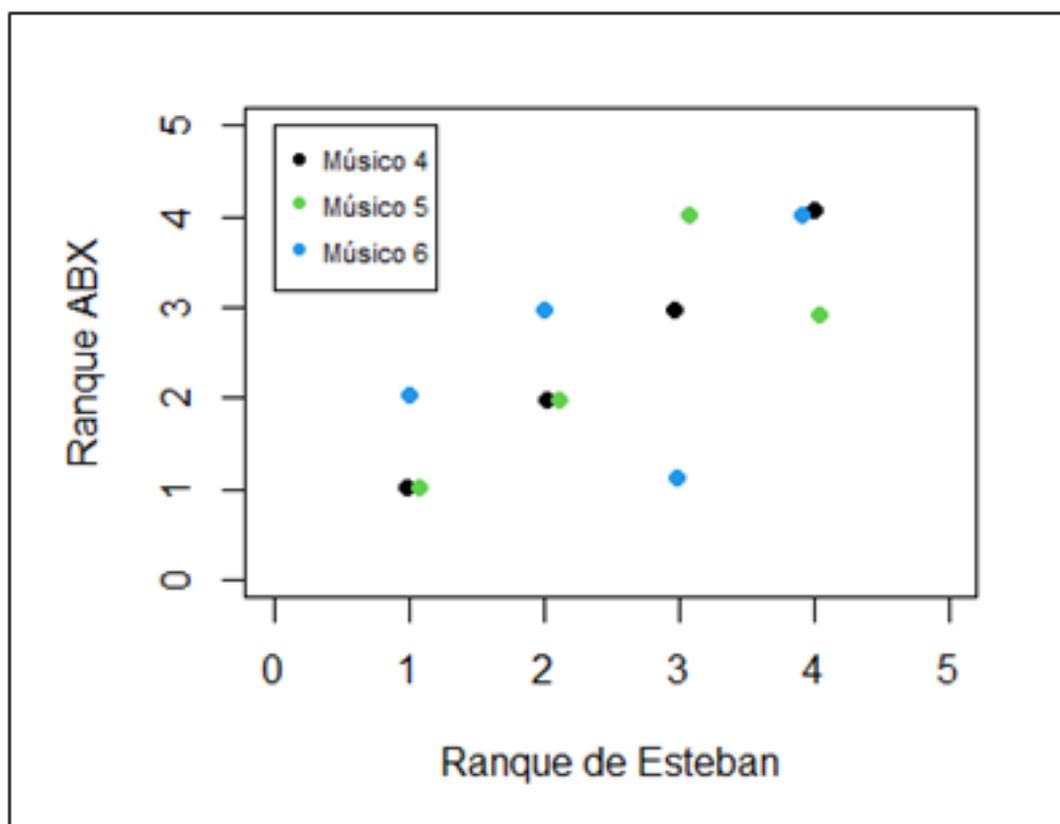
Take	Índice ABX	Ranque ABX	Índice de Esteban	Ranque de Esteban
1	0,5361	3	0,7656	2
2	0,93	4	0,9191	4
3	0,1316	1	0,7704	3
4	0,4602	2	0,7255	1

Analisando a tabela 12, percebe-se que Índice de legato corrobora com a opinião dos ouvintes apenas com relação ao take 2 cuja transição 3 foi considerada a mais ligada desse sujeito. Observa-se também que os ouvintes avaliaram a transição 3 do take 3 como a menos ligada. No entanto, esta transição teve o segundo melhor índice de legato. As correlações foram $r = 0,766$ e $\rho = 0,4$, com um valor-p de 0,234 e 0,75.

É possível observar que o take 3 foi excepcional. Foi o segundo maior valor do Índice de Esteban, mas foi o pior avaliado pelos ouvintes no Índice ABX. Esta aparente contradição entre os dados é confrontada com as informações cinemáticas e descrita na seção 4.3.1 (Características cinemáticas do Conjunto 1).

Por último, é exibido o gráfico de dispersão dos Ranques de Esteban e ABX dos 4 takes dos músicos 4, 5 e 6 conjuntamente. Os pontos pretos representam o músico 4, os verdes o músico 5 e os azuis o músico 6. Para ser possível visualizar todos os pontos, uma vez que haveriam pontos sobrepostos no gráfico, foi adicionado a cada ponto um pequeno ruído aleatório com distribuição normal de média 0 e desvio padrão 0.05.

Figura 16 – Ranque de Esteban vs Ranque ABX: músicos 4, 5 e 6



Sabendo-se que as distribuições marginais dos Ranques ABX e de Esteban não são normais, não se pode utilizar a correlação de Pearson para testar a hipótese de associação estatisticamente significativa. Assim, a correlação de Spearman acima foi $\rho = 0,733$, com um valor-p de 0,007, indicando significância estatística entre os ranques de Esteban e ABX.

Isto demonstra a importância de se avaliar conjuntamente as observações dos 3 músicos, uma vez que individualmente, nenhuma correlação havia sido estatisticamente significativa, devido ao tamanho amostral. Desta vez, mesmo com apenas 12 observações, já foi possível provar a associação estatística entre os Índices.

4.2.2 Conjunto de transições 2

Como descrito na subseção 3.1 (Protocolo do experimento) o Conjunto 2 compreende as transições 17 a 22 do excerto 1. Esse conjunto é formado por 192 transições possíveis (8 clarinetistas x 4 takes x 6 transições). Para cada sujeito tem-se um conjunto de 24 transições nos quatro takes, 12 ascendentes (transições ímpares 17, 19 e 21) e 12 descendentes (pares 18, 20 e 22). No entanto, alguns clarinetistas respiraram onde há indicação de legato, especialmente entre as transições 19 e 21 e, por esse motivo, o total de transições válidas

para o Conjunto 2 é 170 já que foram excluídas 22 transições ascendentes. Isso implica em 74 transições ascendentes e 96 descendentes válidas.

As análises feitas neste grupo utilizaram modelos lineares e correlação não paramétrica de Spearman.

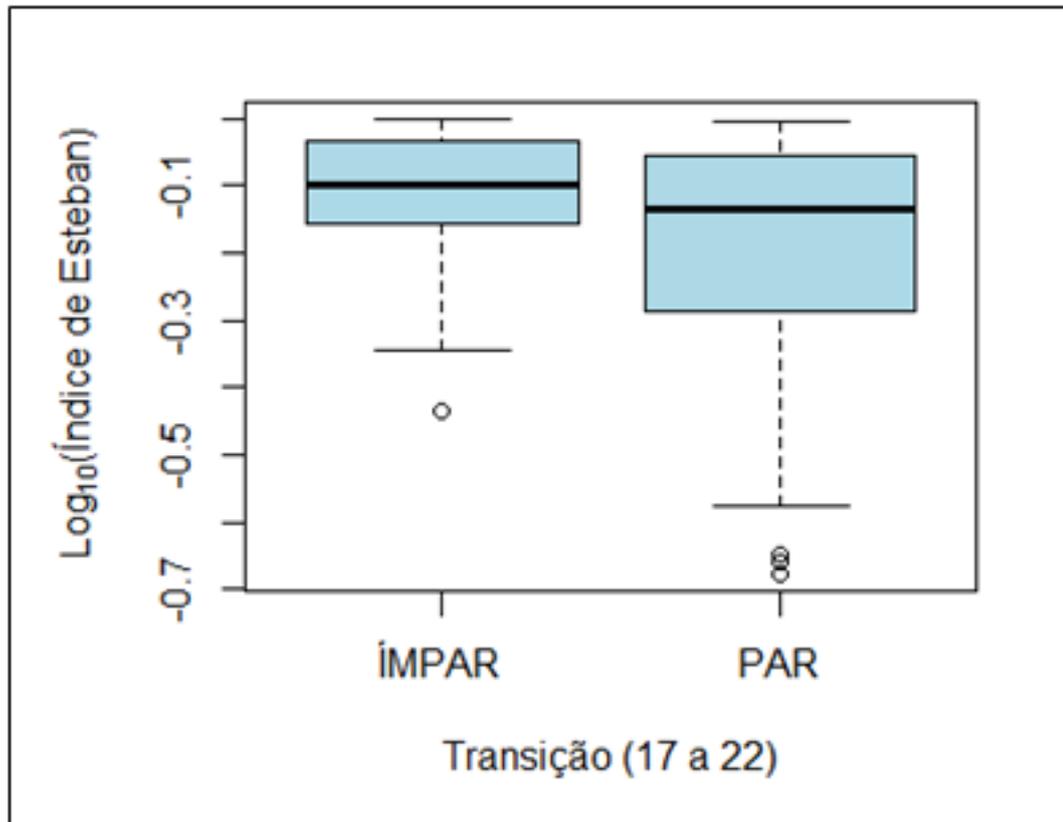
Figura 17 – Conjunto de transições 2

4.2.2.1 Transições ascendentes versus descendentes

Ao compararmos o índice de legato de Esteban entre as transições pares e ímpares é necessário calcular os logaritmos para que seja melhor visualizado. O índice destas transições foi calculado usando-se a regressão linear (MONTGOMERY; PECK, 1992) através da função lm no R.

A Figura 18 apresenta os Índices de Esteban entre as transições ímpares (17, 19 e 21) e pares (18, 20 e 22), isto é, entre os intervalos de terça menor ascendentes e descendentes, respectivamente.

Figura 18 – Log do Índice de legato Esteban em transições ímpares e pares



O Índice de Esteban apresentou valores aparentemente inferiores nas transições pares em relação às ímpares. Aqui, aparentemente as transições pares apresentaram piores Índices de Legato. A média amostral do Índice de Esteban foi de 0,79 para as transições ímpares e de 0,69 para as transições pares.

Foi ajustado um modelo de regressão para o Índice de Esteban:

$$\text{Log}_{10}(\text{Esteban}_{ij}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^8 \beta_{1i} I_{\{M_{sico_i}\}} + \beta_2 I_{\{j_{par}\}} + \epsilon_{ij} \quad (4.4)$$

$$\forall j = 17 : 22$$

Onde i representa o i -ésimo músico, j a j -ésima transição, $I_{\{M_{sico_i}\}}$ a variável Indicadora que recebe o valor 1 para o músico i e 0 caso contrário, $I_{\{Transio_{par_j}\}}$ a variável Indicadora que recebe 1 se a transição j é par e 0 se é ímpar, ϵ_{ij} é o erro aleatório, β_0 é o parâmetro intercepto, β_{1i} são os coeficientes associados a cada músico i e β_2 é o coeficiente associado à transição par. Os parâmetros β_0 e β_{1i} não são de interesse aqui, ao contrário do parâmetro β_2 cujo coeficiente estimado foi $\hat{\beta}_2 = -0.08$. O teste de significância t para β_2 indicou um valor- $p < 0,001$, indicando que podemos rejeitar a hipótese de que $\beta_2 = 0$, isto é, há evidência estatística de que existem diferenças entre as transições pares e ímpares avaliadas, quanto ao Índice de Esteban. Em média, a diferença entre as transições pares e

ímpares é -0,08. Do ponto de vista musical, aparentemente, realizar ligaduras ascendentes é menos desafiador do que as descendentes.

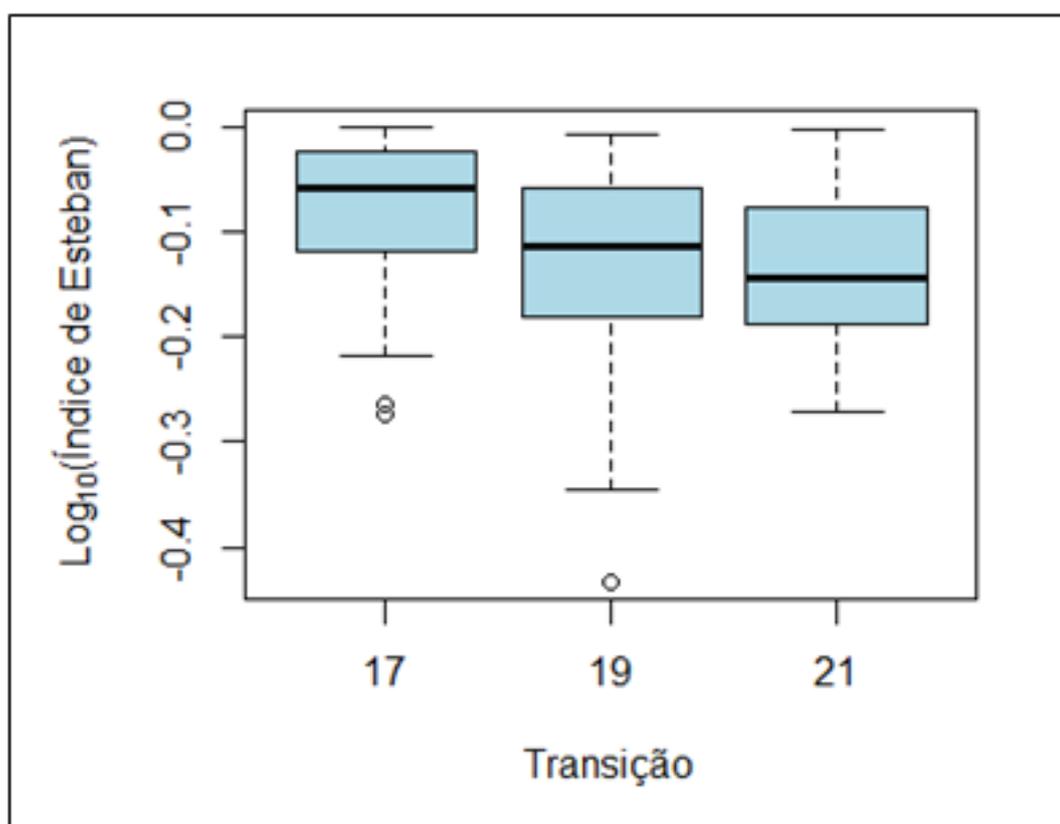
4.2.2.2 Evolução do diminuendo em transições ascendentes

Uma vez evidenciadas as diferenças entre as transições pares e ímpares através do índice de Esteban e assumindo que a dinâmica pode ser um fator determinante para a qualidade do legato, buscou-se verificar se durante a execução do *diminuendo* no final do excerto 1 o legato seria afetado.

Apresenta-se inicialmente a evolução das transições ascendentes.

A Figura 19 mostra a análise feita pelo Índice de Esteban entre as transições ímpares 17, 19 e 21, ou seja, entre os intervalos ascendentes.

Figura 19 – Log do Índice Esteban em transições ímpares



Uma simples análise visual no gráfico mostra que houve um decréscimo entre as transições 17 e 19 e entre as 19 e 21. A média amostral do Índice de Esteban foi de 0,84, 0,76 e 0,74 para as transições ímpares 17, 19 e 21. Isto nos mostra que, aparentemente, o

legato é dificultado quando o clarinetista toca estes intervalos ascendentes enquanto se realiza um *diminuendo*.

O modelo de regressão foi ajustado seguindo as definições anteriores, e considerando temporariamente as transições 17, 19 e 21 como 1, 2 e 3.

$$\text{Log}_{10}(\text{Esteban}_{ij}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^8 \beta_{1i} I_{\{M_{sico_i}\}} + \beta_2 * j + \epsilon_{ij} \quad (4.5)$$

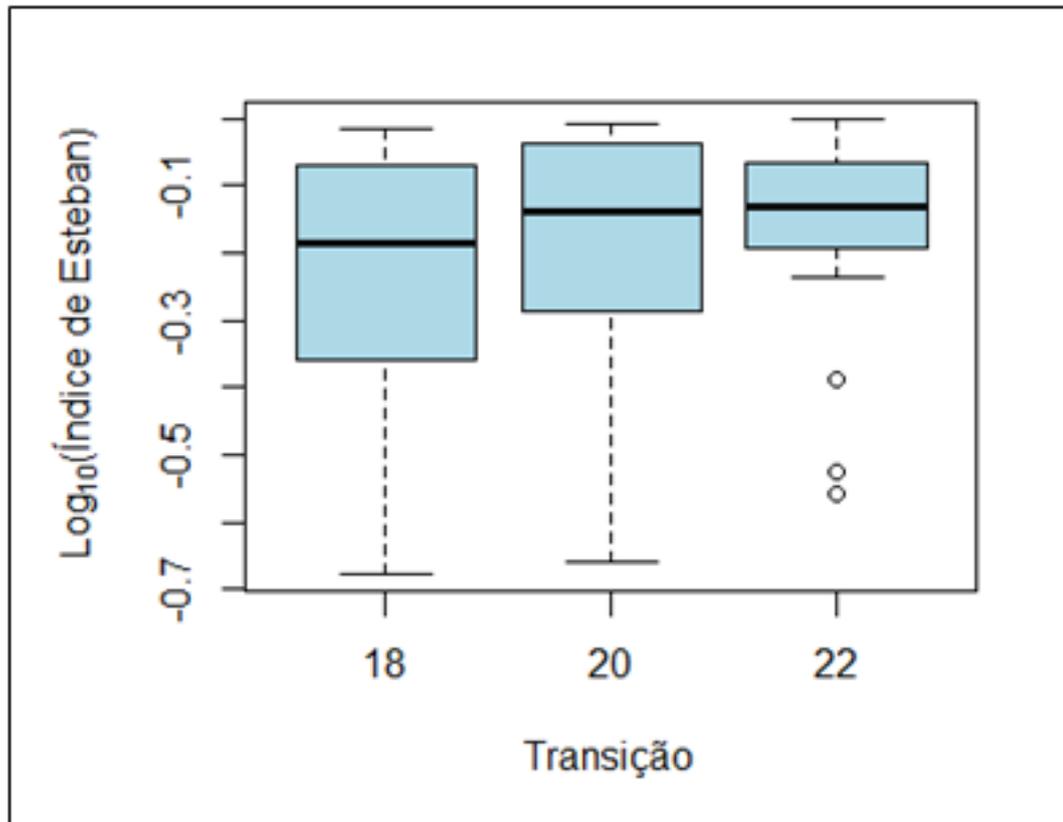
$$\forall j = \{1, 2, 3\}$$

A interpretação do modelo acima é a mesma dos anteriores, e o coeficiente estimado $\hat{\beta}_2$ foi $\hat{\beta}_2 = -0,03$, indicando que o Índice de Esteban diminui entre as transições ímpares em média nesta magnitude. O teste de significância t para β_2 gerou um valor-p=0,021, indicando que a associação é estatisticamente significativa, ou seja, podemos rejeitar a hipótese de que $\beta_2 = 0$. Mais uma vez, contudo, é importante ressaltar que a maior diferença foi observada da transição 17 para a 19, e não da 19 para a 21.

4.2.2.3 Evolução do diminuendo nas transições descendentes

A seguir, apresenta-se a evolução do Índice de Esteban nas transições pares 18, 20 e 22 (descendentes) em função do *diminuendo* final do excerto 1.

Figura 20 – Log do Índice de Esteban em transições pares



Embora de maneira discreta, é possível visualizar um aumento sutil dos valores do Índice de Esteban nas transições pares. A média amostral do Índice de Esteban foi de 0,63, 0,7 e 0,73 para as transições pares 18, 20 e 22.

O modelo de regressão ajustado seguiu as definições anteriores, considerando temporariamente novamente as transições 18, 20 e 22 como 1, 2 e 3.

$$\text{Log}_{10}(\text{Esteban}_{ij}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^8 \beta_{1i} I_{\{M_{sico_i}\}} + \beta_2 * j + \epsilon_{ij} \quad (4.6)$$

$$\forall j = \{1, 2, 3\}$$

O coeficiente estimado $\hat{\beta}_2$ foi $\hat{\beta}_2 = 0,04$, indicando que o Índice de Esteban aumentou entre as transições pares em média nesta magnitude. O teste de significância t para β_2 indicou um valor- $p=0,015$, indicando que a associação é estatisticamente significativa, ou seja, podemos rejeitar a hipótese de que $\beta_2 = 0$. O aumento médio do Índice de Esteban ao longo das transições pares observado na amostra pode ser extrapolado para a população.

