



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Artes

Eduardo Aparecido Lopes Meneses

GuitarAMI: desenvolvimento, implementação e performance de um instrumento musical aumentado que explora possibilidades de modificação de características intrínsecas do violão

Campinas

2016

Eduardo Aparecido Lopes Meneses

**GuitarAMI: desenvolvimento, implementação e
performance de um instrumento musical aumentado que
explora possibilidades de modificação de características
intrínsecas do violão**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Música do Instituto de Artes da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Música, área de concentração: Música: teoria, criação e Prática.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Fornari Novo Junior

Coorientador Prof. Dr. Marcelo Mortensen Wanderley

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno Eduardo Aparecido Lopes Meneses, orientada pelo Prof. Dr. José Eduardo Fornari Novo Junior e coorientada pelo Prof. Dr. Marcelo Mortensen Wanderley.

Campinas

2016

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Artes
Silvia Regina Shiroma - CRB 8/8180

M524g	Meneses, Eduardo Aparecido Lopes, 1981- GuitarAMI : desenvolvimento, implementação e performance de um instrumento musical aumentado que explora possibilidades de modificação de características intrínsecas do violão. / Eduardo Aparecido Lopes Meneses. – Campinas, SP : [s.n.], 2016. Orientador: José Eduardo Fornari Novo Junior. Coorientador: Marcelo Mortensen Wanderley. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Artes. 1. Música por computador. 2. Música experimental. 3. Improvisação (Música). I. Fornari, José, 1966-. II. Wanderley, Marcelo. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Artes. IV. Título.
-------	---

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: GuitarAMI : development, implementation and performance of an augmented musical instrument that explores possibilities of modification of acoustic guitar intrinsic characteristics.

Palavras-chave em inglês:

Computer music

Avant-garde (Music)

Improvisation (Music)

Área de concentração: Música: Teoria, Criação e Prática

Titulação: Mestre em Música

Banca examinadora:

José Eduardo Fornari Novo Junior [Orientador]

Regis Rossi Alves Faria

Manuel Silveira Falleiros

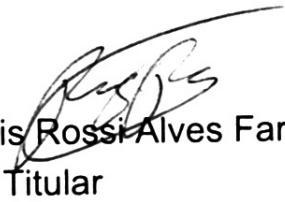
Data de defesa: 02-06-2016

Programa de Pós-Graduação: Música

**Instituto de Artes
Comissão de Pós-Graduação**

Defesa de Dissertação de Mestrado em Música, apresentada pelo Mestrando
Eduardo Aparecido Lopes Meneses - RA 153227 como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre, perante a Banca Examinadora:


Prof. Dr. José Eduardo Fornari Novo Junior
Presidente


Prof. Dr. Regis Rossi Alves Faria
Titular


Prof. Dr. Manuel Silveira Falleiros
Titular

Resumo

Este trabalho relata a construção e utilização de um AMI (acrônimo de Augmented Musical Instrument, ou instrumento musical aumentado) intitulado GuitarAMI e criado para execução de *patches* programados em Pure Data com a finalidade de modificar algumas características intrínsecas do violão.

É traçado um panorama histórico sobre a música eletroacústica mista com suporte dinâmico e são analisados alguns AMI que utilizam violão ou guitarra elétrica em sua construção.

São abordados também aspectos relacionados à construção do GuitarAMI, entre eles: o estudo e classificação dos movimentos executados pelo instrumentista, a escolha dos sensores para captura destes movimentos, a programação e aplicação de algoritmos para o instrumento e a avaliação de diferentes protótipos do GuitarAMI construídos ao longo da pesquisa.

Palavras-chaves: Instrumento musical aumentado; Live electronics; Computação musical.

Abstract

This paper describes the construction and use of an AMI (Augmented Musical Instrument) entitled GuitarAMI and designed to run patches programmed in Pure Data in order to modify some intrinsic characteristics of the acoustic guitar.

A historical overview of the mixed electroacoustic music with dynamic support is presented, along with an analysis of AMIs constructed using acoustic or electric guitar.

This thesis also include the study of aspects related to the construction of GuitarAMI, such as: the study and classification of movements performed by the player, the choice of sensors to capture these movements, the programming and implementation of algorithms for the instrument and the evaluation of different GuitarAMI prototypes built during the research.

Keywords: Augmented musical instrument; Live electronics; Computer music.