As características cinemáticas dos dedos associadas a estas transições descendentes apresentaram peculiaridades que, como será demonstrado na seção 4.3.2 (Características cinemáticas do Conjunto 02) e especialmente na seção 4.4 (Diversidade e

Comunalidade na performance dos clarinetistas) indicam que essa evolução do diminuendo apresentada aqui também ocorre em função dos movimentos dos dedos dos clarinetistas.

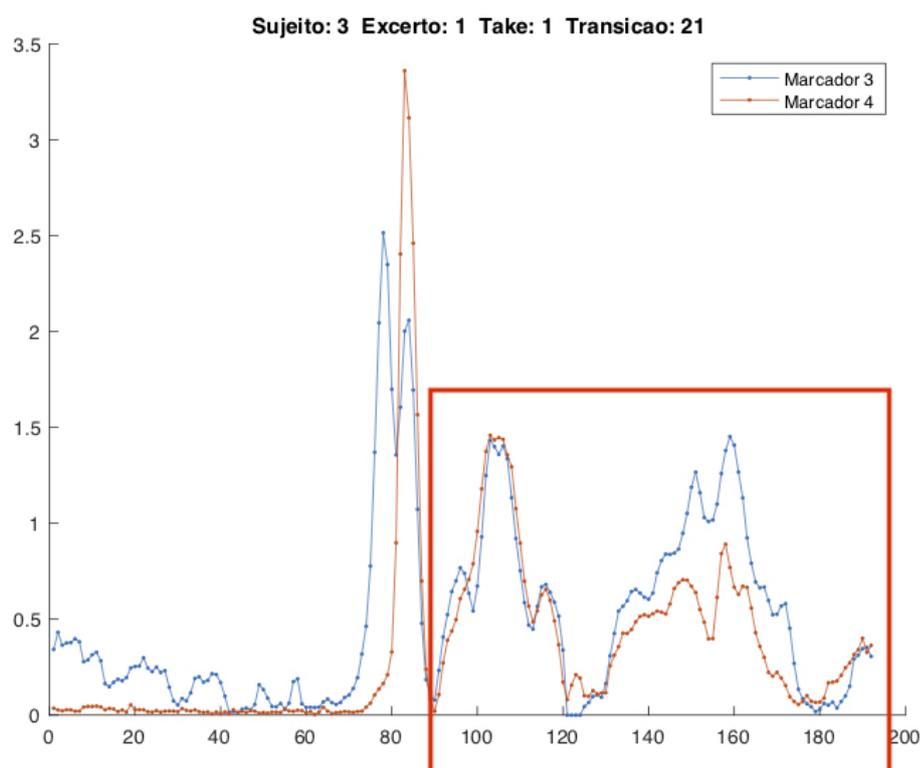
4.3 Características cinemáticas

As características dos movimentos dos dedos dos clarinetistas serão aqui analisadas através da representação da velocidade e da aceleração ao longo do tempo nas transições selecionadas.

Ao observar os padrões da representação da velocidade e da aceleração, é possível concluir se os dedos estão se levantando ou abaixando, assim como obter visualmente informações sobre qual dedo foi mais veloz, se os picos de velocidade e aceleração foram síncronos ou não e também a ordem em que ocorreram.

A Figura 21 mostra uma transição ascendente onde é possível observar o comportamento de dois dedos “soltos” no ar após atingir o pico de velocidade na transição.

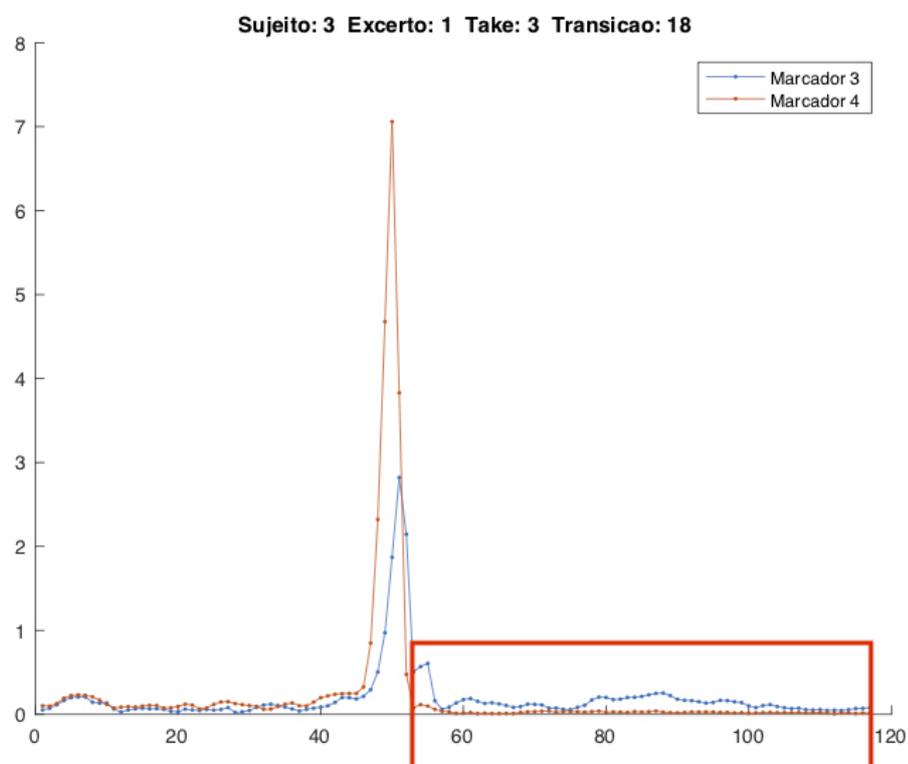
Figura 21 – Perfil de velocidade de dois marcadores em transição ascendente



Nesta figura o eixo Y representa a velocidade dos marcadores e o X o tempo; cada ponto desse eixo equivale a 10ms (1000ms/100hz da taxa de amostragem dos marcadores).

A próxima imagem mostra uma transição descendente onde se pode observar os dedos praticamente imóveis em contato com o instrumento.

Figura 22 – Perfil de velocidade de dois marcadores em transição descendente



Da mesma forma é possível obter informações através do perfil da aceleração dos marcadores e esta informação serviu para confirmar o perfil de velocidade dos marcadores. As duas imagens seguintes mostram a mesma transição executada pelo mesmo músico no mesmo take, porém, a primeira, figura 23, mostra a aceleração dos dedos médio e indicador da mão direita, enquanto a segunda, figura 24, mostra a velocidade.

Figura 23 – Perfil da aceleração de dois marcadores

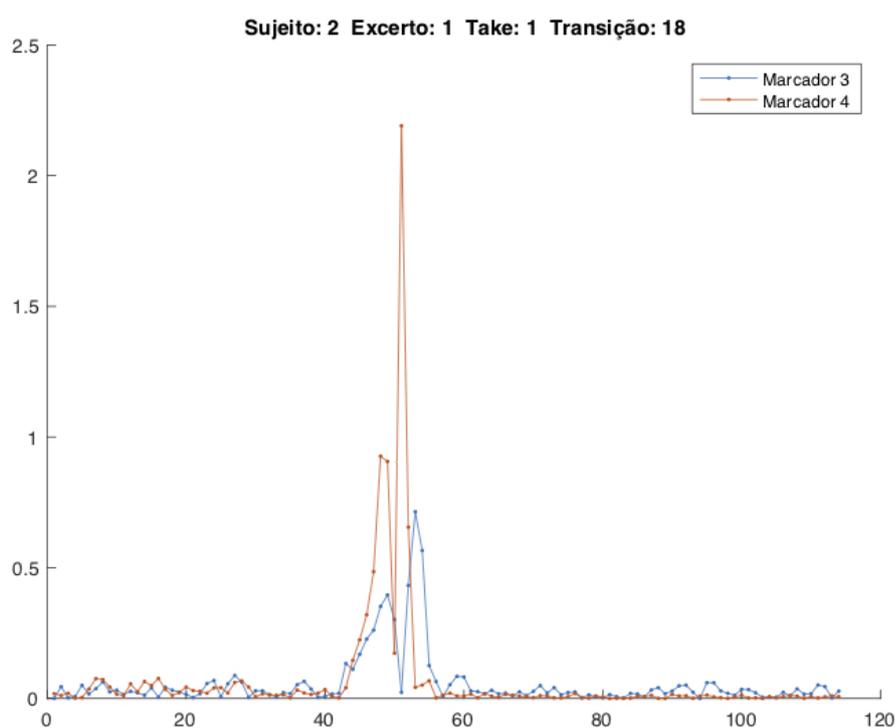
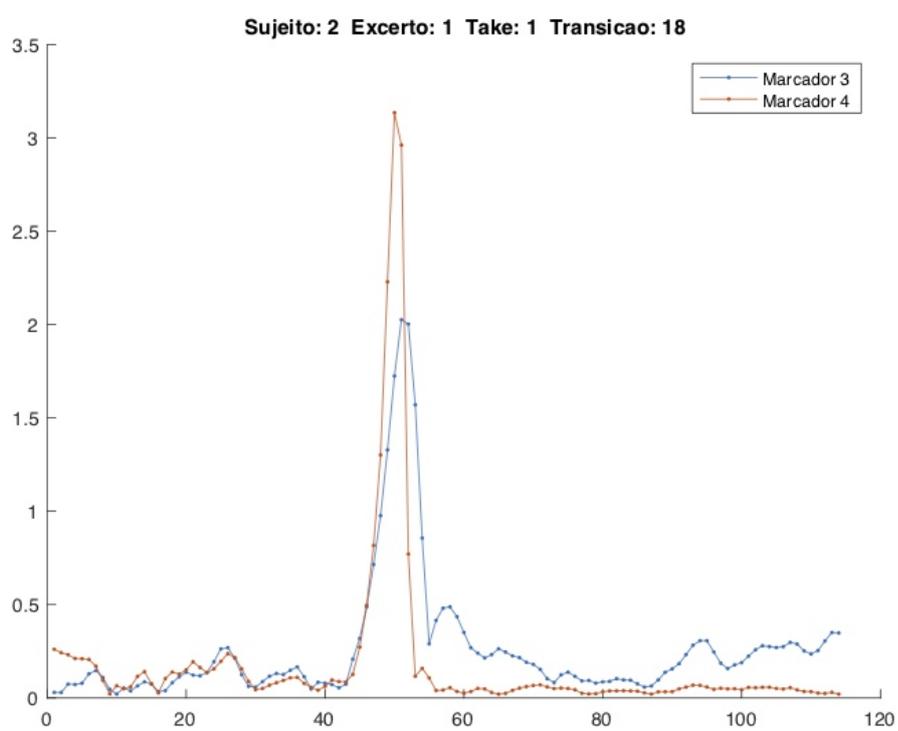


Figura 24 – Perfil da velocidade confirmado pelo de aceleração anterior

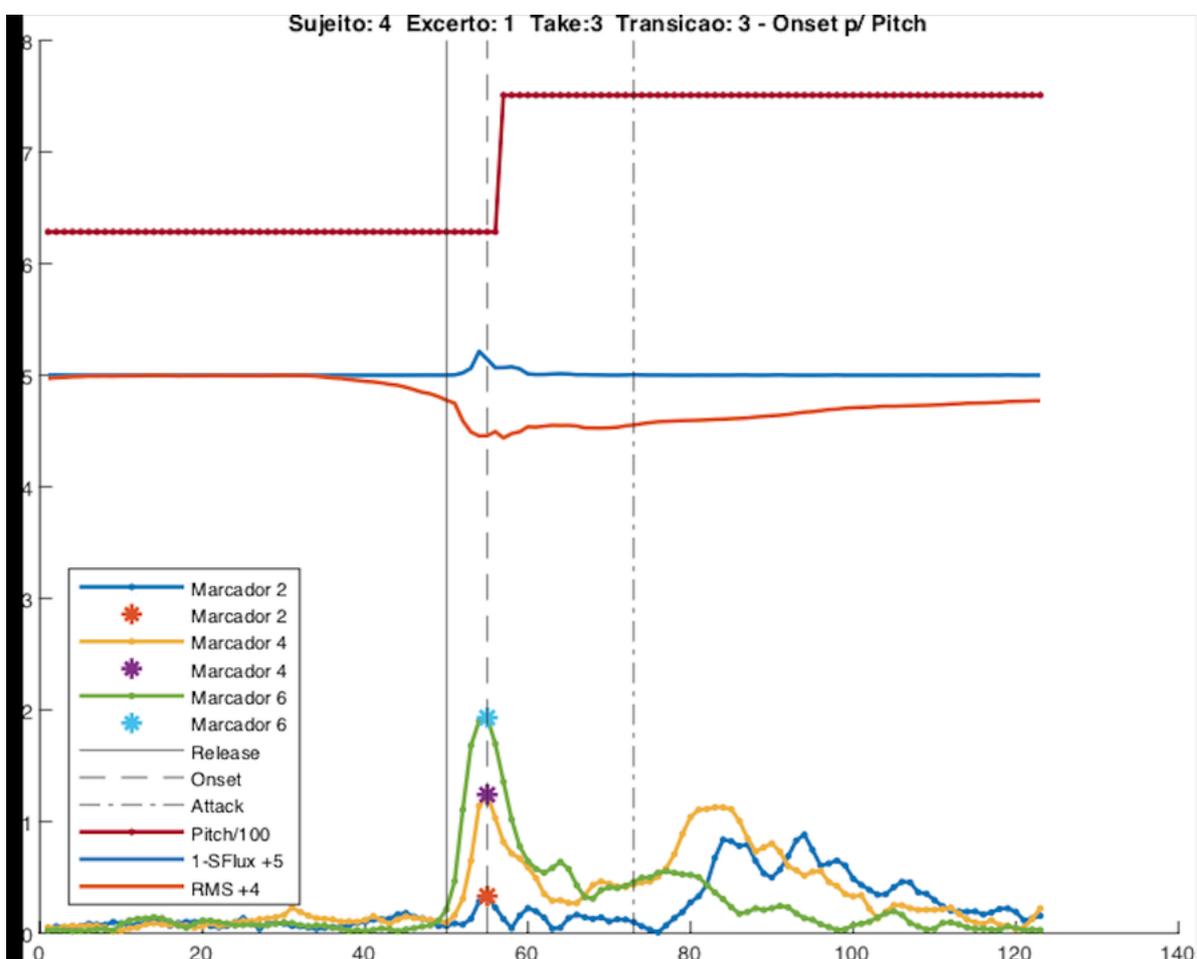


4.3.1 Características cinemáticas do Conjunto 1

Serão discutidas as peculiaridades dos movimentos dos dedos através da velocidade observadas nos sujeitos que tiveram algumas transições selecionadas para o teste ABX. Iniciaremos com o clarinetista 4 executando a transição 3 do excerto 1.

Este músico apresentou no take 3 a maior sincronia dos dedos envolvidos na transição 3. Como observado na tabela 10 que consta na seção 4.2.1.3 (Associação entre o Índice de Esteban e Índice e Ranque ABX), esta transição neste take foi considerada a mais ligada deste sujeito tanto pelo Índice de legato quanto pelos ouvintes do teste. A seguir, o pico da velocidade do perfil dos marcadores em total sincronia.

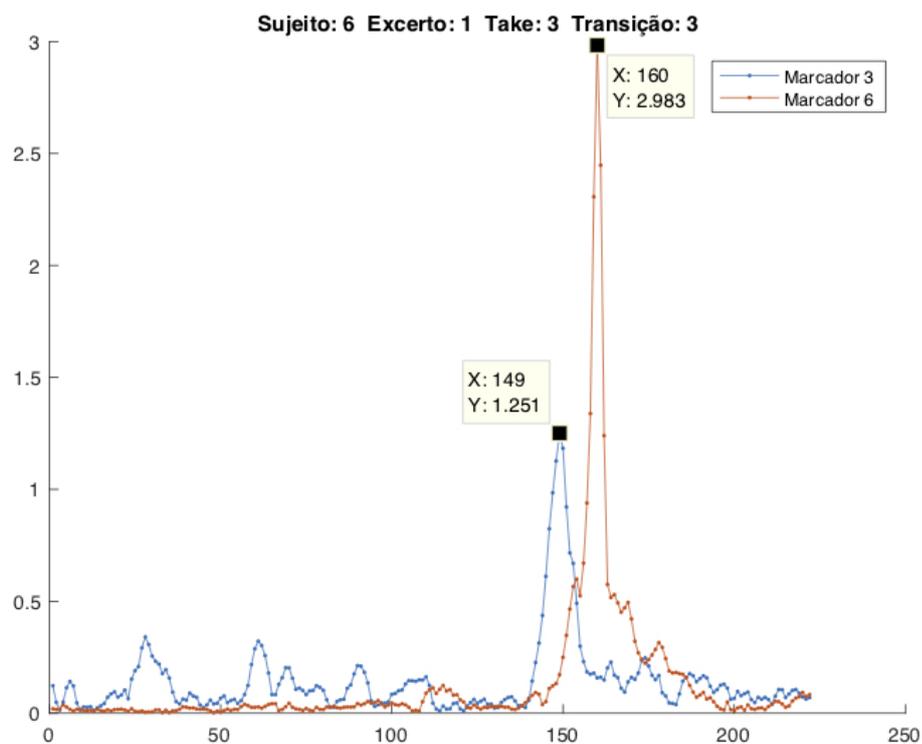
Figura 25 – Sincronia dos picos de velocidade do sujeito 4



A figura seguinte apresenta a diferença entre os picos de velocidade dos dedos médio da mão direita e o anelar da esquerda enquanto o clarinetista 6 toca a transição 3 do excerto 1 (terça menor ascendente). É possível observar a falta de sincronia entre eles. Este foi considerado o pior legato pelos ouvintes e é possível observar a atraso de

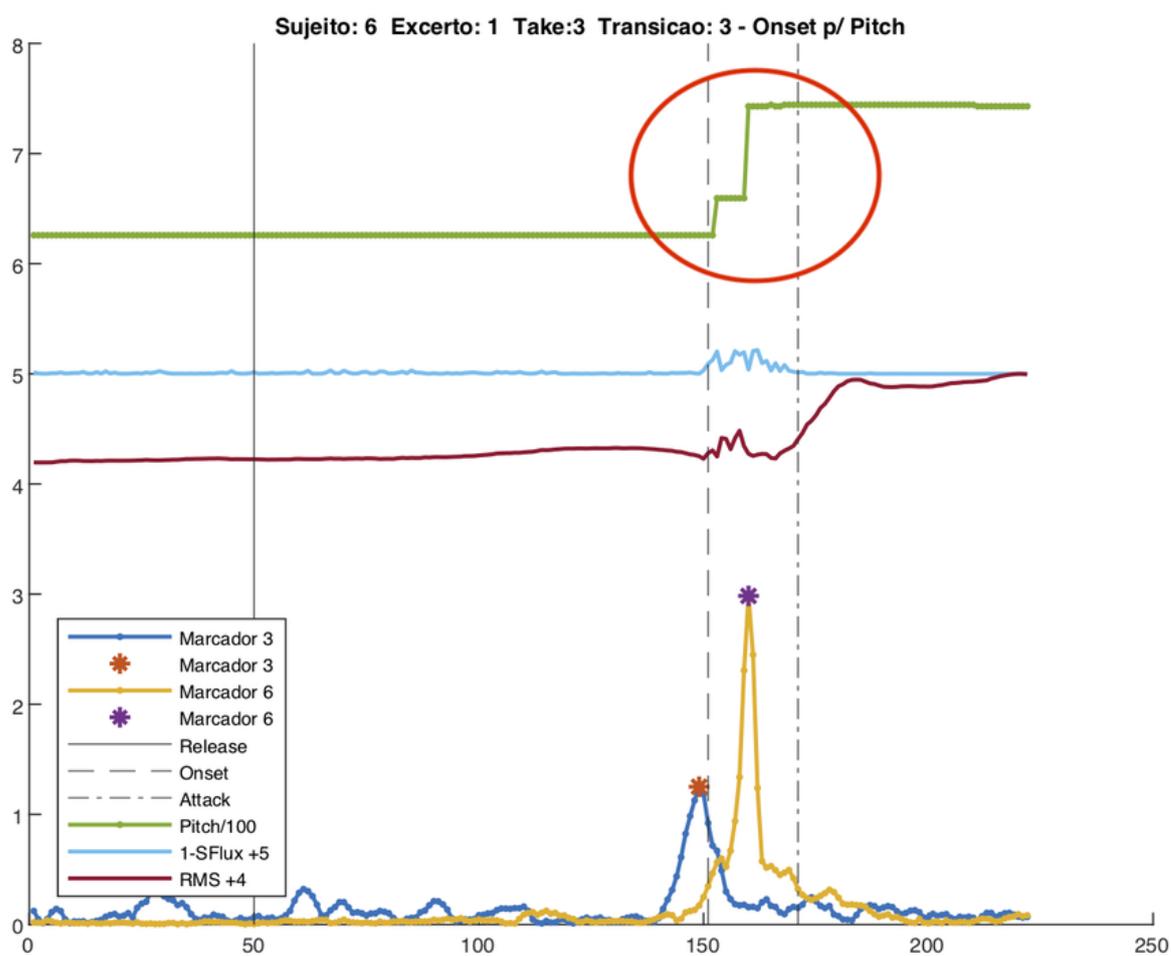
110 milissegundos entre os picos, o que é equivalente a aproximadamente a duração de uma fusa com a semínima a 60MM (facilmente perceptível para os músicos). Pode-se dizer que, musicalmente falando, o clarinetista tocou uma apogiatura em glissando entre as duas notas do intervalo.