Sumário

1	Introdução	13
1.1	A utilização do suporte dinâmico na música eletroacústica mista	13
1.2	Motivadores do trabalho	19
1.3	Escopo do trabalho	21
2	Construção do GuitarAMI	23
2.1	Luteria digital	23
2.2	Possibilidades gestuais na performance violonística	25
2.3	Análise de diversos AMIs utilizando violão ou guitarra elétrica	27
2.4	Plataforma de hardware para a criação do AMI	33
2.5	Sensores e outros dispositivos de entrada e saída de dados	34
2.6	<i>Feedback</i>	37
2.7	Objetivos específicos na construção de um AMI utilizando o violão e a modificação de características intrínsecas do instrumento	38
2.8	GuitarAMI	39
2.8.0.1	Primeiro protótipo	40
2.8.0.2	Segundo protótipo	42
2.8.0.3	Terceiro protótipo	44
3	Ambiente computacional	46
3.1	Mapeamento gestual e comunicação entre o músico, interface e computador	46
3.2	Pure Data como plataforma de mapeamento gestual, síntese e manipulação sonora	49
3.3	Integra Live como possibilidade de plataforma de performance	53
3.4	<i>Patch</i> de mapeamento e algoritmos programados para GuitarAMI	54
4	Aplicação do GuitarAMI na Educação e Performance Musical	60
4.1	Educação Musical com aporte tecnológico	60
4.1.1	Apresentação e experimentação do GuitarAMI em ambiente educacional	62
4.1.2	A utilização do GuitarAMI no curso modular: Música, Tecnologia e Criatividade	65
4.2	Performance com o GuitarAMI	70
5	Discussões e Conclusão	74
5.1	Desenvolvimentos Futuros	77
	Referências	79

Anexos	88
ANEXO A Partitura-guia utilizada na performance do 2º semestre do curso modular intitulado “Música, Tecnologia e Criatividade” (seção 4.1.2).	89
ANEXO B Algumas especificações técnicas do acelerômetro ADXL345 necessárias para a calibração (seção 2.5).	93

Ao meu filho Bernardo e minha esposa Tati Marazzo, que trazem ainda mais música para minha vida.

Dedico também esta dissertação à todos os artistas que ousaram desviar-se do caminho predeterminado e imprimiram sua visão pessoal no mundo.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus orientadores José Fornari (Tuti) e Marcelo Wanderley. A contribuição de Tuti e Marcelo foi para além da orientação acadêmica e provocou uma profunda mudança em minha relação com a arte e minha visão do papel da tecnologia no desenvolvimento humano.

Não seria capaz de conduzir esta pesquisa sem o apoio incondicional de meus pais Fatima e Brasilino, minha esposa Tati Marazzo e meu irmão Leandro Meneses. O carinho, paciência e desprendimento da minha família não somente me proveu forças mas também a dose certa de confiança para dar os passos necessários durante esta jornada.

Agradeço também ao Programa Guri que, com uma proposta de ensino musical livre de preconceitos estéticos possibilitou um laboratório onde alunos e professores puderam expandir seus horizontes criativos através da união entre música e tecnologia.

Por fim, agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro concedido a esta pesquisa, à comunidade de docentes e discentes da Unicamp pelo companheirismo e acolhimento e ao NICS (Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora) da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) por fornecer a infraestrutura onde foi desenvolvida esta pesquisa.

*“Until I die there will be sounds. And they will continue following my death. One need
not fear about the future of music.”*
(John Cage, Experimental Music, 1957)