Figura 26 – Perfil de velocidade do marcadores 3 e 6 do sujeito 6



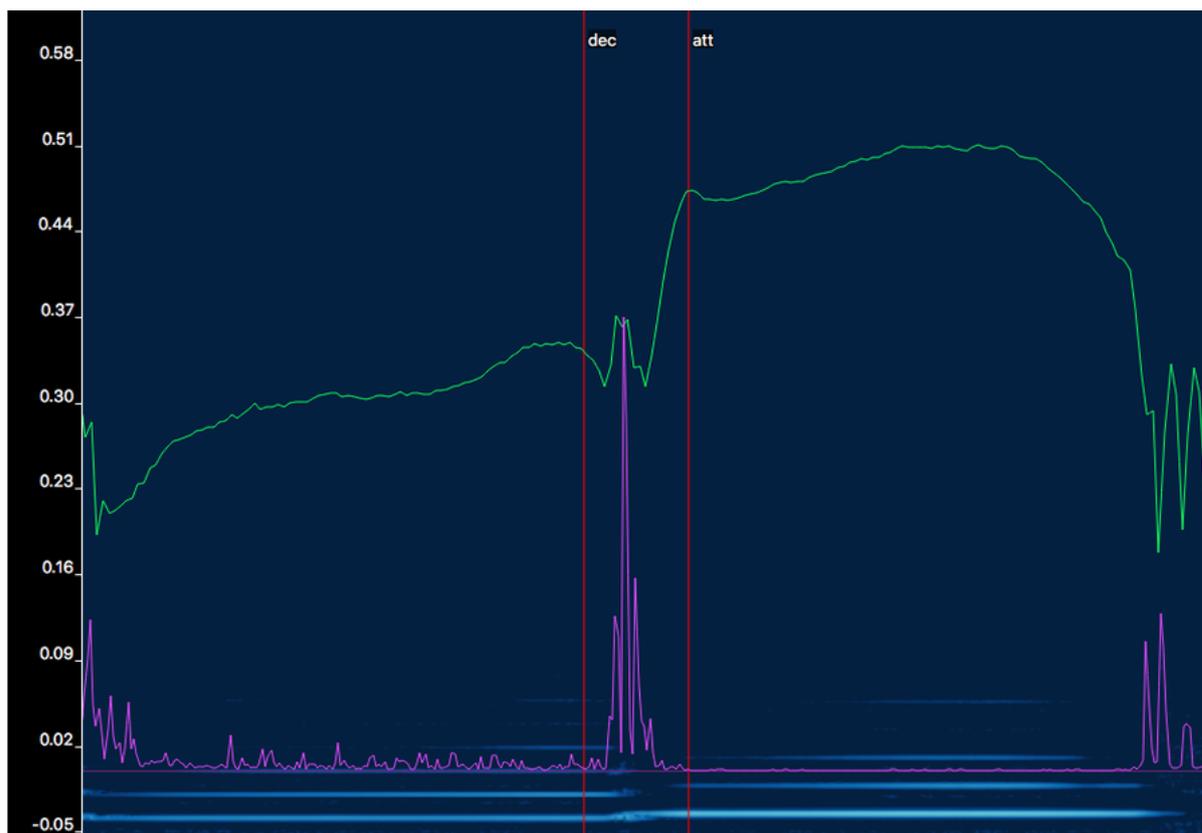
Ainda com relação à pior ligadura do sujeito 6 na transição 3, é possível observar na figura a seguir um “degrau” na linha do *pitch* durante a realização do intervalo. Isto fez com que os ouvintes do teste ABX ranqueassem este take como o pior legato deste clarinetista (ao final do teste, alguns comentaram que este foi o pior legato entre todas as transições ouvidas e não só deste clarinetista). É possível que isto possa ter causado um valor discrepante do Índice de Esteban já que o conteúdo harmônico pode ter sido acrescentado à transição com a apogiatura/glissando que foi criado.

Figura 27 – Legato defeituoso fruto da assincronia entre os dedos



Esta característica fica evidente ao observarmos a curva da energia RMS (linha verde) na próxima figura. É possível observar a variação da energia durante a transição. A linha roxa mostra a evolução do fluxo espectral normalizado.

Figura 28 – Curva de energia RMS da transição 3



Esta transição foi considerada no teste ABX a pior desse sujeito, mas não o foi pelo Índice de Esteban tendo sido, aliás, considerada a segunda melhor por este índice. Analisando o perfil de velocidade dos dedos, observa-se que esta foi a transição onde houve a maior assincronia entre os marcadores e verificando o intervalo auditivamente é possível confirmar que o músico realizou uma espécie de glissando (<https://drive.google.com/file/d/1fYgi-QXGUyQxHU9KZfASJCx90IWGXeu5/view?usp=sharing>).

Com relação ao sujeito 5, que executou a transição descendente usada no teste ABX, é possível perceber auditivamente, mas de forma sutil, algo semelhante ao glissando/appoggiatura realizado pelo clarinetista 6 descrito anteriormente e esta característica, mais uma vez, causou discrepâncias entre o resultado do teste ABX e o Índice de Esteban. Como é possível observar na tabela 11, página 53, a transição 51 do take 2 foi considerada tendo o melhor legato pelos ouvintes, mas pelo Índice de Esteban o melhor legato aconteceu no

take 3.

Essa discrepância mais uma vez é confrontada tanto auditivamente quanto a partir do perfil de velocidade dos dedos na transição. Como mostram as duas figuras a seguir, no take 2 o dedo anelar da mão esquerda atingiu uma velocidade superior produzindo auditivamente um barulho acentuado, no entanto, no take 3 o clarinetista decidiu usar três dedos ao invés de dois, criando uma pequena assincronia.

Figura 29 – Melhor transição pelos ouvintes

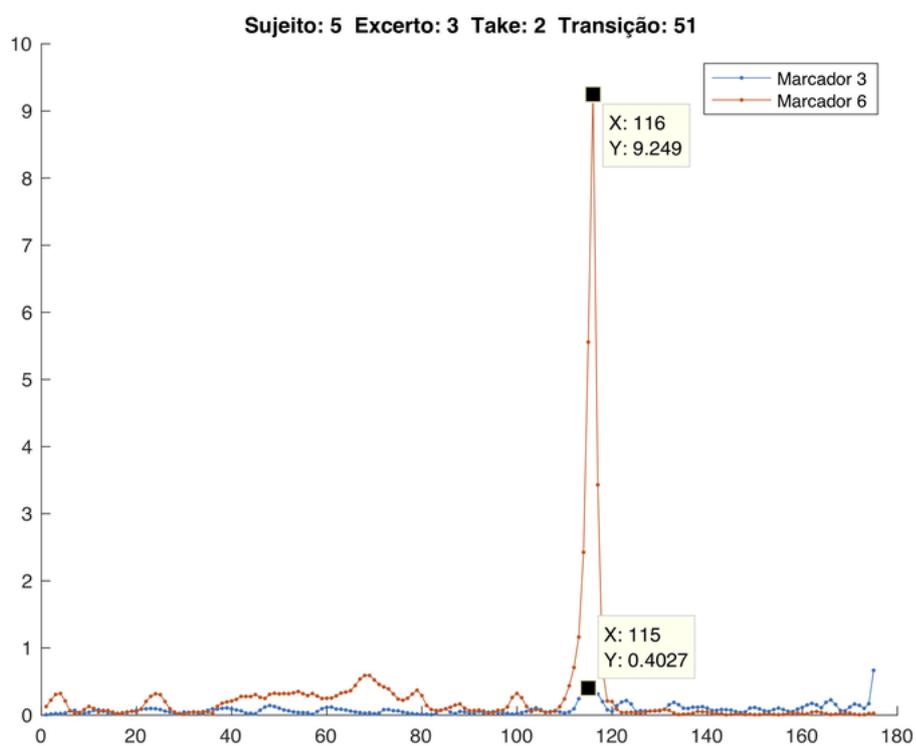
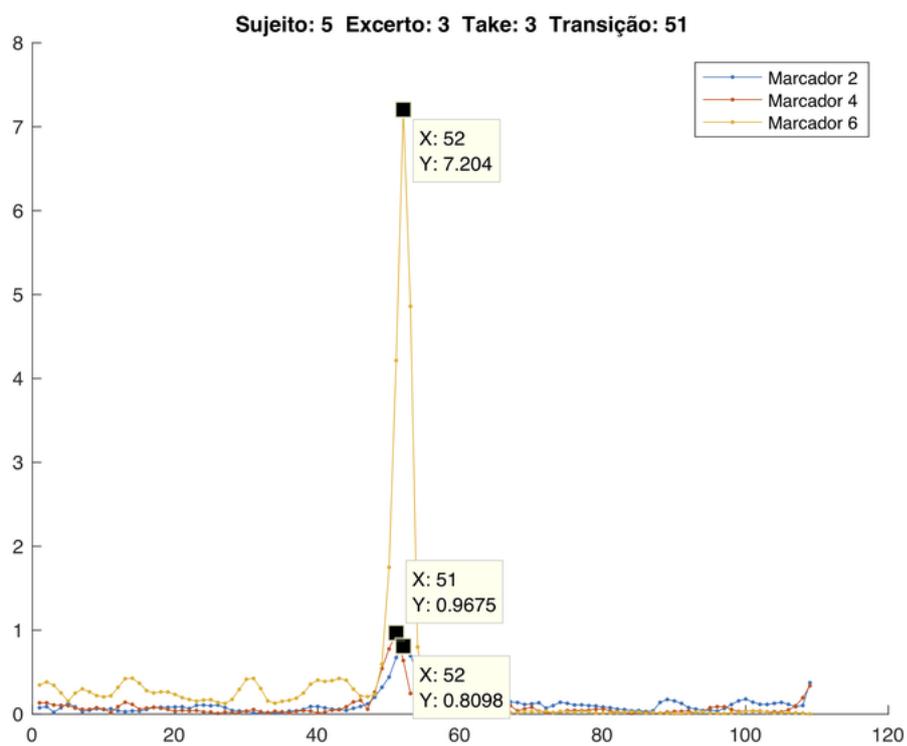


Figura 30 – Melhor transição pelo Índice de Esteban



4.3.2 Características cinemáticas do Conjunto 2

Com o intuito de observar os mesmos gestos em momentos diferentes nas execuções, foram analisadas as transições do Conjunto 2, isto é, as transições 17 a 22 do excerto 1¹ tendo como foco os picos de velocidade e aceleração dos dedos envolvidos diretamente nas transições. Estes são os dedos que efetivamente alteram as frequências no tubo e executam as notas escritas na partitura. Nestas transições, os músicos levantam e abaixam os dedos médio e indicador da mão direita, isto é, os marcadores 3 e 4, respectivamente e é esperado pelos clarinetistas que o dedo mais veloz seja aquele mais próximo à boquilha nos saltos ascendentes e o mais afastado nos saltos descendentes. Inclusive, são ensinados por alguns professores, exercícios de mecanismo onde o aluno deve, deliberadamente, movimentar os dedos de forma assíncrona, obedecendo à ordem de movimentação descrita acima, com a intenção de padronizar os movimentos quando executar o intervalo no andamento desejado.

Sobre as transições ascendentes analisadas (ímpares) foi mencionado que este grupo foi reduzido já que alguns músicos precisaram respirar durante as transições ligadas 19 ou 21, somando 22 transições inválidas para a análise do índice de legato.

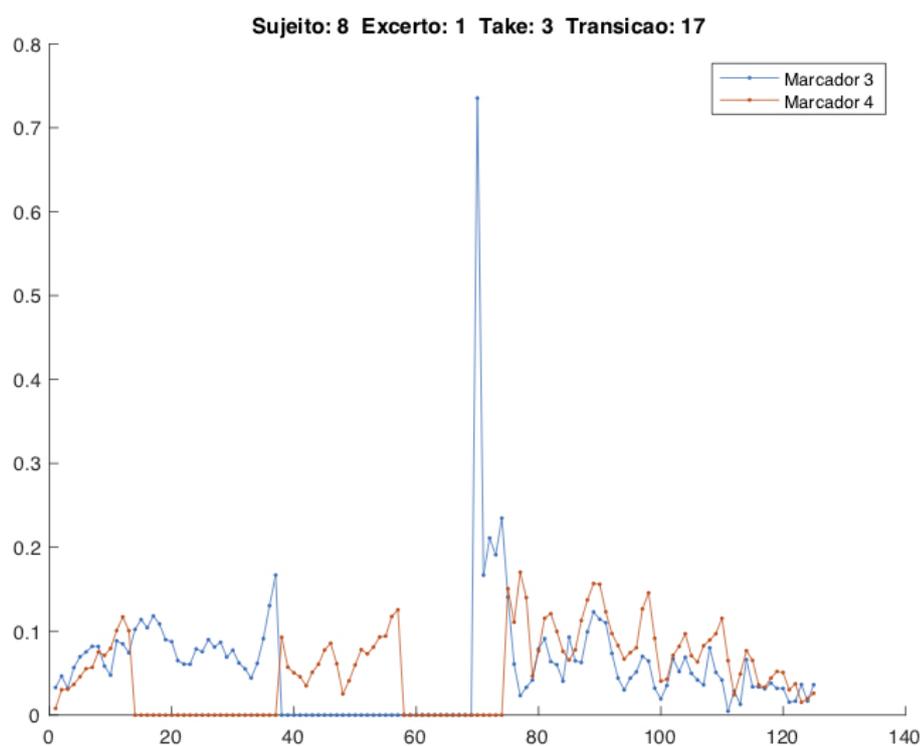
Para a análise dos movimentos dos dedos também será necessário excluir outras 8 transições ascendentes onde houve perda dos marcadores totalizando, então, 66 transições. Destas oito, 7 foram feitas pelo sujeito 8. Este músico usa uma “fôrma” de mão mais arredondada do que os demais, cujos dedos, por estarem muito curvados fizeram com que boa parte dos marcadores fossem perdidos durante a captura dos movimentos. Harger (HARGER, 2011) afirma que essa é uma característica de músicos com as mãos muito grandes que faz os clarinetistas naturalmente curvarem os dedos ao tocar.

Além destas transições ascendentes, das 96 descendentes possíveis, 12 tiveram perda de marcador. Com isso, para a análise dos movimentos, tem-se 150 transições válidas onde 66 são ascendentes e 84 são descendentes.

Dentre as 12 transições descendentes com perda de marcador, mais uma vez, o sujeito 8 teve 7 transições inutilizadas.

¹ Trata-se de uma sequência de intervalos ascendentes e descendentes mi5-sol5 e sol5-mi5, escritos para clarinete em lá, em *diminuendo*. Para realizar essas transições os clarinetistas devem levantar os dedos médio e indicador da mão direita (marcadores 3 e 4, respectivamente) para a transição ascendente e abaixá-los para a transição descendente.

Figura 31 – Perda de marcadores durante a captura dos movimentos

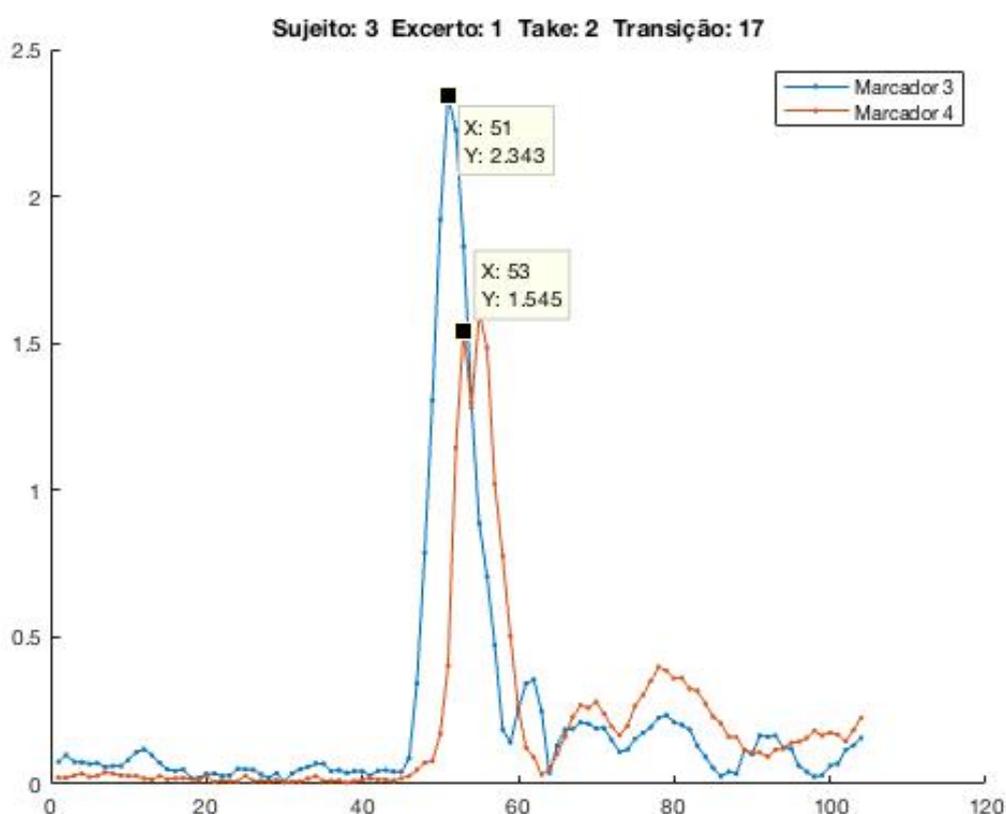


Na maioria das 66 transições ascendentes válidas, como era de se esperar, o marcador 4 (indicador da mão direita) foi o mais veloz, porém, o marcador 3 (dedo médio) foi mais veloz em 6 transições válidas:

suj3ex1tk2tr17
suj3ex1tk4tr17
suj4ex1tk1tr19
suj7ex1tk1tr17
suj7ex1tk3tr21
suj7ex1tk4tr21

Isto resulta em quase 10% (9,09%) das transições válidas para o movimento e como é notório, destas seis, três foram realizadas pelo sujeito 7.