Listas de ilustrações

Figura 1 – O modelo de DMI de Mark Marshall	24
Figura 2 – Sensor ADXL345	35
Figura 3 – Sensor ultrassônico HC-SR04	36
Figura 4 – Ângulo de ação do sensor HC-SR04	36
Figura 5 – Display LCD modelo JHD162a	38
Figura 6 – Diagrama de construção do GuitarAMI	40
Figura 7 – Módulo do primeiro protótipo do GuitarAMI	41
Figura 8 – Base do primeiro protótipo do GuitarAMI	41
Figura 9 – Primeiro protótipo do GuitarAMI	42
Figura 10 – Módulo do segundo protótipo do GuitarAMI	43
Figura 11 – Terceiro protótipo do GuitarAMI	44
Figura 12 – <i>Pedalbord</i> do GuitarAMI	45
Figura 13 – Possibilidades de estratégia de mapeamento	48
Figura 14 – Diagrama de classificação de mapeamento gestual	48
Figura 15 – Exemplo de um <i>patch</i> programado em PD	50
Figura 16 – <i>Patch</i> de mapeamento gestual do GuitarAMI	51
Figura 17 – <i>Subpatch</i> de conversão para MIDI CC	52
Figura 18 – Exemplo de um bloco criado no Integra Live	53
Figura 19 – <i>Patch experimentos_0.3.pd</i>	56
Figura 20 – <i>Patch Freeze</i>	58
Figura 21 – <i>Patch Env-shaper</i>	59
Figura 22 – Exemplo de envelope sonoro e utilização do <i>Env-shaper</i>	59
Figura 23 – Sessão de improviso rítmico livre	63
Figura 24 – Sessão de improviso utilizando o GuitarAMI	64
Figura 25 – Sessão de improviso livre incluindo todos os participantes do <i>workshop</i>	64
Figura 26 – Encerramento do curso “Música, Tecnologia e Criatividade”	66
Figura 27 – Apresentação do curso “Música, Tecnologia e Criatividade”	67
Figura 28 – Partitura-guia do curso “Música, Tecnologia e Criatividade”	69
Figura 29 – Apresentação da peça <i>Improviso em 3 Dimensões</i> pelo trio B.E.A.T.	71
Figura 30 – Cena sonora utilizada na performance <i>Improviso em 3 Dimensões</i>	72

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo da análise de alguns AMIs que utilizam violão ou guitarra elétrica em sua construção.	32
Tabela 2 – Algumas especificações do sensor ADXL345.	93

1 Introdução

Dentro do universo musical que se convencionou chamar de música eletroacústica, há diversas práticas e meios para utilização de recursos tecnológicos aplicados em composição e performance com o objetivo de explorar possibilidades de criação sonora e manipulações de sons já existentes em tempo real, prática também chamada de música eletroacústica com suporte dinâmico. Este trabalho parte desta prática para desenvolver um instrumento musical aumentado utilizando o violão e que proporcionará a ampliará as possibilidades de geração sonora do instrumento. Neste capítulo apresentaremos também uma retrospectiva histórica acerca do desenvolvimento da música eletroacústica mista e a utilização do suporte dinâmico em performance, além de abordar os objetivos específicos desta pesquisa.

1.1 A utilização do suporte dinâmico na música eletroacústica mista

Desde a música acusmática¹, a utilização de gravadores em fita magnética² e de dispositivos eletrônicos para mixagem, gravação/reprodução, edição de áudio, processamento sonoro em tempo real além de outras tecnologias de manipulação sonora transformaram profundamente nossa relação com a música.

É importante observarmos que não há consenso entre os autores acerca da nomenclatura dos diversos gêneros da música eletroacústica e nem mesmo há consenso sobre qual critério deve ser utilizado para tal classificação. Simon Emmerson discorre sobre os múltiplos significados do termo *live electronic music*, onde este pode significar tanto a música que combina instrumentos acústicos e sons eletrônicos previamente manipulados gravados em suporte fixo (*tape*) quanto a música que utiliza algum processo de síntese ou manipulação sonora em tempo real (EMMERSON, 2007, p. 104). Ainda segundo Emmerson, o termo equivalente ao processo de síntese ou manipulação sonora em tempo real em francês é *traitements en temps réel* enquanto a música que combina instrumentos acústicos e sons eletrônicos recebe, também em francês, a denominação *musique mixte*.

Denise Garcia também discute sobre a classificação de obras musicais em subgêneros da música eletroacústica. Em (GARCIA, 2007) a autora enumera algumas variantes que podem ser utilizadas para classificar obras musicais. O meio de produção e/ou difusão, a técnica ou processo de produção, o projeto poético, o período histórico e o instrumental

¹ Denominação criada por Pierre Schaeffer para designar a obra eletroacústica pura, ou seja, sem a utilização de instrumentos acústicos durante a performance e idealizada para difusão em alto-falantes (MENEZES, 2009, p. 27).

² Comumente denominado *tape*.

utilizado (mídia) são alguns destes critérios de classificação que podem ser utilizados.