Figura 32 – Dedo médio mais rápido do que o indicador em transição ascendente

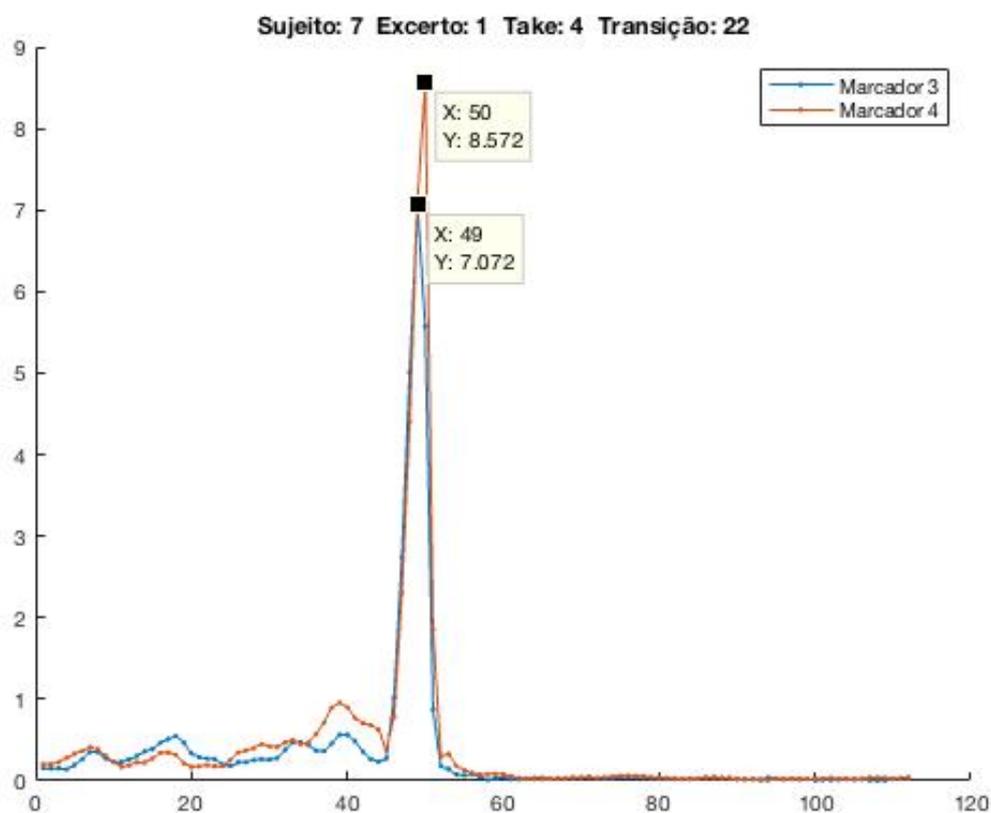


Já nas 84 transições descendentes válidas, em nenhuma delas o dedo médio foi mais veloz do que o indicador e na maior parte destas houve assincronia de apenas 10ms entre o marcador 3 e 4. Isto mostra que a sincronia entre os picos de velocidade nas transições descendentes analisadas, é geralmente maior do que aquelas ascendentes, como será melhor apresentado na seção 4.4 (Diversidade e Comunalidade na performance dos clarinetistas).

Isto significa que, já que nas transições ascendentes (ímpares) que envolvem os dedos indicador e médio da mão direita, cerca de 10% das vezes este é mais veloz que aquele, e nas transições descendentes (pares) não houve uma vez sequer onde isso aconteceu, há indícios para se refutar a ideia aceita e difundida por alguns clarinetistas, de que em transições ascendentes o dedo mais próximo à boquilha deve ser o mais veloz e que nas descendentes o dedo mais afastado será o mais veloz.

Uma peculiaridade que marca o pico de velocidade do marcador 3 (dedo médio da mão direita) é que esse pico sempre ocorre ou síncrono com o pico do marcador 4 ou depois desse e em apenas uma das 84 transições descendentes analisadas do Conjunto 2, ocorreu antes do marcador 4 e com um atraso de apenas 10ms, como mostra a próxima imagem.

Figura 33 – Pico de velocidade do marcador 3 antes do marcador 4 em transição descendente



De modo geral, os clarinetistas moveram os dedos mais rapidamente quando executaram os intervalos descendentes do Conjunto 02 (além de alcançarem maior sincronia nestes intervalos) e mais lentamente os intervalos ascendentes, como é possível observar nas figuras 34 e 35 a seguir.

Comparado com as informações da seção 4.2.2.1 (Transições ascendentes versus descendentes), que mostrou que as transições ascendentes obtiveram melhores legati pelo Índice de Esteban, este dado aponta para uma ligação entre a qualidade do legato e a velocidade dos dedos.

Figura 34 – Picos de velocidade baixos em transição ascendente do sujeito 7

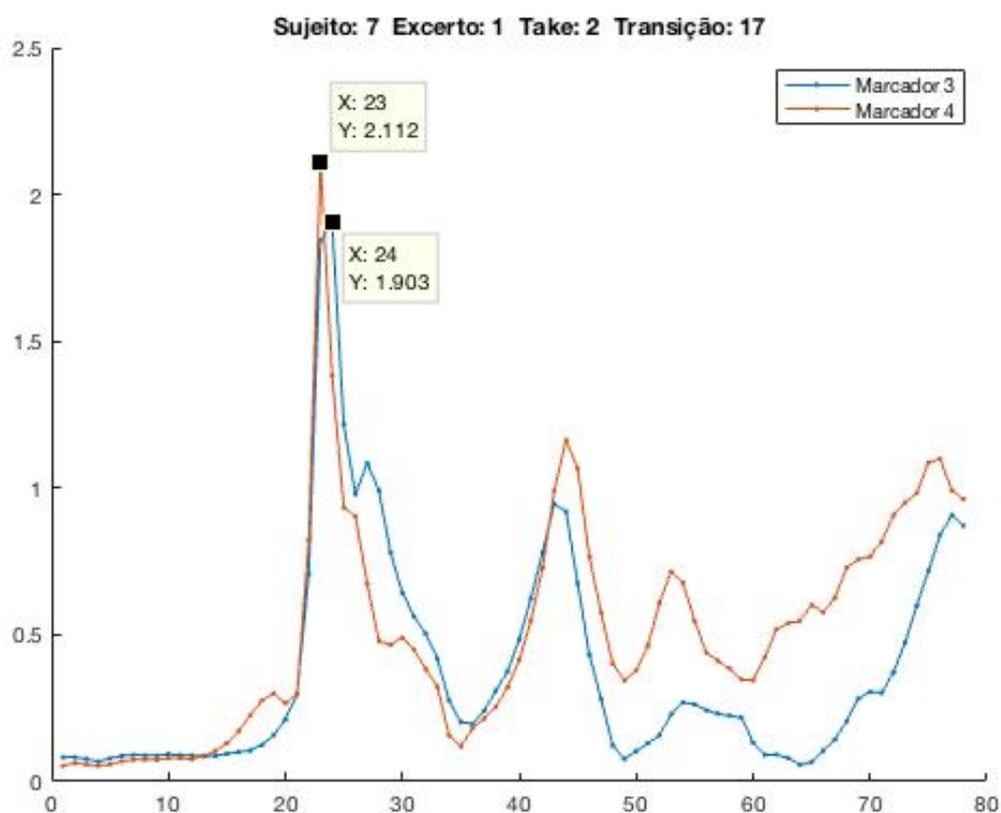
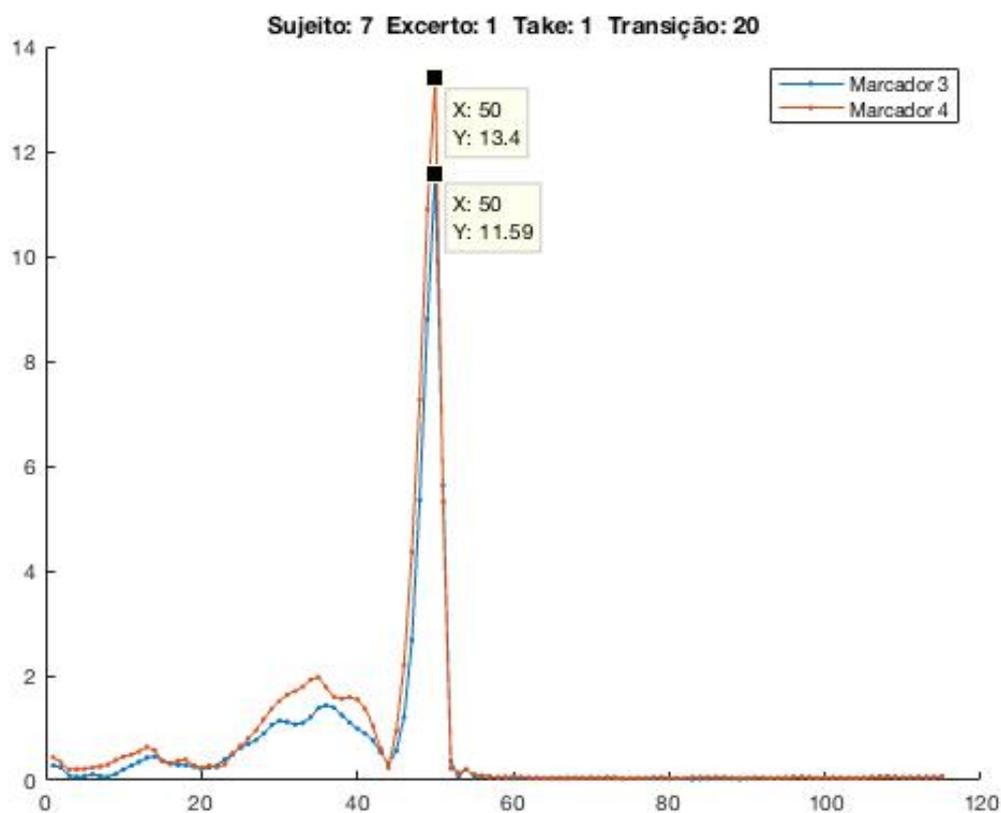


Figura 35 – Picos de velocidade altos em transição descendente do sujeito 7



As Figuras 34 e 35 mostram que, em uma transição ascendente, o dedo indicador do sujeito 7 atingiu 2,1 mm/s e o médio 1,9 mm/s, enquanto que na transição descendente o indicador atingiu 13,4 mm/s e o médio 11,5 mm/s.

Uma característica observada na análise do Índice de Esteban é que os intervalos descendentes apresentaram valores e média mais baixos do que os ascendentes. Uma vez que, neste índice valores baixos representam legati defeituosos ou mal executados, há aqui uma aparente contradição onde o Índice de Esteban aponta como piores legati as transições que tiveram maiores picos de velocidade dos dedos e conseqüentemente, menores “distâncias” entre as notas.

De fato, as médias das velocidades do dedo indicador da mão direita (que é o mais veloz) de todos os músicos para os intervalos ascendentes válidos do Conjunto 2 foi 2,15mm/s nas transições 17, 1,98mm/s nas transições 19 e 2,18mm/s nas transições 21. Nos intervalos descendentes, por sua vez, as médias foram 4,39mm/s nas transições 18, 4,43mm/s nas transições 20 e 3,86mm/s nas transições 22 indicando, como dito acima, uma ligação entre a velocidade dos dedos e a qualidade do legato.

4.3.3 Diferenças entre dois ou três dedos para a mesma transição

A transição 3 do excerto 1, usada no teste ABX e que é um intervalo ascendente de terça menor, entre as notas fá sustenido 5 e lá 5 escritas para clarinete em lá, é uma transição especial que permite aos músicos a execução do intervalo por, pelo menos, três dedilhados diferentes, a depender da escolha dos dedos que irão se posicionar para realizar o fá sustenido 5. As duas posições mais usadas para essa nota são com o dedo médio da mão direita ou com os dedos anelar e indicador da mão direita, sendo que o anelar aciona a chave nº5. Essas também foram as posições usadas pelos participantes deste estudo.

Não foi exigido aos músicos que executassem determinado dedilhado, ficando a seu critério a escolha daquele dedilhado com o qual se sentissem mais confortáveis. Alguns clarinetistas, inclusive, optaram por alternar o dedilhado entre um take e outro. Os clarinetistas 2, 3, 7 e 8 selecionaram o dedo médio da mão direita para executar o fá sustenido 5, ou seja, o intervalo foi feito usando dois dedos, já que o dedo anelar da mão esquerda também precisa ser levantado. Os músicos 1 e 4 optaram pelos dedos anelar e indicador da mão direita para o fá sustenido 5, usando assim, três dedos para a transição. Finalmente, os músicos 5 e 6 alternaram o dedilhado em takes diferentes. No total, somaram-se 20 transições com dois dedos e 12 com três dedos.

Figura 36 – Fá sustenido 5 com dedo médio da mão direita



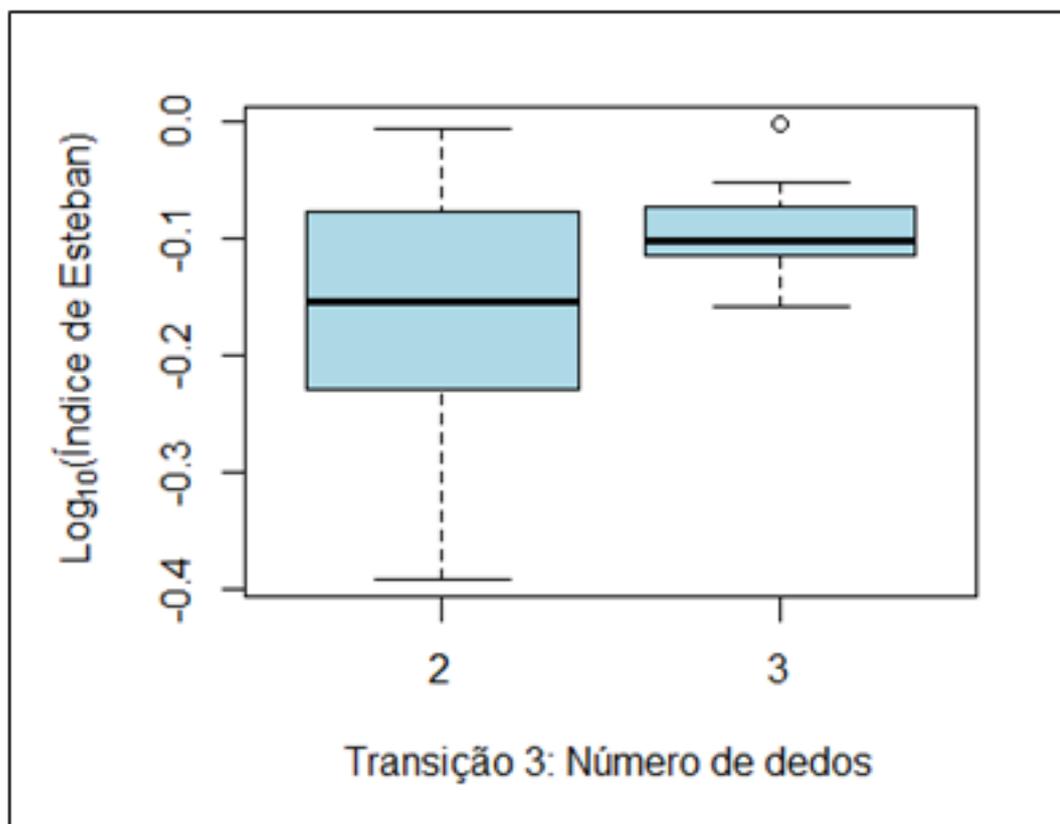
Figura 37 – Fá sustenido 5 com dedos indicador e anelar da mão direita (este último, acionando a chave n° 5).



Como o mesmo intervalo permite mais de um dedilhado, foi verificado se houve diferença no Índice de Esteban de acordo com a quantidade de dedos usados na transição

como mostra a próxima imagem.

Figura 38 – Log do Índice Esteban de acordo com o n° de dedos na transição 3



O valor médio do Índice de Esteban foi de 0,713 para os takes da transição 3 executados com 2 dedos e de 0,811 para os outros, os executados com 3 dedos. O valor-p do teste t foi de 0,037, indicando haver diferença estatisticamente significativa quanto o Índice de Esteban entre os dois grupos, ou seja, entre os takes cuja transição foi feita com 2 dedos daqueles com 3 dedos. Como apontado na página 35 (seção 3.2), este resultado corrobora as observações feitas por Campolina e colegas (CAMPOLINA; LOUREIRO; MOTA, 2009) de que o Índice Mestre-Gómez pode variar de acordo com o dedilhado selecionado pelo clarinetista.

Entretanto, vale reafirmar que, como o teste estatístico não considerou o músico que executou a gravação, e alguns músicos executaram apenas com 2 dedos e outros apenas com 3 dedos, a característica observada acima pode ser uma diferença entre os músicos e não apenas entre o número de dedos.

4.4 Diversidade e Comunalidade na performance dos clarinetistas

Esta seção e seu título são inspirados e fazem referência direta a um artigo de Bruno Repp intitulado *Diversity and Commonality in Music Performance: An Analysis of Timing Microstructure in Schumann's "Träumerei"* (REPP, 1992). Neste trabalho, o autor analisa as variações temporais durante a execução da sétima das treze peças da obra *Kinderszenen* Op. 15 (Cenas infantis) de Schumann por vinte e oito pianistas renomados mundialmente. Através da estrutura da obra e da agógica, Repp usou Análise Fatorial para realizar as comparações entre os intérpretes.

Nesta seção, são descritas e discutidas características comuns aos clarinetistas bem como outras que são únicas e marcantes em alguns deles, à luz unicamente das informações cinemáticas e do Índice de Esteban.

Dentre estas, destaca-se inicialmente o Índice de legato de Esteban negativo em cinco das 736 transições possíveis do excerto 1. Destas cinco transições, três foram para a transição 7 de três sujeitos diferentes (1, 2 e 8) e duas para a transição 23 do mesmo clarinetista (6) como se segue:

su1ex1tk1tr7 (-0.6555)

su2ex1tk4tr7 (-0.1750)

su6ex1tk3tr23 (-0.1629)

su6ex1tk4tr23 (-0.0839)

su8ex1tk1tr7 (-0.0929)

A transição 7 do excerto 1 (Schubert), é uma terça menor ascendente que envolve os dedos médio (marcador 7) e indicador da mão esquerda (8). Para este intervalo lá5-dó6, os dedos são levantados. A transição 23 é a última do excerto e é o maior intervalo; uma quinta justa ascendente que envolve quatro dedos: médio e indicador da mão direita, e anelar e médio da esquerda. Esses intervalos têm em comum o fato de anteciparem as notas com maior duração do excerto e, apesar de a última transição não estar indicada para ser executada em legato, o clarinetista 6 assim o fez.

Figura 39 – Transições 7 e 23 do excerto 1

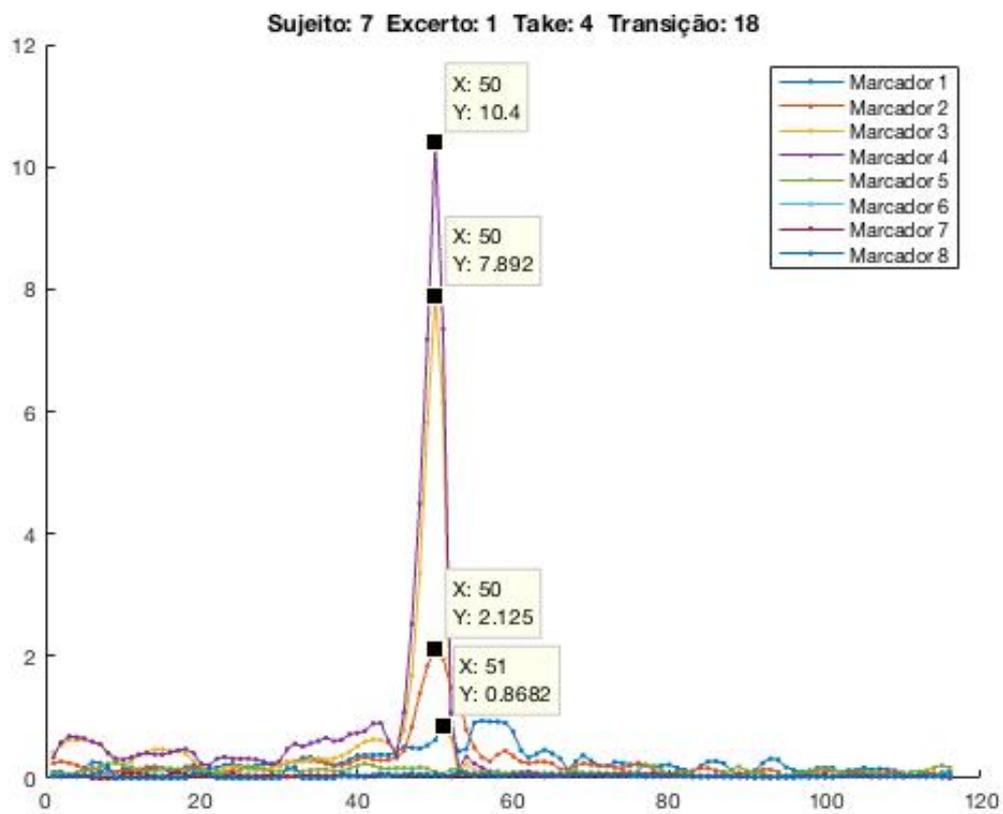
Estranhamente, na transição 7 (intervalo lá5-dó6), o dedo indicador da mão esquerda não foi o mais rápido no sujeito 1 e sim o dedo médio nos quatro takes, enquanto que os sujeitos 2 e 8 tiveram o indicador mais rápido em três dos quatro takes cada. Isto indica, mais uma vez, que não é sempre que o dedo mais próximo à boquilha é o mais rápido nas transições ascendentes, havendo, sim, uma tendência a esse fenômeno. Com relação à transição sete, 59,3% das vezes o marcador 8 foi o mais veloz.

Outra característica peculiar e que não foi encontrada em nenhum outro trabalho pesquisado foi a ordem decrescente dos picos de velocidade de acordo com o marcador e a “topografia” do instrumento.

Palmer e colegas ([PALMER et al., 2007](#)) encontraram uma ordem inversa relacionada à altura dos dedos, isto é, a média das alturas atingidas pelos dedos indicador, médio e anelar da mão direita dos clarinetistas apresenta uma sequência crescente com o dedo indicador sendo o mais baixo e o anelar o mais alto enquanto que no presente estudo, foi observado que os picos de velocidade destes dedos apresentaram uma sequência decrescente.

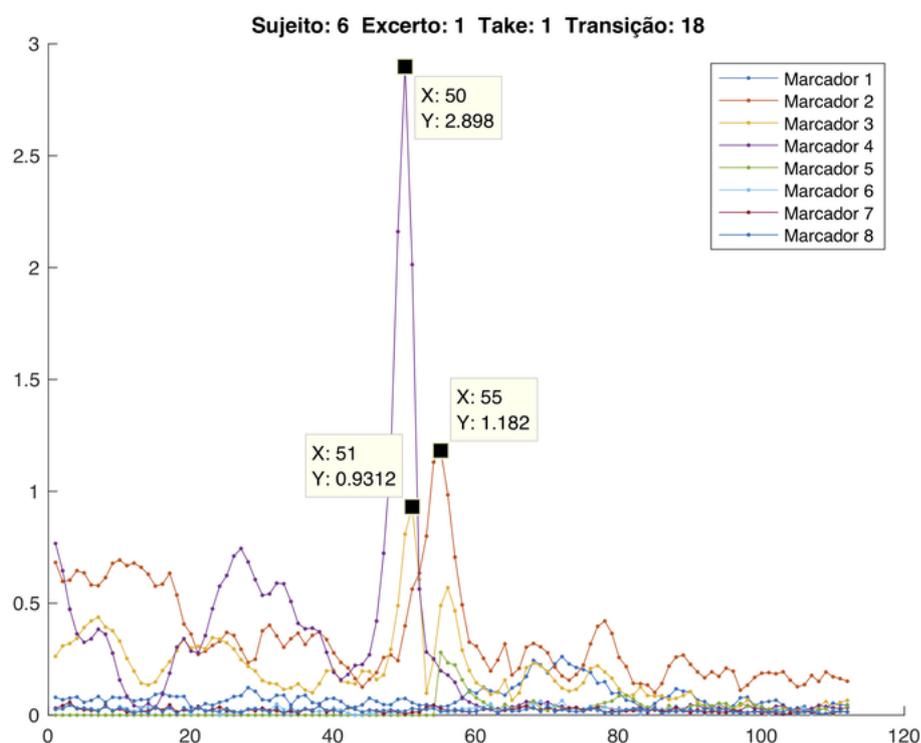
Na figura seguinte, é notória a sequência decrescente do pico de velocidade dos marcadores 4, 3, 2 e 1 em sincronia.

Figura 40 – Ordem decrescente do pico de velocidade dos marcadores



O clarinetista 6 teve como característica que o diferencia dos demais com relação às transições descendentes do grupo 2, o fato de a ordem decrescente mencionada acima ser sempre alterada; em todas essas transições citadas, o dedo anelar da mão direita atingiu velocidade superior àquela do dedo médio.

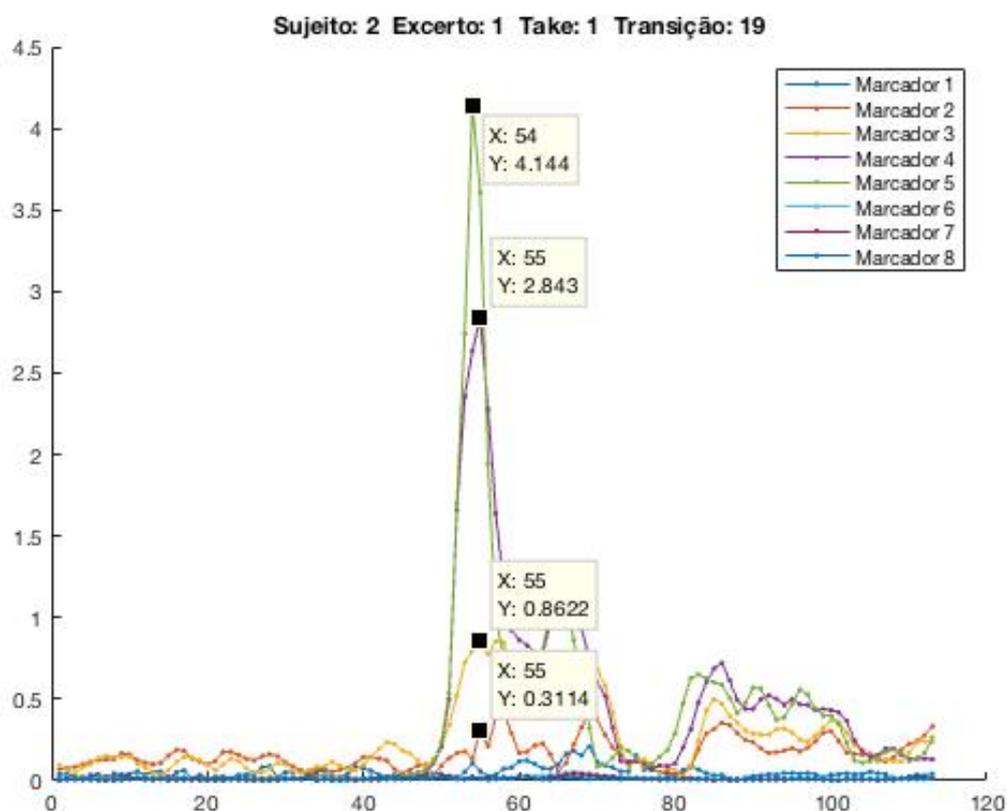
Figura 41 – Dedo anelar com velocidade superior ao médio



Na próxima figura, em uma transição ascendente, também é óbvia a sequência das velocidades, no entanto, o que mais chama a atenção é a presença do dedo mínimo da mão esquerda (marcador 5, cor verde). Este dedo não participa efetivamente da transição

e atingiu com alguns clarinetistas a maior velocidade; maior até mesmo do que o dedo indicador da mão direita que altera a frequência no tubo nesta transição e é considerado um dedo forte e ágil das mãos. Tem-se abaixo a sequência decrescente dos marcadores 5, 4, 3, 2.

Figura 42 – Ordem decrescente dos picos de velocidade incluindo o dedo mínimo



Observou-se ainda que, mesmo quando o dedo mínimo da mão esquerda não atinge velocidade acima dos demais, ele é, na maioria das transições do Conjunto 2, o segundo mais veloz, seja nas transições ascendentes, seja nas descendentes como mostra a figura a seguir, embora este comportamento não tenha sido reproduzido pelo clarinetista 7.

Figura 43 – Dedo mínimo da mão esquerda em transição ascendente

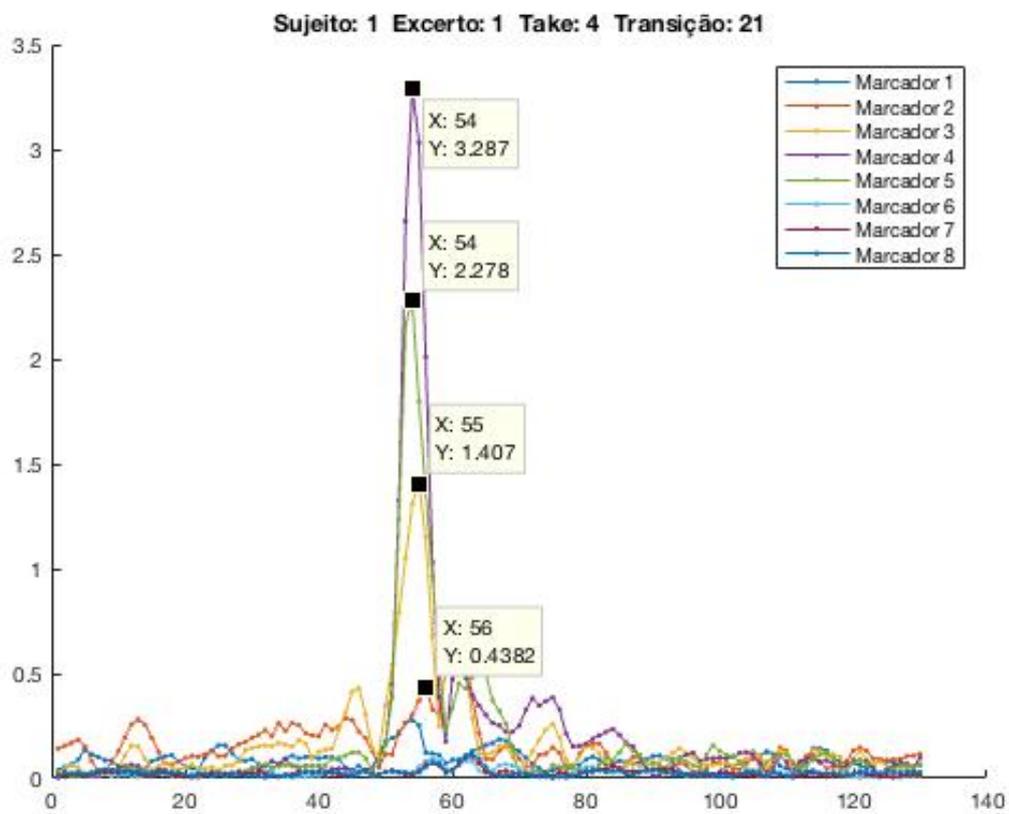
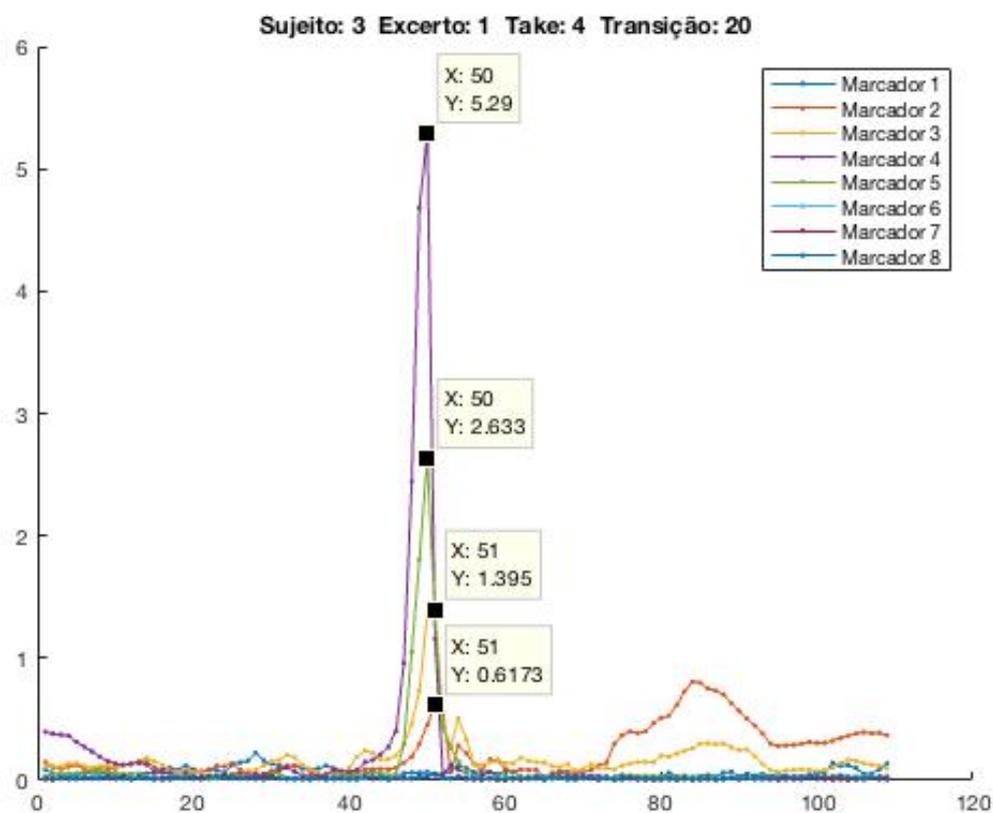


Figura 44 – Dedo mínimo da mão esquerda em transição descendente



É possível interpretar então, que este dedo tem um papel fundamental para que todo o conjunto das mãos funcione de forma adequada mesmo quando não precisa acionar uma chave ou fechar e abrir um orifício do instrumento.

Esta característica indica que, ao contrário do que possam pensar os clarinetistas, o dedo que efetivamente altera a frequência no instrumento nem sempre é o mais rápido, como foi apontado também na seção 4.3.2 (Características cinemáticas do conjunto 02) com dedos que efetivamente participaram da transição.

Outra característica observada, nem sempre constante, mas claramente notória durante algumas transições, foi a presença de um movimento anterior a elas. Este movimento pode ter ligação com uma técnica ensinada por alguns professores para a melhora do legato pela ação dos dedos, onde o aluno deve pressionar os dedos contra o instrumento antes dos intervalos ascendentes, e levantar os dedos no ar antes dos descendentes, nas transições que não envolvam mudança de registro.

Como é sabido, apesar de ser uma habilidade aprendida, essa técnica também é usada de forma inconsciente e involuntária. Será aqui chamado de Movimento Antecipatório da transição.

Figura 45 – Movimento Antecipatório em transição descendente

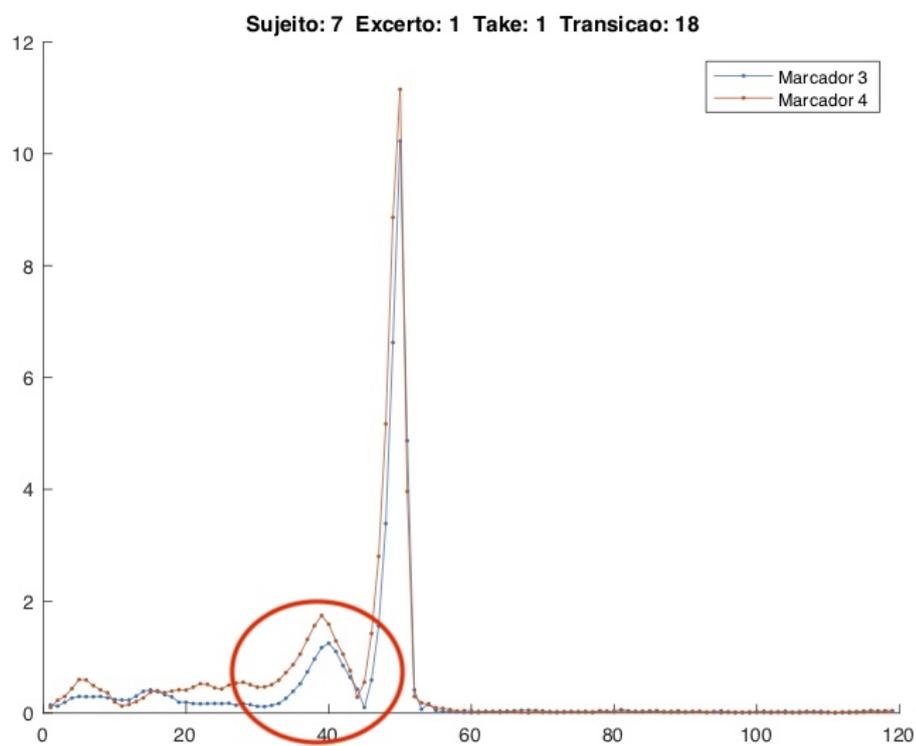
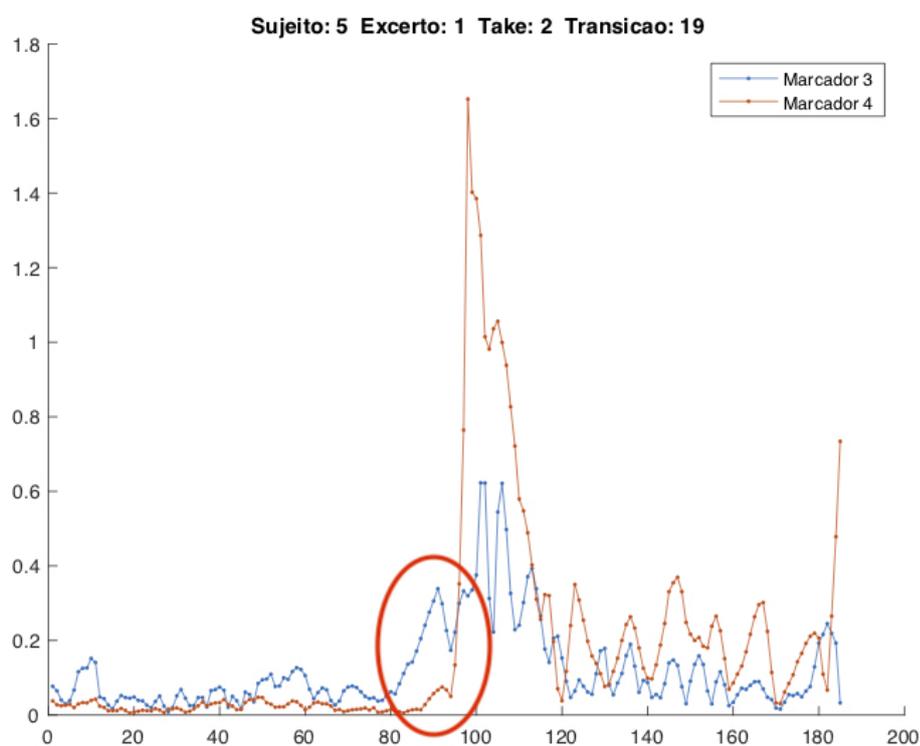


Figura 46 – Movimento Antecipatório em transição ascendente

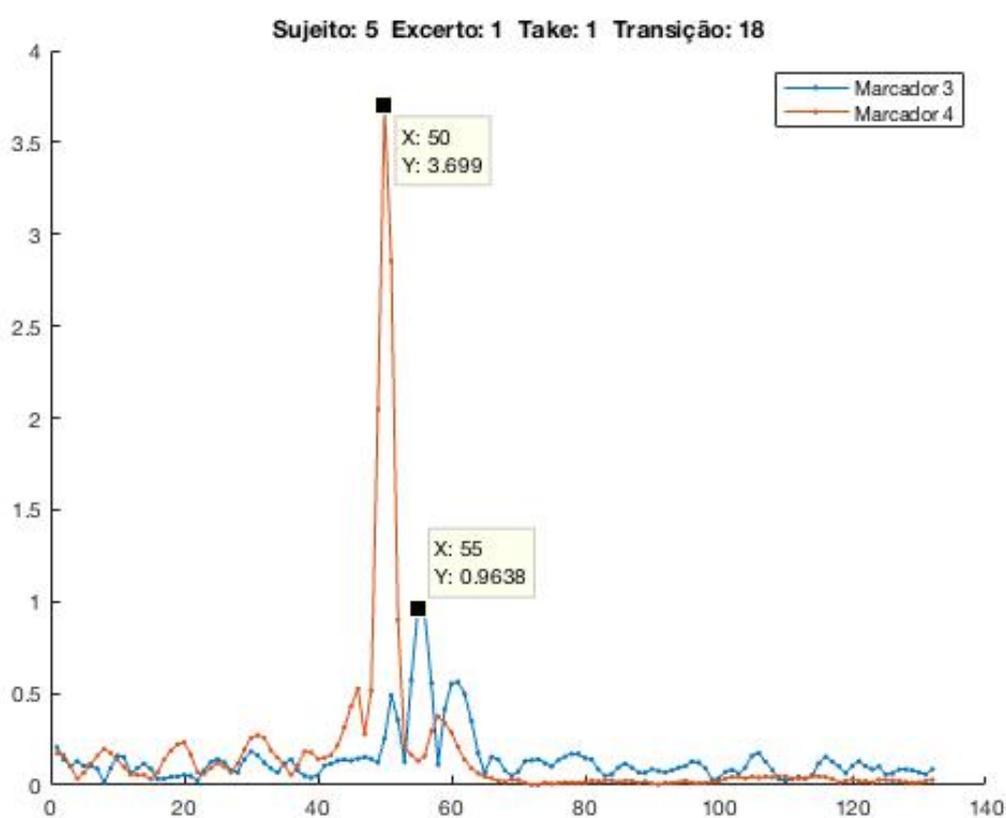
Frequentemente, quando é realizado nas transições ascendentes, o Movimento Antecipatório é mais acentuado no marcador 3, como mostra a figura anterior.