Garcia sugere uma ampliação da classificação apresentada por Michel Chion em (CHION, 1977), na qual o autor utiliza três grandes grupos para ordenar obras musicais eletroacústicas de acordo com o uso de recursos eletrônicos ou de instrumentos musicais tradicionais em sua composição e performance. Para este trabalho utilizaremos a proposta de Garcia e Chion com pequenas modificações. Assim teremos:

- **Música eletroacústica com suporte fixo** ou música acusmática, realizada em estúdio segundo estéticas experimentais e que em sua performance apresenta a difusão da obra previamente gravada em algum tipo de suporte (*tape*) (GARCIA, 2007);
- **Música eletroacústica com suporte dinâmico** ou *live electronics*, realizada a partir de processos de síntese e manipulação sonora em tempo real; e
- **Música eletroacústica mista** ou simplesmente música mista, realizada com a utilização simultânea em performance de instrumentos acústicos e suporte eletrônico, sendo este fixo ou dinâmico.

Uma das definições de música que sintetizam a mudança de paradigma ocorrida nas primeiras décadas do século XX foi proposta por Edgard Varèse. Este define a música como arte do som organizado, trabalhando com suas nuances de espacialidade, andamento e direcionalidade para além do tratamento usual à época. Extrapolando esta concepção o timbre assume ainda mais importância na composição e performance musicais. Se até o final do século XIX esta propriedade sonora era amplamente trabalhada pelos luthiers ou construtores de instrumentos com algum controle sobre o timbre sob responsabilidade dos instrumentistas, a utilização de novas possibilidades trazidas pela tecnologia na primeira metade do século XX possibilitou uma expansão da manipulação dinâmica do timbre em tempo real e até mesmo a criação de novos timbres derivados de outros elementos sonoros, ampliando assim as possibilidades criativas da composição e performance musical.

Para compreendermos a profundidade destas mudanças é interessante recorrermos a uma citação de John Cage utilizada por Augusto de Campos em seu livro Música de Invenção:

Mais clara e ativamente do que qualquer outro em sua geração ele [Varèse] estabeleceu a presente natureza da música. Tal natureza não provém de relações de altura (consonância-dissonância) nem de doze sons ou de sete mais cinco (Schoenberg – Stravinski), mas de uma aceitação de todos os fenômenos audíveis como material próprio para música. Enquanto outros ainda estavam discriminando sons “musicais” de ruídos, Varèse internou-se no campo do som propriamente dito, sem dividi-lo em dois na sua percepção a partir de um preconceito musical. (CAMPOS, 2007, p. 114-115; Comentários nossos).

É importante frisar a relevância do próprio John Cage no avanço da experimentação na música que se utiliza de meios eletrônicos em sua criação ou performance. É

atribuído a Cage o pioneirismo da utilização de dispositivos eletrônicos juntamente com instrumentos tradicionais em sua obra *Imaginary Landscape nº 1* de 1939 (GRIFFITHS, 1998, p. 152) para *string piano*³, prato chinês e dois toca-discos de velocidade variável que continham gravações de sinais senoidais utilizadas pela Victor Talking Machine Co. (*Victor Frequency Record 84522A* e *Victor Frequency Record 84522B*). *Imaginary Landscape nº 1* foi concebida para execução como música gravada (MENEZES, 2009, p. 253) porém esta obra apontou uma possibilidade de interação entre instrumentos acústicos e dispositivos eletrônicos. É importante observar o modo como os equipamentos eletrônicos foram tratados por Cage nesta composição, similar ao de um instrumento tradicional, utilizando uma partitura tradicional onde os executantes dos toca-discos eram responsáveis unicamente pela mudança de velocidade dos aparelhos, optando entre as velocidades de 78 RPM e 33 1/3 RPM. Mais quatro peças foram compostas no período de 1942 a 1952 por Cage (*Imaginary Landscape nº 2-5*) utilizando dispositivos eletrônicos na performance.

Em 1952 Bruno Maderna compôs sua obra *Musica su Due Dimensioni*, para flauta, pratos e fita magnética estereofônica, na qual o compositor explorou a interação entre instrumentos acústicos e dispositivos eletrônicos (MENEZES, 2009). Nasce assim a música eletroacústica mista⁴. É interessante notar que a operação da fita magnética fica sob a responsabilidade de um técnico que, juntamente com o flautista, assumem o papel de solistas na obra.