A seguir, são apresentadas as diferenças bastante acentuadas de sincronia/assin-

cronia dos picos de velocidade dos marcadores nos intervalos descendentes do Conjunto 02. Dentre os clarinetistas, aquele que apresentou maior assincronia foi o clarinetista 5 e aquele com maior sincronia foi o clarinetista 7.

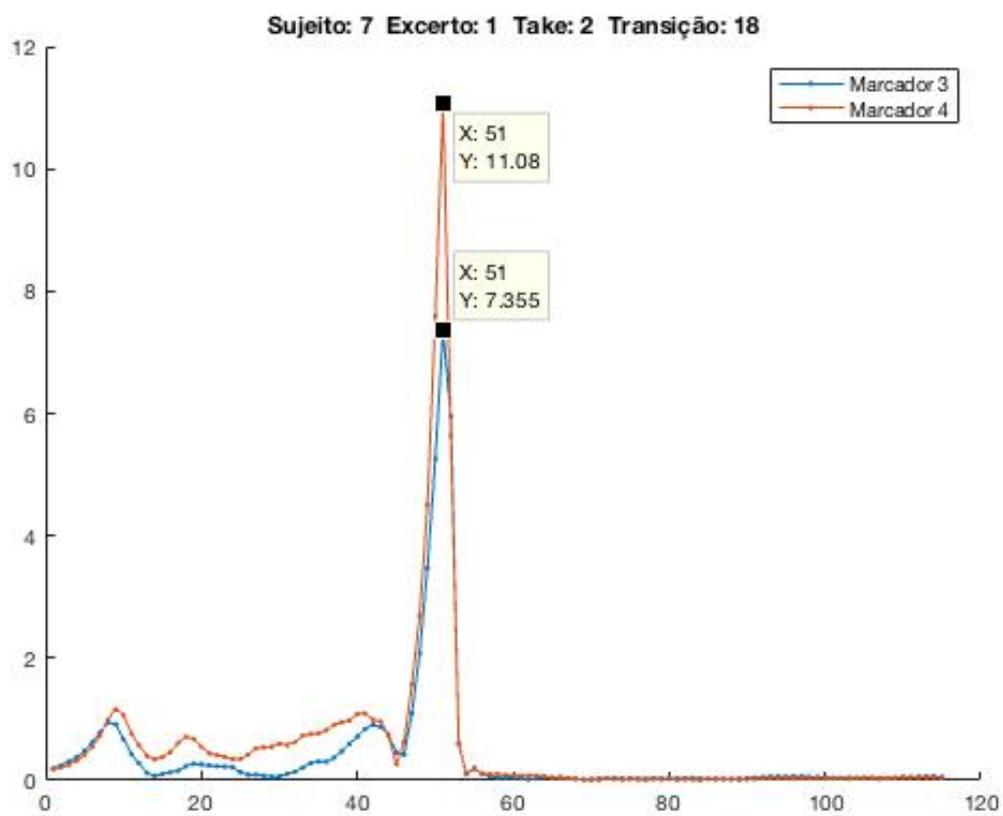
Nas doze transições descendentes desse Conjunto, o clarinetista 5 atingiu uma diferença de 20ms em uma delas, 40ms em cinco, 50ms em cinco e 70ms em outra, sendo assim, o mais assíncrono de todos.

Figura 47 – Assincronia dos marcadores em transição descendente



Já o clarinetista 7 foi totalmente síncrono em 9 das 12 transições, sendo que nas demais a assincronia foi de apenas 10ms, sendo o músico mais síncrono de todos.

Figura 48 – Sincronia dos marcadores em transição descendente



Ao compararmos estas características dos dois músicos com o Índice de Esteban, nestas transições descendentes, concluímos que o sujeito menos síncrono obteve índices de legato melhores do que o sujeito mais síncrono, como mostram as duas tabelas seguintes.

Tabela 13 – Índices de legato nas transições descendentes do clarinetista 5

Transição	Índice de Esteban
suj5ex1tk1tr18	0,6929
suj5ex1tk1tr20	0,9823
suj5ex1tk1tr22	0,5933
suj5ex1tk2tr18	0,8545
suj5ex1tk2tr20	0,5678
suj5ex1tk2tr22	0,7889
suj5ex1tk3tr18	0,9011
suj5ex1tk3tr20	0,7761
suj5ex1tk3tr22	0,8270
suj5ex1tk4tr18	0,6133
suj5ex1tk4tr20	0,9563
suj5ex1tk4tr22	0,7328

Tabela 14 – Índices de legato nas transições descendentes do clarinetista 7

Transição	Índice de Esteban
suj7ex1tk1tr18	0,2244
suj7ex1tk1tr20	0,6311
suj7ex1tk1tr22	0,7170
suj7ex1tk2tr18	0,3098
suj7ex1tk2tr20	0,2645
suj7ex1tk2tr22	0,6044
suj7ex1tk3tr18	0,2100
suj7ex1tk3tr20	0,2198
suj7ex1tk3tr22	0,5790
suj7ex1tk4tr18	0,2927
suj7ex1tk4tr20	0,9102
suj7ex1tk4tr22	0,7638

Observando as duas tabelas anteriores, percebe-se que, seguindo a ordem das transições no excerto, o clarinetista 7 alcançou um índice de legato maior do que o 5 em apenas duas transições (suj7ex1tk1tr22 e suj7ex1tk4tr22).

O clarinetista 5 obteve uma média do Índice de Esteban nestas transições de $\bar{x} = 0,7736$ e o clarinetista 7 obteve $\bar{x} = 0,4772$ indicando que, mesmo sendo o menos síncrono dos clarinetistas, o músico 5 ainda executou ótimos *legati*.

O clarinetista 7, além de ser o mais síncrono, foi também o mais veloz cuja média dos picos de velocidade do marcador 4 (dedo mais veloz em todas as transições descendentes do Conjunto 2) foi de $\bar{x} = 9,802$. Por outro lado, o músico que apresentou os movimentos dos dedos mais lentos foi o sujeito 1 que atingiu uma média dos picos de velocidade do marcador 4 de $\bar{x} = 1,994$.

A seguir, os Índices de Esteban do sujeito 1 para as transições pares do Conjunto 2:

Tabela 15 – Índices de legato nas transições descendentes do clarinetista 1

Transição	Índice de Esteban
suj1ex1tk1tr18	0,9672
suj1ex1tk1tr20	0,9632
suj1ex1tk1tr22	0,8910
suj1ex1tk2tr18	0,5957
suj1ex1tk2tr20	0,7407
suj1ex1tk2tr22	0,6246
suj1ex1tk3tr18	0,5623
suj1ex1tk3tr20	0,9831
suj1ex1tk3tr22	0,8453
suj1ex1tk4tr18	0,7853
suj1ex1tk4tr20	0,8961
suj1ex1tk4tr22	0,9938

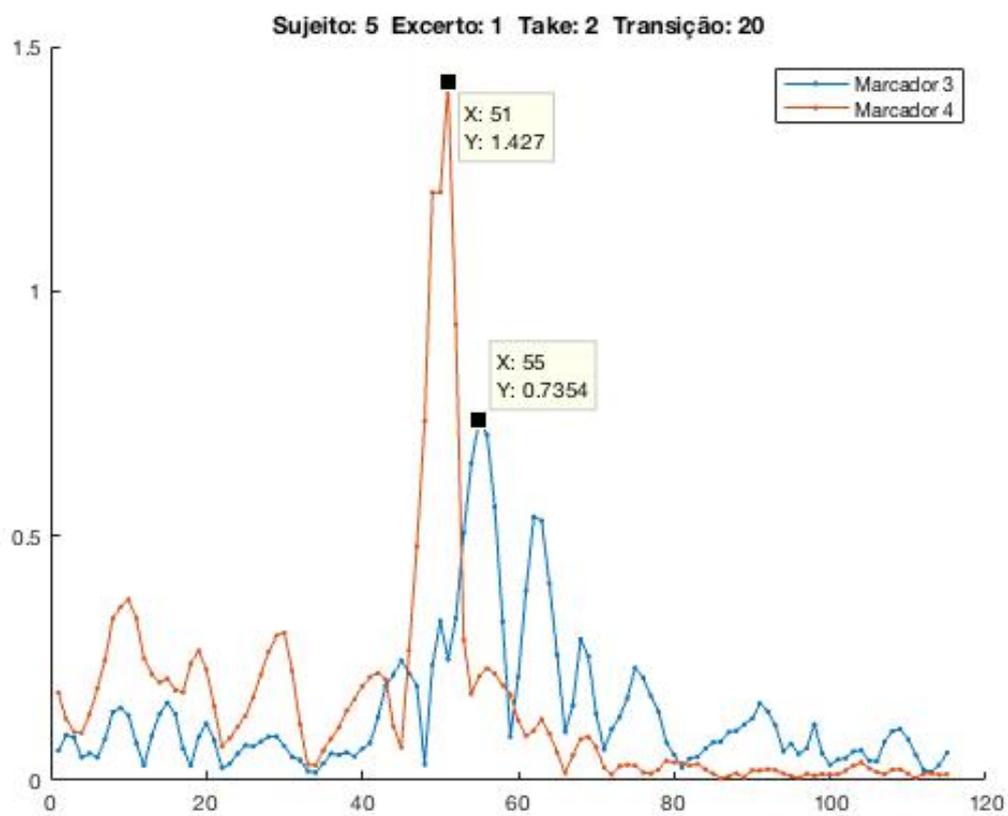
Ao compararmos esta tabela com a anterior que mostra os índices do clarinetista 7, vê-se que o sujeito 1 obteve melhores *legati* em onze das doze transições. Dessa forma, vemos que o sujeito menos síncrono e o mais lento ligaram de forma mais eficiente os intervalos descendentes do que o sujeito 7 que foi o mais síncrono e o mais rápido.

A impressionante sincronia obtida pelo sujeito 7 pode estar associada à grande velocidade dos dedos apontada na seção 4.3.2 (Características cinemáticas do Conjunto 02).

Novamente, a constatação auditiva permite concluir que o sujeito 7, mesmo sendo o mais síncrono é o que executa os intervalos descendentes com mais velocidade nos dedos, o que faz com que sejam perfeitamente notados auditivamente os barulhos dos dedos ao tocar os anéis da parte inferior do instrumento.

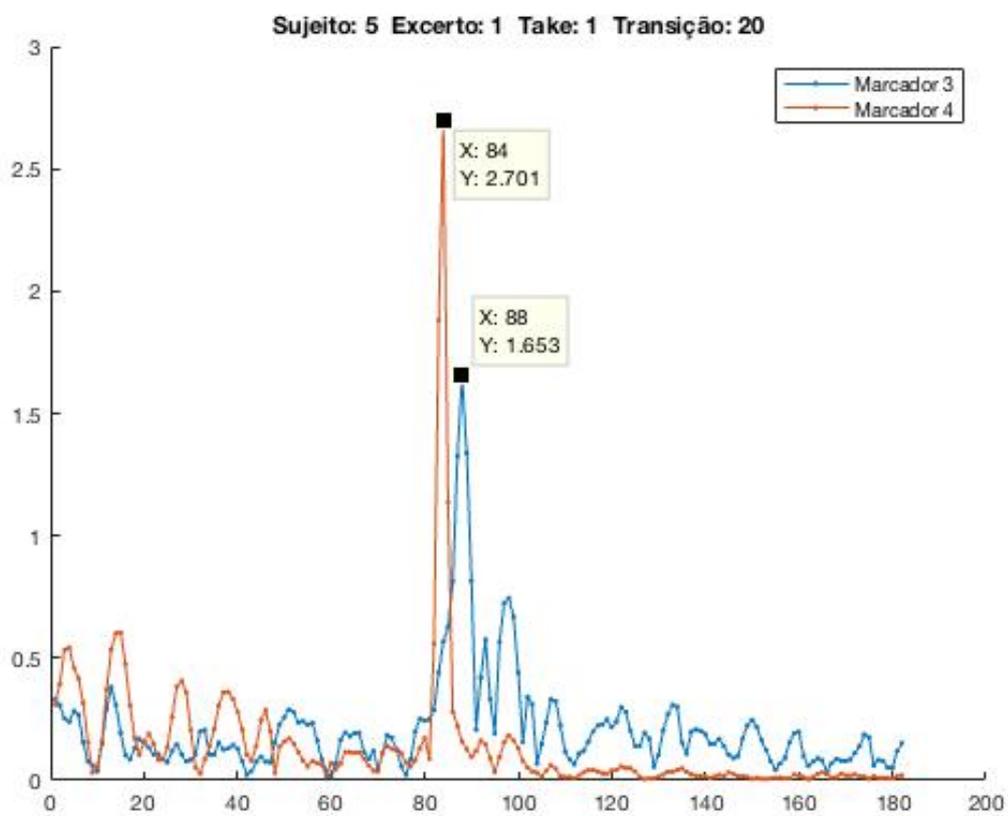
Para efeito de comparação são apresentados os respectivos perfis de velocidade dos dedos e os áudios das transições menos ligada e mais ligada do sujeito 5.

Figura 49 – Transição menos ligada do Conjunto 02 do sujeito 5



Áudio da transição menos ligada do sujeito 5: suj5ex1tk2tr20: https://drive.google.com/file/d/1T4nHUa4ZZWeknz_LlIG6Y3c8X6DPHGcY/view?usp=sharing

Figura 50 – Transição mais ligada do Conjunto 02 do sujeito 5

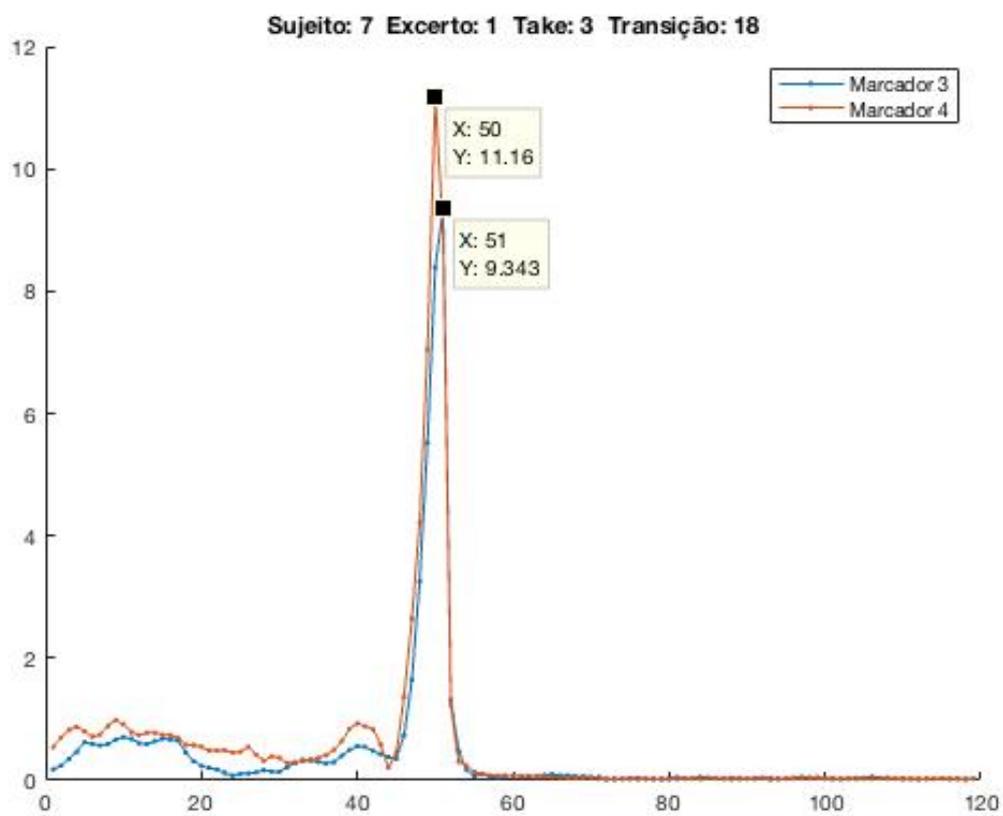


Áudio da transição mais ligada do sujeito 5:

suj5ex1tk1tr20: <https://drive.google.com/file/d/1ks8jOGsX7PsUeMU5LlyhXast1B7afe2w/view?usp=sharing>

A menos ligada e mais ligada do sujeito 7:

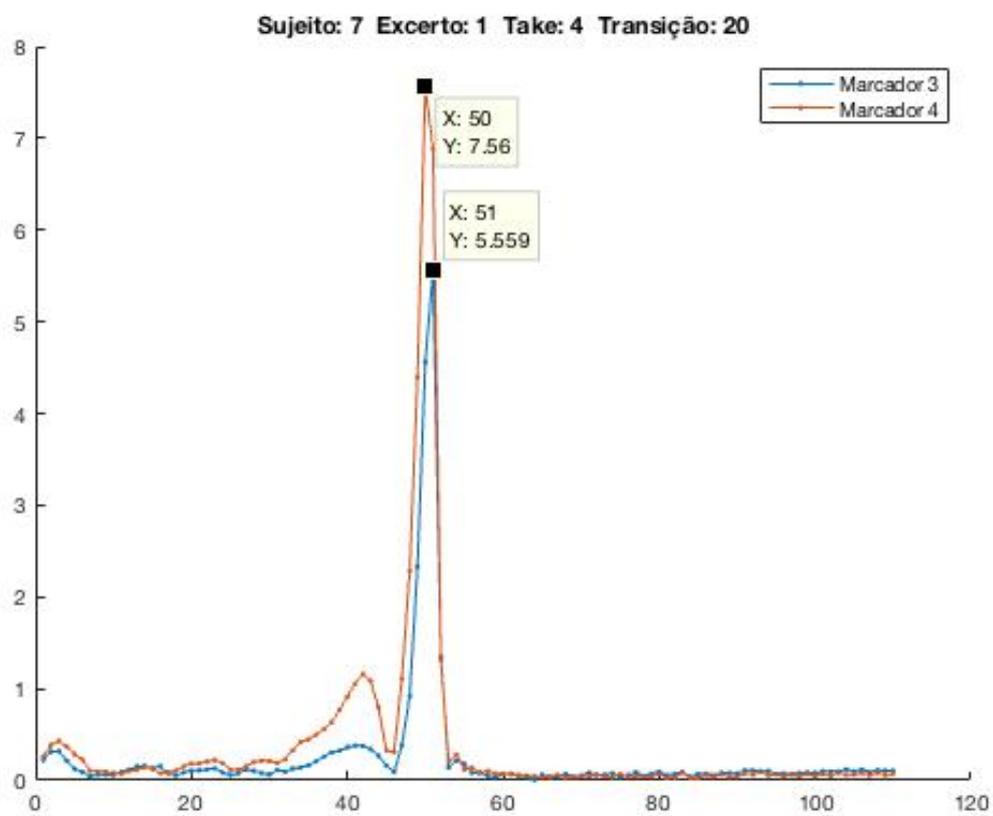
Figura 51 – Transição menos ligada do Conjunto 02 do sujeito 7



Áudio da transição menos ligada do sujeito 7:

suj7ex1tk3tr18: <https://drive.google.com/file/d/1zczmdJgnInpCcuw8wHGqQf1nzjK6DfgD/view?usp=sharing>

Figura 52 – Transição mais ligada do Conjunto 02 do sujeito 7

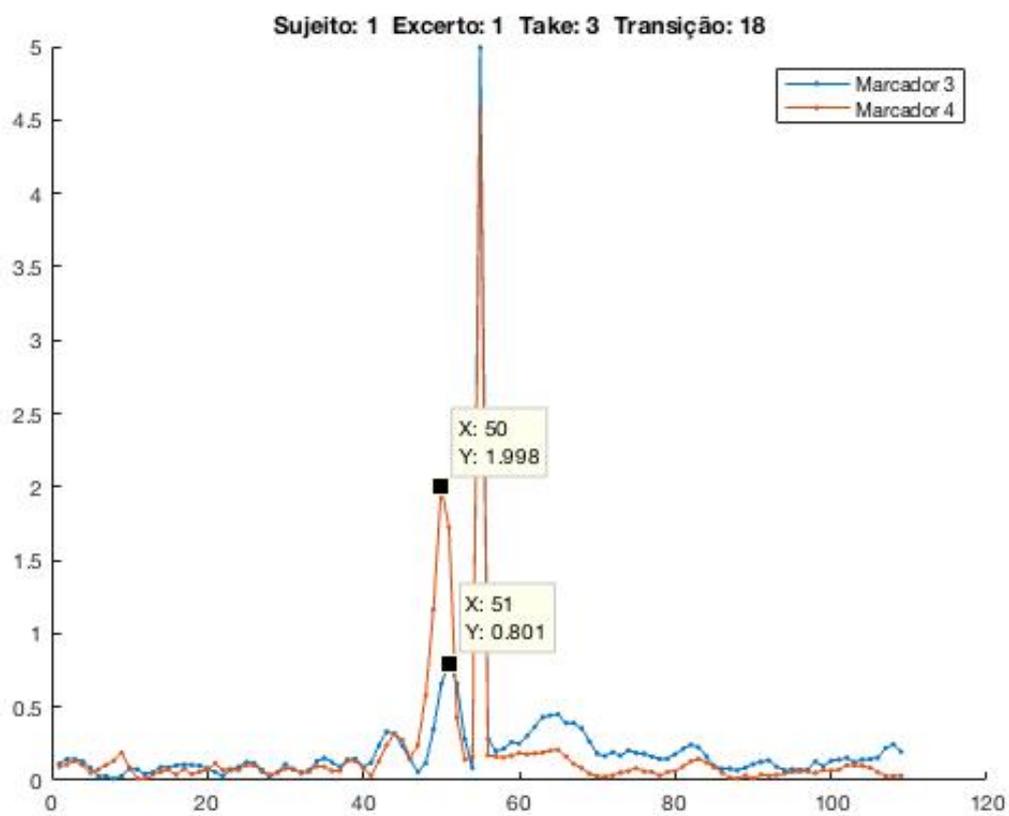


Áudio da transição mais ligada do sujeito 7:

suj7ex1tk4tr20: https://drive.google.com/file/d/1f6Xq9Y93ZH5w7Otmpc7XzhJTT9sw_3fl/view?usp=sharing

E a menos ligada e mais ligada do sujeito 1:

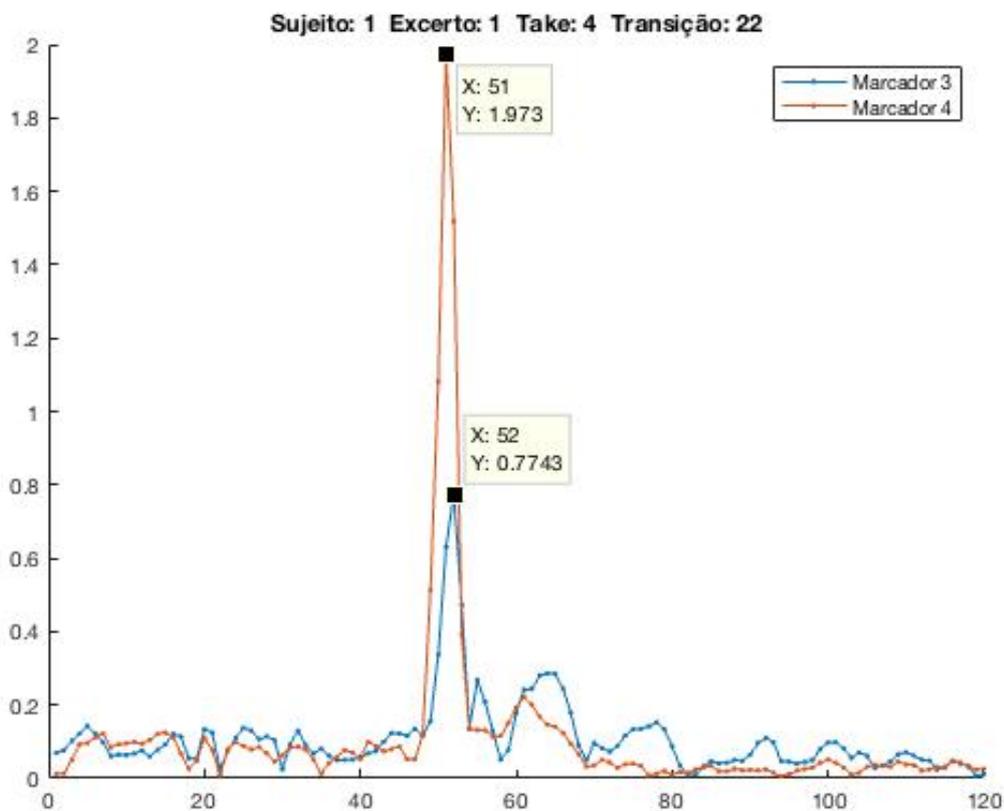
Figura 53 – Transição menos ligada do Conjunto 02 do sujeito 1



Áudio da transição menos ligada do sujeito 1:

suj1ex1tk3tr18: https://drive.google.com/file/d/1fepG_gpmDzW9QAfSQi3qlwxPMUIGYmMV/view?usp=sharing

Figura 54 – Transição mais ligada do Conjunto 02 do sujeito 1



Áudio da transição mais ligada do sujeito 1:

suj1ex1tk4tr22: https://drive.google.com/file/d/1dMbbFViNZyubV4C8edUB8RUvEp_8Lf2X/view?usp=sharing

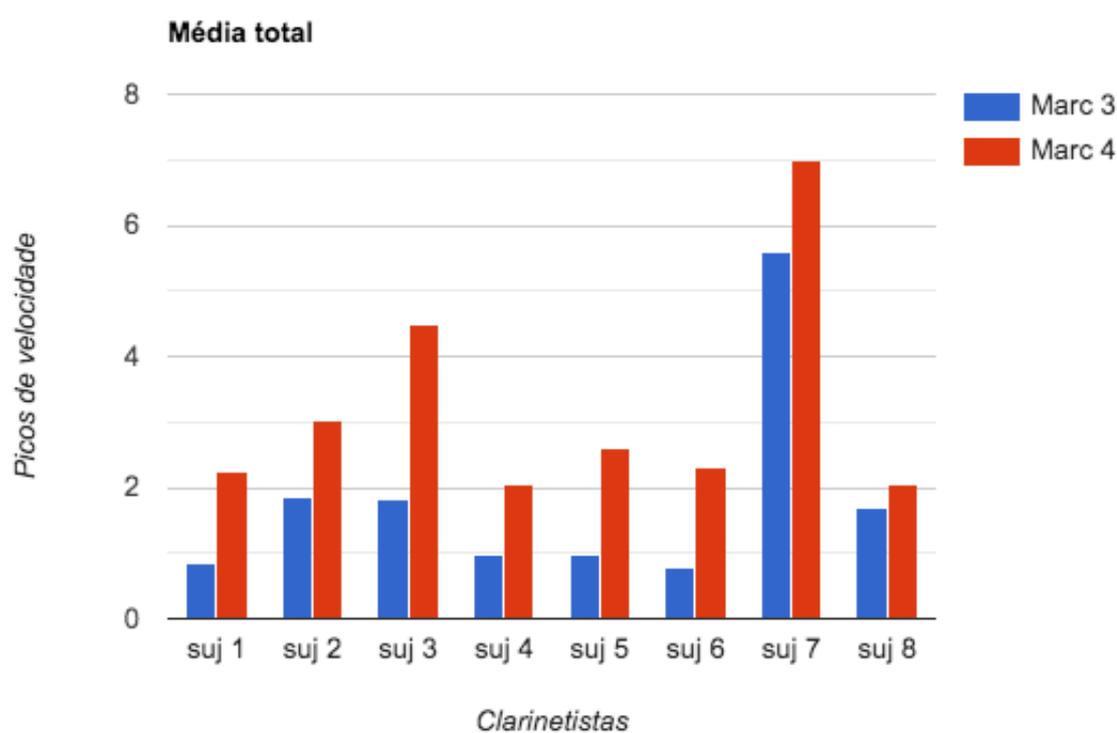
Como é possível notar, a melhor transição segundo o Índice de Esteban para o sujeito menos síncrono foi de 0,9823 (suj5ex1tk1tr20), a melhor para o sujeito mais lento foi de 0,9938 (suj1ex1tk4tr22) e a melhor do sujeito mais síncrono e mais rápido foi de 0,9102 (suj7ex1tk4tr20). Esses dados corroboram com duas conclusões: o legato foi melhorando ao longo das transições repetidas à medida em que os músicos realizavam o *diminuendo* já que esses altos índices estão presentes nas últimas transições pares (transições 20 e 22) e que há uma tendência de que os movimentos mais lentos dos dedos possam realmente contribuir para ligar melhor os intervalos, já que os dedos indicador e médio da mão direita do sujeito 1, ou seja, o mais lento, atingiram 1,973mm/s e 0,7743mm/s respectivamente e este foi o que atingiu o melhor índice.

Por outro lado, segundo o mesmo índice, o pior legato do sujeito menos síncrono foi de 0,5678 (suj5ex1tk2tr20), o pior do sujeito mais lento foi de 0,5623 (suj1ex1tk3tr18) e o pior do sujeito mais síncrono e mais veloz foi de 0,2100 (suj7ex1tk3tr18). Percebe-se que o

pior dos três intervalos é o do sujeito 7 que foi o que atingiu a maior velocidade entre eles com 11,16mm/s no dedo indicador da mão direita e 9,343mm/s no médio.

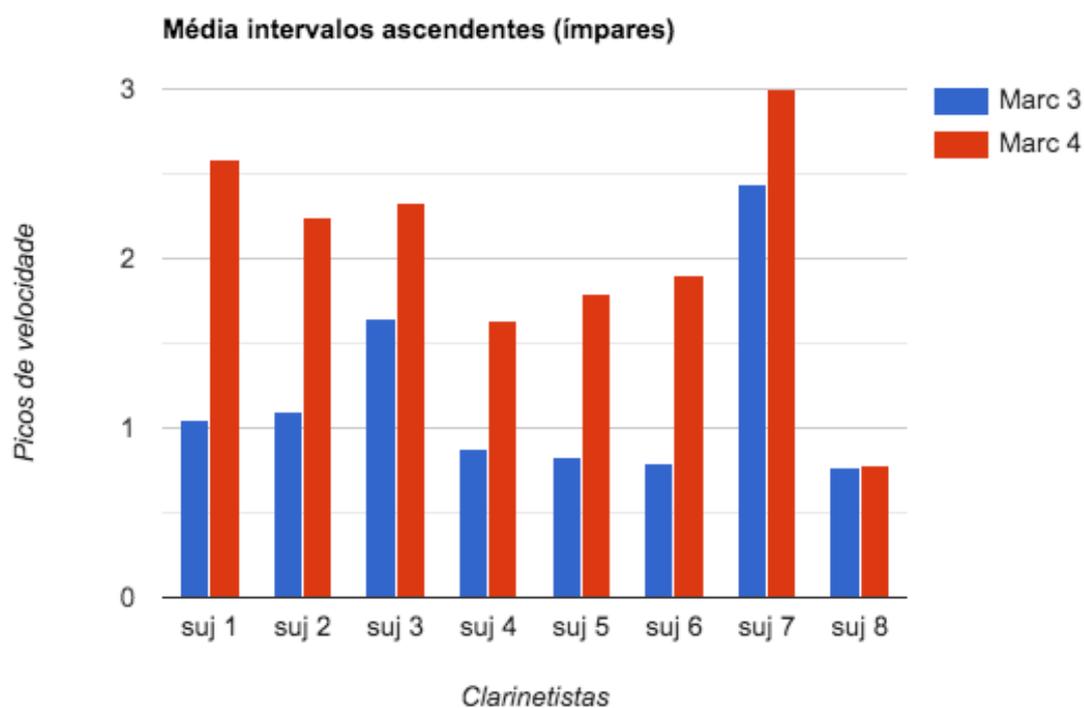
Finalizando o capítulo, são apresentados os gráficos que mostram as diferenças de médias dos picos de velocidade dos dois dedos (indicador e médio da mão direita) de todos os clarinetistas para as transições do Conjunto 2. É possível observar que o dedo indicador atinge picos mais acentuados de velocidade e que o clarinetista 7 realmente é aquele que move esses dedos com maior rapidez.

Figura 55 – Médias dos picos de velocidade dos marcadores 3 e 4 para os intervalos ascendentes e descendentes



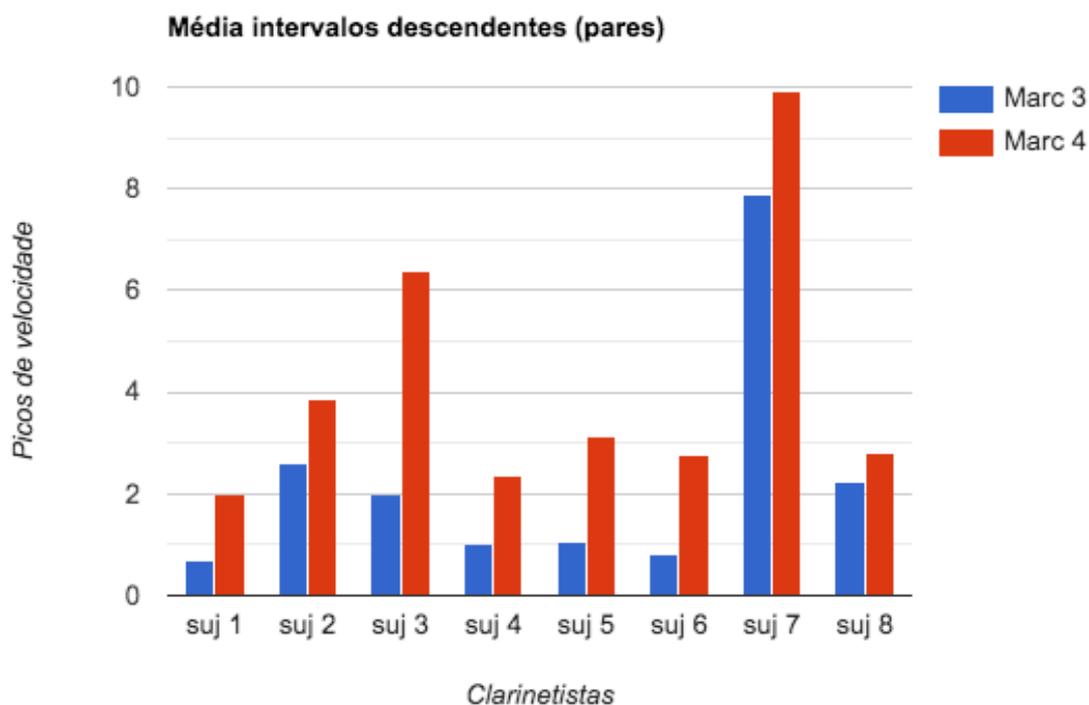
A próxima imagem revela as características desses dedos quando estão levantando, isto é, realizando a ligadura ascendente entre mi5 e sol5.

Figura 56 – Médias dos picos de velocidade para os intervalos ascendentes



A figura seguinte mostra o comportamento dos dedos nas transições descendentes sol5-mi5.

Figura 57 – Média dos picos de velocidade para os intervalos descendentes



Observando essas duas últimas figuras é notória a grande diferença de velocidade entre os dedos dependendo da direção do intervalo: as transições ascendentes foram executadas com menor rapidez do que aquelas descendentes onde os dedos fecham os orifícios do instrumento. A única exceção foi o clarinetista 1 que apresentou velocidades maiores para os intervalos ascendentes.

5 CONCLUSÕES

Utilizando uma técnica de captura de movimentos nos dedos dos clarinetistas que pode ser adaptada para coleta de informação das características cinemáticas em outros instrumentos, o estudo realizou uma série de análises para verificar a influência destas características na realização do legato.

Foram usadas três bases de informações que direcionaram toda a pesquisa: (1) os resultados do teste subjetivo, onde 40 ouvintes, divididos entre clarinetistas profissionais e estudantes, avaliaram a qualidade do legato em algumas transições selecionadas para o teste, (2) os descritores acústicos responsáveis por verificar a qualidade das transições em legato e (3) as informações coletadas sobre os movimentos dos dedos dos músicos, nomeadamente a velocidade e a aceleração.

O Índice Maestre-Gómez (Esteban) foi selecionado para a comparação com os dados cinemáticos e os do teste subjetivo, uma vez que os outros índices apresentaram quantidade elevada de valores inferiores aos da própria resolução da análise (0,0226ms) para a taxa de amostragem de 44,1KHz usada neste trabalho. Foi observado, por exemplo, que em 143 de 170 transições, o Índice On-Off apontou o valor 0,005 naquelas transições analisadas no Grupo 2. A partir dessa observação, os índices On-Off e Relativo foram desconsiderados para a análise.

Os dados acústicos foram divididos em dois conjuntos de transições onde o Conjunto 1 incluiu a transição 3 do excerto 1 e a transição 51 do excerto 2 e foi avaliado através do teste subjetivo.

O teste subjetivo do tipo ABX mostrou não haver diferença estatística entre a opinião dos clarinetistas estudantes de graduação e os clarinetistas profissionais sobre a qualidade do legato. Com os resultados do teste ABX, foram criados um Índice ABX e um Ranque ABX onde foi possível observar que, quanto mais regular é o músico durante as repetições dos excertos, mais difícil de se individualizar cada transição. Isso significa menos acertos dos ouvintes durante o teste ABX. Por outro lado, quanto mais variáveis são as repetições, entre os takes, pelo mesmo clarinetista, é mais fácil para os ouvintes individualizar suas execuções.

Estas variações já eram esperadas, uma vez que, como foi solicitado aos músicos simularem uma situação de concerto ao tocarem os excertos, é natural que eles extravasem uma carga expressiva maior sem que seja uma mera repetição de uma frase musical.

Como apontado por Loureiro e equipe (LOUREIRO *et al.*, 2009a; LOUREIRO *et al.*, 2009b), em performances expressivas há uma grande variabilidade observada no Índice de Esteban comparada àquelas não expressivas e isso também pôde ser observado no presente estudo, de forma que, apesar da correlação estatística entre este índice e o Índice ABX, tal comparação é inconclusiva dada a pequena quantidade amostral de dados.

Com relação aos dados do Conjunto 2, ou seja, as últimas transições do excerto 1, foram analisadas três características distintas: a diferença do legato nos intervalos ascendentes e descendentes, a influência da dinâmica no legato dos intervalos ascendentes e a influência da dinâmica no legato dos intervalos descendentes.

Os resultados indicam que há evidência estatística de que o índice é realmente diferente entre esses intervalos e que, aparentemente, os descendentes são mais difíceis de ligar. A partir dessas observações, as informações cinemáticas foram confrontadas com esse índice.