A peça *Transición II*, composta por Mauricio Kagel entre 1958 e 1959 para piano, percussão (o instrumentista toca a parte interna do piano) e duas fitas magnéticas foi uma das primeiras obras musicais a manipular em tempo real sons gerados por instrumentos acústicos durante a performance. Kagel utilizou uma das fitas magnéticas para reprodução de sons previamente gravados, enquanto a segunda fita era responsável pela gravação de sons executados pelos instrumentistas, manipulação (principalmente corte) e reprodução, gerando um efeito de eco, remetendo à lembranças de eventos passados (MANNING, 2004, p. 158). Deste modo nasce a música eletroacústica mista com manipulação sonora em tempo real.

À partir da década de 1960 o interesse pela manipulação sonora dinâmica, ou *live electronics*⁵, crescia mesmo que as dificuldades técnicas e o alto custo dos equipamentos restringisse o acesso da maioria dos compositores a estas tecnologias (IAZZETTA, 2009). Karlheinz Stockhausen compôs em 1964 a peça *Mikrophonie I* para tantã, dois microfones, dois filtros passa-faixa e controladores para um sistema quadrifônico de alto-falantes (BURNS, 2002). O compositor nos apresenta um novo universo sonoro para além dos

³ Termo originalmente utilizado por Henry Cowell para designar a manipulação direta das cordas do piano pelo instrumentista (WILLIAMS, 1990)

⁴ Música que se utiliza tanto de instrumentos acústicos quanto de meios eletrônicos.

⁵ Música para meios ou dispositivos eletrônicos com manipulação sonora em tempo real.

sons audíveis do instrumento, onde os recursos eletrônicos são utilizados não somente para manipular o som, mas também para revelar eventos sonoros antes impossíveis de serem utilizados em performance e ainda manipular o modo como estes sons são difundidos no espaço de concerto.

Além de *Mikrophonie I*, Stockhausen compôs no mesmo período mais duas obras explorando o *live electronics*: *Mixtur*, ainda em 1964 e *Mikrophonie II* em 1965. Esta, considerada a mais significativa das três, foi composta para órgão Hammond, coro, quatro moduladores em anel e fita magnética. Utilizando excertos curtos de algumas de suas peças anteriores - *Gesang der Jünglinge* (1955-56), *Carré* (1959-60) e *Momente* (1961-64); Stockhausen realiza diversos processos modulatórios utilizando o material gravado, órgão e o coro dividido em quatro grupos formados por dois trios de sopranos e dois trios de baixos. (MANNING, 2004, p. 158). Stockhausen compõe diversas outras obras de *live electronics* entre 1966 e 1972: *Solo* (1966), *Pozession* (1967), *Kurzwellen* (1968), *Spiral* (1968), *Mantra* (1970), *Ylem* (1972).

Ainda na década de 1960 vários conjuntos especializados em *live electronics* foram criados na Europa (MANNING, 2004, p. 160-163): Stockhausen cria o *Stockhausen's ensemble* na rádio de Colônia; Franco Evangelisti fundou o *Gruppo di Improvvisazione Nuova Consonanza* em Roma no ano de 1964; Eddie Prévost, Keith Rowe e Lou Gare fundaram o *AMM* em Londres no ano de 1965; o *Musica Eletrônica Viva (MEV)* foi fundado em Roma no ano de 1966 por Allan Bryant, Alvin Curran, Frederic Rzewski, Jon Phetteplace e Richard Teitelbaum; Hugh Davies, juntamente com outros músicos residentes em Iorque criaram o *Gente Fire* (DAVIES, 2001); posteriormente Davies criou também o grupo *Naked Software* (MOONEY, em publicação); Roger Smalley e Tim Souster formaram o grupo *Intermodulation* em Cambridge (1969), posteriormente rebatizado de *0 dB* após a saída de Smalley em 1976; Johannes Fritsch e Hans Gelhaar se associaram após a saída do conjunto formado por Stockhausen e criaram o *Feedback ensemble* em 1970. A maioria destes *ensembles* se concentrava na improvisação livre (MANNING, 2004, p. 161), alguns porém se associaram a nomes como Cage e Stockhausen, executando obras compostas especificamente para estes *ensembles*.

Entre 1967 e 1968 na Universidade de Stanford, John Chowning descobriu uma técnica de síntese sonora utilizando modulação em frequência (FM) (DODGE; JERSE, 1997). A síntese FM foi patenteada em 1975 e licenciada para a Yamaha. Esta técnica representou, segundo Charles Dodge e Thomas Jerse, um grande avanço na busca por uma síntese sonora de alta qualidade (DODGE; JERSE, 1997, p. 115).

Durante a segunda metade dos anos 1970 outro importante método de síntese sonora foi proposto por Wolfgang Palm, fundador e principal desenvolvedor da companhia PPG⁶ (WOLFGANG..., 2015). *Wavetable synthesis* utiliza diferentes frequências gera-

⁶ A companhia Palm Products GmbH (PPG), fabricante de sintetizadores que iniciou suas atividades

das por um sintetizador ou gerador de sinais que são selecionadas arbitrariamente para produzir sons complexos (BRISTOW-JOHNSON, 1996).

David Tudor, compositor e colaborador de John Cage, participou ativamente do processo de transformação que partiu da música eletroacústica dos anos 50 e culminou no *live electronics*. Tudor foi um dos pioneiros na utilização de circuitos de realimentação⁷ em tempo real e possui importantes peças e instalações sonoras como *Fluorescent Sound* (1964), *Rainforest* (1968), *Untitled* (1972), *Toneburst* (1975) e *Pulsers* (1976). Tudor é frequentemente citado por outros compositores como um pioneiro na criação de equipamentos para performance e composição eletroacústica (HOLMES, 2008, p. 388).

A exploração de recursos tecnológicos e sua aplicação em música promovem um aumento da interdisciplinaridade entre artes, engenharia, neurociência, além de outras áreas. Alvin Lucier, em sua obra *Music for Solo Performer* (1965) utiliza ondas cerebrais (*alpha brainwaves*) amplificadas que atuam como excitadores para diversos instrumentos de percussão. Na obra *Vespers* (1968) vários intérpretes munidos de Sondols⁸ se movimentam em uma sala escura. Em *I Am Sitting in a Room* (1969), Lucier utiliza realimentação gravando uma locução realizada em determinada sala pelo próprio autor, tocando a mesma locução em alto-falantes e repetindo este processo diversas vezes para gerar um efeito degenerativo causado pelo ruído introduzido nos processos de gravação, além da ênfase em determinadas frequências de acordo com as características acústicas da sala (HOLMES, 2008, p. 122) e (MANNING, 2004, p. 166). Outras obras importantes deste compositor incluem *North American Time Capsule* (1966) e *Music On A Long Thin Wire* (1977).

É importante citar também compositores como David Behrman⁹, Gordon Mumma¹⁰ e Robert Ashley¹¹ que, juntamente com Lucier, fundaram a *Sonic Arts Union* em 1966 para promover e executar músicas e performances eletrônicas de seus participantes (NYMAN, 1999, p. 101).

Em meados de 1980 Barry Vercoe e Roger Dannenberg pesquisavam independentemente algoritmos para capacitar computadores ao reconhecimento e mapeamento de eventos sonoros. Enquanto Dannenberg pretendia que o computador fosse capaz de responder eventos sonoros predeterminados para que este pudesse interagir em performances

em 1975 com sede em Hamburgo, na Alemanha, foi responsável pela fabricação dos sintetizadores *Wave 2*. A empresa encerrou suas atividades no ano de 1987.

⁷ Feedback circuits, ou circuitos de realimentação, utilizam meios eletrônicos ou programação para realimentar sistema com sinais gerados por este, em detrimento à utilização de recursos acústicos para gerar feedback (HOLMES, 2008).

⁸ Sondols são dispositivos de localização baseados no sistema de ecolocalização dos morcegos, recriados utilizando geradores de pulso de baixa frequência

⁹ Obras notórias de David Behrman incluem *Sounds for a Film by Robert Watts* (1968) e *Runthrough* (1967–68).

¹⁰ Alguns importantes trabalhos de Mumma: *Medium Size Mograpg* (1963), *Mesa* (1966), *Hornpipe* (1967) e *Cybersonic Cantilevers* (1973).

¹¹ Algumas peças de Ashley incluem *Lecture Series* (1965) e *Automatic Writing* (1974–79).

sem a necessidade de padronização de eventos no domínio do tempo (DANNENBERG; MCAVINNEY, 1984), Vercoe almejava transformar o computador em um instrumentista artificial que pudesse interagir musicalmente com outros músicos em tempo real sem que estes pudessem notar significativa diferença entre a performance musical de humanos e máquinas (VERCOE, 1984). Estes estudos são classificados hoje como *score following* e os programas mais recentes são capazes de acompanhar áudio monofônico e polifônico, enviando comandos de controle, apontando posição na partitura ou mesmo grafando a música em tempo real. Exemplos de aplicação de *score following* em performance incluem os trabalhos de Tuti Fornari em notação interativa (FORNARI, 2011) além das pesquisas realizadas pelo grupo intitulado *Représentações Musicales* no IRCAM¹², incluindo o ambiente computacional *OMax*.