Os resultados mostraram, ainda, que ligar intervalos ascendentes quando o volume diminui, piora a qualidade do legato, ou seja, a dinâmica é um fator que realmente pode influenciar as ligaduras, tornando-se um desafio a mais na performance dos clarinetistas. Por outro lado, quando do diminuendo nas transições descendentes, a análise indicou, estatisticamente, que o legato descendente melhorou quando o volume diminuiu.

A fase seguinte do estudo concentrou-se nas análises das características cinemáticas onde os gráficos que representam os picos de velocidade dos dedos foram suficientemente práticos e confiáveis para a observação de tais características entre os sujeitos, especialmente quando avaliados em conjunto com os gráficos da aceleração.

Essa análise demonstrou que um pensamento comum entre os clarinetistas e algumas vezes difundido para os alunos, de que os dedos mais próximos à boquilha serão os mais rápidos nas transições ascendentes e aqueles mais afastados os mais rápidos nas descendentes dentro de um mesmo registro, é um engano.

Tais informações mostraram que, com exceção do clarinetista 1, a velocidade dos dedos ao realizar intervalos descendentes é maior do que os ascendentes, fato que foi confirmado quando das observações dos perfis de velocidade, através dos marcadores dispostos nas unhas dos músicos.

Ao verificarmos a qualidade do legato de uma transição que permite o uso de dois ou três dedos, observou-se que o legato com três dedos obteve melhores índices, porém, como a análise foi feita com músicos diferentes, esse resultado pode ser fruto das particularidades técnicas entre eles, além disso, como apontado por Campolina e colegas (CAMPOLINA; LOUREIRO; MOTA, 2009) o descritor utilizado (índice de Esteban) pode sofrer alterações devido à configuração do dedilhado em uma determinada transição.

Da mesma forma a análise mostrou haver o predomínio de uma sequência decrescente de velocidade dos dedos como um todo e que na maioria dos participantes, quando observadas as transições analisadas nos Conjuntos 1 e 2, o dedo mínimo da mão esquerda está sempre entre os dedos mais velozes, mesmo não participando efetivamente da transição.

Foi observada também, embora de forma não tão marcante, a presença do que foi denominado Movimento Antecipatório. Este movimento, realizado imediatamente antes daqueles com os quais as transições são efetivamente produzidas, já haviam sido descritos

na literatura e têm a função de diminuir os barulhos que os movimentos dos dedos podem causar ao bater nas chaves e anéis nas transições descendentes e, ao mesmo tempo, amortecendo a saída dos dedos nos intervalos ascendentes.

Ao observarmos as características acústicas e cinemáticas dos clarinetistas mais rápido e menos rápido, assim como o mais síncrono e o menos síncrono, considerando os Índices ABX e de Esteban, os respectivos ranques nas transições usadas no Conjunto 1, e ainda as diferenças das transições ascendentes e descendentes e a evolução do diminuendo nas transições do Conjunto 2, concluiu-se que, de forma geral, para as transições descendentes cujos dedos encontram um limite da trajetória no corpo do instrumento, esta velocidade é o fator principal e que pode influenciar negativamente na qualidade do legato, uma vez que o clarinetista mais veloz apresentou índices inferiores aos do músico mais lento e do músico mais assíncrono.

Em outras palavras, como o Índice de Esteban apresentou valores menores para os intervalos descendentes e a velocidade dos dedos ao realizar esses intervalos foi mais alta, os dados sugerem uma influência da velocidade dos dedos na qualidade do legato e que, aparentemente, ligar intervalos descendentes é mais difícil do que os ascendentes, apesar de serem mais síncronos, mesmo em intervalos curtos como os de terça menor. Índices de Esteban ruins estão associados aos dedos mais rápidos, ou seja, aqueles cujos intervalos são descendentes.

Ao observarmos novamente as características cinemáticas, constatamos que a velocidade dos dedos também diminuiu ao longo da frase final do excerto 1. Os intervalos ascendentes tiveram uma ligeira diminuição no Índice de Esteban que pode ter sido fruto das escolhas fraseológicas dos músicos ao lidarem com uma estrutura repetitiva que se refletiu na assincronia dos dedos maior do que nos intervalos descendentes.

Pode-se concluir finalmente, com base nas informações evidenciadas pelos índices de legato, pelo teste ABX e pelos perfis de velocidade e aceleração dos dedos dos clarinetistas, que a estratégia mais adequada à análise aprofundada das transições em legato no clarinete vem da observação em conjunto desses parâmetros.

5.1 Considerações finais

Muito embora os dados reunidos pela quantidade de clarinetistas executantes e ouvintes não permita qualquer tipo de generalização, foi possível verificar através dos testes estatísticos a tendência de que nas transições descendentes, movimentos de dedos muito velozes podem atrapalhar o legato. Além disso, aquele dedo mais próximo da boquilha, dentre os que efetivamente realizam as notas escritas na partitura, tende a ser o mais veloz independentemente da direção do intervalo. Entre os três Índices de legato usados

nas análises, isto é, o Índice On-Off, o Relativo e o Maestre-Gómez, os dois primeiros mostraram-se inapropriados, já que apresentaram valores inferiores àqueles da própria resolução da taxa de amostragem.

O estudo pode apontar para a criação e o uso de ferramentas didáticas voltadas consciente e exclusivamente para este fenômeno alertando professores e alunos para este fato. Esta conclusão pode ser especialmente útil no desenvolvimento de novos instrumentos e interfaces homem-máquina onde a sincronia/assincronia dos dedos deve ser organizada buscando uma transição em legato melhor executada.

A pesquisa limitou-se a avaliar excertos cujo andamento (*Andante con Moto e Adagio*) impõe o legato como um critério para a avaliação das habilidades técnicas e musicais dos clarinetistas.

Sobre as informações do teste subjetivo, fundamental para que seja avaliada a escuta dos clarinetistas, outro teste menos desgastante talvez seja necessário apesar da robustez do teste ABX como, por exemplo, um teste de Likert. Em média, o teste ABX, avaliando apenas três transições (as do Conjunto 1) durou cerca de uma hora para cada ouvinte.

Finalmente, esses resultados adicionam nova perspectiva sobre a influência que os movimentos dos dedos podem ter durante a execução instrumental e, com relação a tais características cinemáticas, um olhar voltado não apenas para a velocidade e aceleração, mas também a amplitude, a trajetória e, talvez, a área do movimento possa enriquecer ainda mais as pesquisas futuras nesse tema.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. *et al.* The kinetics and acoustic of fingering and note transitions on the flute. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 3, June 2009. Citado na página 15.
- ALMEIDA, A. *et al.* The clarinet: how blowing pressure, lip force, lip position and reed “hardness” affect pitch, sound level and spectrum. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 134, n. 3, p. 2247 – 2255, September 2013. Citado na página 29.
- ALVES, C. S. **O processo de emissão do som na clarineta**: proposição e validação de um plano de instrução. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas. Citado na página 15.
- BACKOFEN, J. **Anweisung zur Clarinette**. 2. ed. Leipzig: Breitkopf & Härtel, 1824. Citado na página 21.
- BACKUS, J. Vibrations of the reed and the Air Column in the Clarinet. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 33, n. 6, p. 806 – 809, June 1961. Citado na página 27.
- BELLO, J. P. *et al.* A Tutorial on Onset Detection in Music Signals. **IEEE Transactions on Speech and Audio Processing**, v. 13, n. 5, p. 1035 – 1047, September 2005. Citado na página 26.
- BENADE, A. Interactions between the player’s windway and the air column of a musical instrument. **Cleveland Clinic Journal of Medicine**, v. 53, n. 1, p. 27 – 32, March 1986. Citado na página 27.
- BERLIOZ, H. **A Treatise upon Modern Instrumentation and Orchestration**. 2. ed. London: Novello, Ewer and CO., 1858. Citado na página 16.
- BERRY, G.; ARMITAGE, P. Mid-P Confidence Intervals: a brief review. **The Statistician**, v. 44, n. 4, p. 417 – 423, 1995. Citado na página 42.
- BLAZICH, J. **Amand Vanderhagen’s Méthode nouvelle et raisonnée pour la clarinette (1785) and Nouvelle méthode de clarinette (1796)**: Complete Translations and Analyses of the First Classical Clarinet Treatises. 2005. 215 p. Tese (Doctor of Musical Arts) — University of Cincinnati. Citado na página 20.
- CAMPOLINA, T.; LOUREIRO, M. A.; MOTA, D. Expan: a tool for musical expressiveness analysis. In: **2nd International Conference of Students of Systematic Musicology**. Ghent: [s.n.], 2009. p. 24 – 27. Citado 4 vezes nas páginas 34, 36, 83 e 108.
- CHEN, J.; SMITH, J.; WOLFE, J. How players use their vocal tracts in advanced clarinet and saxophone performance. In: **International Symposium on Music Acoustics**. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 14.
- CHEN, J.; SMITH, J.; WOLFE, J. How to play the first bar of Rhapsody in Blue. In: **Annual Conference of the Australian Acoustical Society**. Geelong: [s.n.], 2008. p. 222 – 225. Citado na página 28.
- CHEN, J.; SMITH, J.; WOLFE, J. Pitch bending and glissandi on the clarinet: Roles of the vocal tract and partial tone hole closure. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 126, n. 3, p. 1511 – 1520, September 2009. Citado na página 29.

- CHEW, G. **Grove Music Online**. 2001. Disponível em: <https://www-oxfordmusiconline-com.ez171.periodicos.capes.gov.br/grovemusic/view/10.1093/gmo/9781561592630.001.0001/omo-9781561592630-e-0000016290?rskey=8jzxdM&result=1>. Acesso em: 21/07/2021. Citado na página 16.
- CZARNECKI, K.; MOSZYNSKI, M.; ROJEWSKI, M. Concentrated Spectrogram of audio acoustic signals - a comparative study. In: **Acoustics 2012 Nantes Conference**. Nantes: [s.n.], 2012. p. 405 – 410. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 31.
- FRITZ, C. *et al.* Experimental study of the influence of the clarinetist's vocal tract. In: HIRZEL (Ed.). **Forum Acusticum: 4th european congress on acoustic**. budapest. [S.l.]: Hirzel, 2005. p. 591 – 595. Citado na página 28.
- FRITZ, C.; WOLFE, J. How do clarinetist players adjust the resonances of their vocal tracts for different playing effects? **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 118, n. 118, p. 3306 – 3315, October 2005. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- FRITZ, C. *et al.* Playing frequency shift due to the interaction between the vocal tract of the musician and the clarinet. In: BRESIN, R. (Ed.). **Stockholm Music Acoustics Conference**. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1, p. 263 – 266. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 28.
- GLICK, D. A. **The Five-Keyed Clarinet**. 1978. 134 p. Tese (Doctor of Musical Arts) — The University of Rochester. Citado na página 20.
- GROUT, D. J.; PALISCA, C. V. **História da Música Ocidental**. 2. ed. Lisboa: Gradiva, 2001. Citado na página 13.
- GROVE, G. **A Dictionary of Music and Musicians**. 1. ed. London: Macmillan & Co., 1878. v. 2. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 19.
- GUILLEMAIN, P.; VERGEZ, C.; ALMEIDA, A. Several ways to stop a note in a clarinet - a comparative view of note extinctions. **International Symposium on Musical Acoustics**, Le Mans, p. 183 – 187, July 2014. Citado na página 14.
- HARGER, S. **An Investigation of Finger Motion and Hand Posture during Clarinet Performance**. 2011. 261 p. Tese (Doutorado) — Arizona State University. Citado na página 75.
- HOFMANN, A.; GOEBL, W. Finger Forces in Clarinet Playing. In: **International Symposium on Performance Science**. [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 14.
- HOFMANN, A.; GOEBL, W. Production and perception of legato, portato and staccato articulation in saxophone playing. **Frontiers in Psychology**, v. 5, July 2014. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 40.
- HOFMANN, A. *et al.* Zooming into saxophone performance: tongue and finger coordination. In: **International Symposium on Performance Science**. Vienna: [s.n.], 2013. p. 289 – 294. Citado na página 37.
- JOHNSTON, R.; CLINCH, P.; TROUP, G. The role of vocal tract resonance in clarinet playing. **Acoustics Australia**, v. 14, n. 03, p. 67 – 69, June 1986. ISSN 08146039. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 27.

- LAWSON, C. **Brahms**: Clarinet Quintet. [S.l.]: Cambridge University Press, 1998. Citado na página 22.
- LAWSON, C. **The Early Clarinet**: A Practical Guide. [S.l.]: Cambridge University Press, 2000. Citado na página 22.
- LEHMANN, E. L. **Nonparametrics**: Statistical Methods Based on Ranks. 1. ed. [S.l.]: Springer-Verlag, 2006. Citado na página 42.
- LI, W. *et al.* Controlling the transients and timbre on single reed instruments. In: **International Symposium on Musical and Room Acoustics**. Buenos Aires: [s.n.], 2016. Citado na página 14.
- LIVINGSTONE, S. The kinematics of musical expression in the spatiotemporal dimension. **Empirical Musicology Review**, v. 8, n. 2, p. 124 – 127, June 2013. Citado na página 37.
- LOUREIRO, M. A. Uniformidade e Diversidade em Execução Musical: mesa redonda da ANPPOM discute a agógica. In: LIMA, S. R. A. de; ULHÔA, M. T. de (Ed.). **ANPPOM**: 30 anos de criação. [S.l.]: ANPPOM, 2018. cap. 6, p. 72 – 89. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 26.
- LOUREIRO, M. A. *et al.* Extração de Conteúdo Musical em Sinais de Áudio para a Análise de Expressividade. In: **XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**. Belo Horizonte: [s.n.], 2008. Citado 3 vezes nas páginas 13, 19 e 33.
- LOUREIRO, M. A. *et al.* Acoplamento interpretativo e sincronização em duos de clarinetas. **Opus**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 211 – 236, Dezembro 2012. Citado 3 vezes nas páginas 8, 33 e 35.
- LOUREIRO, M. A. *et al.* O Som entre as Notas: Representação das Transições entre as Notas em Instrumentos Monofônicos. In: **XIX Congresso da ANPPOM**. Curitiba: [s.n.], 2009a. p. 581 – 585. Citado 4 vezes nas páginas 33, 34, 36 e 107.
- LOUREIRO, M. A. *et al.* Content Analysis of Note Transitions in Music Performance. In: **6th Sound and Music Computing Conference**. Porto: [s.n.], 2009b. p. 23 – 25. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 107.
- MACRAN, H. S. **The Harmonics of Aristoxenus Edited With Translation Notes, Introduction and Index of Words**. [S.l.]: Forgotten Books, 2013. Citado na página 13.
- MAESTRE, E.; EMILIA GÓMEZ. Automatic Characterization of Dynamics and Articulation of Expressive Monophonic Recordings. In: **Proceedings of the 118th Audio Engineering Society Convention**. Barcelona: [s.n.], 2005. Citado 3 vezes nas páginas 33, 34 e 47.
- MARCHETTI, C. C. **Aristoxenus Elements of Rhythm**: Text, Translation and Commentary on POXY 2687. 2009. 313 p. Tese (Doctor of Philosophy) — State University of New Jersey. Citado na página 13.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1992. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 57.
- MOTA, D.; SILVA, A.; LOUREIRO, M. A. Analysis of finger techniques in clarinet performance. 2015. Citado na página 39.

- MUNSON, W. A.; GARDNER, M. Standardizing Auditory Tests. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 22, n. 5, June 1950. Citado na página 40.
- NACKAERTS, A.; MOOR, B. de; LAUWEREINS, R. Note transitions in Physical Models of a Wind Instrument. In: **Acoustics and Music Theory and Applications**. Montego Bay: [s.n.], 2000. p. 59 – 63. Citado na página 27.
- NORTHOVER, K. S. **The 21st Century Early Clarinet Method: A Historical Clarinet Treatise for Modern Clarinetists**. 2018. 201 p. Tese (Doctor of Music) — Indiana University. Citado na página 21.
- ODRICH, R. Science in the Art of the Legato. **The Clarinet**, v. 4, n. 44, September 2017. Citado na página 14.
- PALMER, C. *et al.* Movement, planning, and music: motion coordinates of skilled performance. In: SCIENCE, A. R. N. in H. C. (Ed.). **Inaugural International Conference on Music Communication Science**. 2007. Disponível em: <http://marcs.uws.edu.au/links/ICoMusic/ArchiveCD/index.html>. Citado na página 85.
- PALMER, C. *et al.* Movement-Related Feedback and Temporal Accuracy in Clarinet Performance. **Music Perception**, v. 26, n. 5, p. 439 – 450, 2009. Citado na página 37.
- PÀMIES-VILÀ, M.; HOFMANN, A.; CHATZIIOANNOU, V. The player-reed interaction during note transitions in the clarinet. In: **International Symposium on Music Acoustics**. Detmold: [s.n.], 2019. p. 307 – 314. Citado na página 29.
- PARK, T. H. **Towards Automatic Musical Instrument Recognition**. 2004. 233 p. Tese (Doctor of Philosophy) — Princeton University. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 33.
- PEREIRA, A. R. A Estética Musical de Aristóxeno de Tarento. **Hvmanitas**, v. 47, n. 1, p. 469 – 479, 1995. Citado na página 13.
- PEREIRA, L. S. **Aspectos da performance historicamente orientada do repertório setecentista para clarinete**. 2010. 175 p. Dissertação (Música) — Universidade Estadual de Campinas. Citado na página 20.
- PINO, D. **The Clarinet and Clarinet Playing**. 1. ed. Mineola: Dover Publications, 1998. Citado na página 24.
- QSC, A. P. **ABX Comparator**: User manual. Costa Mesa, 1998. Citado na página 42.
- REPP, B. Diversity and Commonality in Music Performance: An Analysis of Timing Microstructure in Schumann's "Traumerei". In: FOWLER, C. (ed.). **Speech Research Status Report**. New Haven, Connecticut: Haskins Laboratories, 1992. cap. 19, p. 227 – 260. Citado na página 84.
- RICE, A. R. **Valentin Roeser's Essay on the Clarinet (1764)**: Background and Commentary. 1977. 189 p. Dissertação (Music, MA) — Claremont Graduate University. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- ROESER, V. **Essai d'instruction a l'usage de ceux qui composent pour la clarinette et le cor**. Paris: [s.n.], 1764. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.

- ROSSING, T. D. **The Science of Sound**. 2. ed. [S.l.]: Addison-Wesley, 1989. Citado na página 13.
- SCAVONE, G. P. Modeling Vocal-tract Influence in Reed Wind Instruments. In: **Stockholm Music Acoustics Conference**. Sweden: [s.n.], 2003. Citado na página 28.
- SILVA, A. Captura dos movimentos dos dedos de clarinetistas: descrição dos processos metodológicos. In: **Simpósio Brasileiro de Pós-graduandos em Música**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1095 – 1104. Citado na página 14.
- STEIN, K. **The art of clarinet playing**. [S.l.]: Summy-Birchard Music, 1958. ISBN 0-87487-023-2. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- TRIOLA, M. **Introdução à Estatística**. 12. ed. [S.l.]: LTC, 2017. Citado na página 42.
- WOLFE, J.; GARNIER, M.; SMITH, J. Vocal tract resonances in speech, singing and playing musical instruments. **Human Frontier Science Program Journal**, v. 3, n. 1, p. 6 – 23, February 2009. Citado na página 29.
- WOLFE, J. *et al.* Some Effects of the Player's Vocal Tract and Tongue on Wind Instrument Sound. In: BRESIN, R. (Ed.). **Stockholm Music Acoustics Conference**. Sweden: [s.n.], 2003. v. 1, p. 307 – 310. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 29.
- YANG, L.; CHEW, E.; RAJAB, K. Z. Logistic Modeling of Note Transitions. In: **Mathematics and Computation in Music**. London: [s.n.], 2015. p. 161 – 172. Citado na página 27.
- YOUNG, K. E. **Clarinet Thumb-rest Function: The Pedagogy of Positioning and Electromyography Evidence**. 2014. 302 p. Tese (Doctor of Musical Arts) — Louisiana State University. Citado na página 25.