Todo este cenário, que já se mostrava promissor no final do século XX, oferece possibilidades ainda maiores graças a uma verdadeira revolução ocorrida com o avanço tecnológico no início do século XXI. O custo de processamento foi reduzido drasticamente, componentes eletrônicos sofreram miniaturização e diminuição de custo, o surgimento de computadores portáteis facilitaram sua utilização durante a performance, além da criação de formas facilitadas de programação, incluindo programas voltados para manipulação sonora utilizando programação visual. Com a popularização da internet houve um processo de democratização da informação que, aliado ao cenário de computação ubíqua (WEISER, 1991) do século XXI permitiram a criação de instrumentos musicais expandidos e/ou virtuais financeiramente acessíveis.

Podemos citar alguns exemplos de novas linhas de experimentação fomentadas por estas mudanças: o *DP Project*, utilizando software-livre e interfaces gestuais como descrito em (ALIEL; FORNARI, 2013); o desenvolvimento de instrumentos musicais imateriais, descrito em (FORNARI, 2012); a criação de instrumentos musicais digitais como o *T-Stick*, descrito em (MALLOCH, 2008). Iniciativas como estas já foram mencionadas por Perry Cook:

A performance musical com novas interfaces [instrumentos] de computador é atualmente corriqueira como resultado da disponibilidade de dispositivos eletrônicos de baixo custo, novos sensores para capturar diversos parâmetros como intensidade [do movimento] e localização e novos programas de computador para síntese e manipulação do som em tempo real. (COOK, 2001, p. 1; Tradução nossa)¹³

Aliando uma fácil programação com o livre acesso a diferentes tipos de controlado-

¹² O IRCAM (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique) é uma instituição de pesquisa dedicada à criação musical contemporânea e pesquisas científicas relacionadas à arte contemporânea (IRCAM..., 2015).

¹³ Musical performance with entirely new types of computer instruments is now commonplace, as a result of the availability of inexpensive computing hardware, of new sensors for measuring physical parameters such as force and position, and of new software for real-time sound synthesis and manipulation. (COOK, 2001, p. 1).

res, circuitos integrados, componentes eletrônicos e sensores diversos: acelerômetros, infravermelhos, ultrassônicos, capacitivos, condutivos, giroscópios, entre outros (WANDERLEY *et al.*, 2014)¹⁴, temos então todos os elementos para abordarmos novas formas de construção de *gestural controllers*¹⁵, dispositivos que serão utilizados para o controle do computador e consequentemente do áudio manipulado por este.

1.2 Motivadores do trabalho

A utilização de recursos eletrônicos, principalmente do computador, para a prática musical se tornou mais comum e acessível durante a primeira década do século XXI. Com o avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos o suporte eletrônico à música proporciona possibilidades de geração e manipulação sonora que antes não poderiam ser realizadas. Estas possibilidades vão além do desenvolvimento da escrita musical, da utilização da comumente chamada técnica expandida nos instrumentos tradicionais e da emancipação à concepção de sons musicais, ampliando significativamente as possibilidades de exploração sonora aplicada à música (IAZZETTA, 2011).

Do ponto de vista estético, a música eletroacústica mista por sua vez traz importantes questões relacionadas à performance e à composição abordadas por diversos teóricos, tal como, Flô Menezes e discutidas por Helen Gallo em seu artigo “*A querela dos tempos*: um estudo sobre as divergências estéticas na música eletroacústica mista (GALLO, 2006). Gallo argumenta acerca do uso de recursos eletroacústicos em tempo real (suporte dinâmico) em dicotomia à música eletroacústica utilizando meios eletrônicos em tempo diferido, ou seja, suporte fixo.

Um dos argumentos discutidos é a falta de flexibilidade oferecida pela música mista com suporte fixo, na qual o instrumentista deve seguir uma gravação usualmente inflexível. Gallo sugere ao final do artigo a utilização de linguagens de programação como Max/MSP¹⁶, criando um canal de comunicação em que o computador pode “ouvir” o instrumentista e responder à ações predeterminadas para execuções de música mista com suporte dinâmico. Desta forma, a performance pode abarcar tanto manipulação em tempo real quanto manipulações de diferentes fontes sonoras realizadas previamente.

Para além dos questionamentos levantados por Gallo, podemos abordar a relação entre música e tecnologia em composição por um viés evolucionista. Ao mesmo tempo

¹⁴ Lista de referencia criada pelo grupo de trabalho *Interactive Systems and Instrument Design in Music*, composto pelos pesquisadores Joel Chadabe (EMF), Cort Lippe (State UB Buffalo), Joseph Butch Rovan (Brown University), Marcelo M. Wanderley (McGill University), Nicola Orio (University of Padova), Norbert Schnell (IRCAM, France), Ross Kirk and Andy Hunt (University of York, UK). [Http://www.sensorwiki.org/](http://www.sensorwiki.org/).

¹⁵ Termo que pode ser traduzido para o português como interfaces ou controladores gestuais. (WANDERLEY, 2006, p. 1).

¹⁶ Max/MSP é uma linguagem de programação visual para manipulação de dados e áudio. <http://cycling74.com/products/max/>.

em que a utilização de recursos eletrônicos apresenta novas possibilidades de composição e improvisação, houve também um processo de expansão da técnica aplicada aos instrumentos acústicos (MANZOLLI, 2013). O diálogo entre a expansão técnica dos instrumentos acústicos, a expansão da eletrônica na música e como o artista pode utilizar conjuntamente estas duas ferramentas compostionais torna-se um dos principais eixos motivacionais desta pesquisa.

Ao buscar soluções técnicas às questões levantadas percebemos que é necessário prover uma comunicação eficiente entre o músico e o dispositivo responsável pela manipulação sonora. Na música eletroacústica mista esta comunicação pode ser realizada com o auxílio de outro intérprete responsável pelo controle de um computador onde são realizadas as manipulações ou disparados eventos sonoros independentes. Uma alternativa a esta prática é a utilização de *hyperinstruments* (MACHOVER; CHUNG, 1989), ou instrumentos musicais aumentados (ou ainda AMI, sigla de *Augmented Musical Instruments*) (MIRANDA; WANDERLEY, 2006), instrumentos musicais acústicos com adição de dispositivos eletrônicos, como sensores¹⁷, construídos especificamente para controlar o computador ou qualquer dispositivo utilizado na performance, ou seja, realizar a ponte entre o instrumentista e o dispositivo de manipulação sonora.

Estes AMIs são dispositivos de controle gestual criados para utilização juntamente com instrumentos acústicos e, além de *hyperinstruments*, também são usualmente chamados de controladores híbridos (WANDERLEY; DEPALLE, 2004). Ao final dos anos 1980, Tod Machover e Joe Chung já trabalhavam na construção de AMIs e ambientes de programação específicos para manipulação sonora em tempo real (MIDI/Lisp) no MIT (*Massachusetts Institute Of Technology*) Media Laboratory utilizando teclados, sintetizadores e controladores digitais conectados a computadores utilizando protocolo MIDI (MACHOVER; CHUNG, 1989).

Para a construção e consequente utilização em performance de AMIs é necessária a análise das possibilidades gestuais disponíveis durante a execução de cada instrumento musical¹⁸ conforme sugerido por Perry Cook (COOK, 2001).

Em resumo, para a construção de um AMI concebido para a utilização em um instrumento musical específico é necessária a análise das possibilidades gestuais do violonista, além da escolha de sensores e demais dispositivos que atendam à demanda de comunicação entre instrumentista e computador ou outro dispositivo de manipulação sonora.

É interessante estudar quais possibilidades gestuais podem ser exploradas na construção de um AMI para o violão e consequentemente quais sensores possuem características adequadas e produzirão o resultado almejado pelo compositor ou intérprete. As esco-

¹⁷ Sensores são transdutores construídos para detectar características do ambiente. Os sensores usualmente transmitem informação através de sinais elétricos ou ópticos.

¹⁸ Performer's spare bandwidth. (COOK, 2001).

lhas tomadas na criação de qualquer dispositivo deste tipo pressupõem comprometimentos com as características técnicas dos materiais e da forma como estes são utilizados. A interação entre instrumentos acústicos e recursos tecnológicos, segundo Joseph Thibodeau, une a maturidade adquirida em séculos de produção e utilização de instrumentos tradicionais com possibilidades quase ilimitadas de controle gestual oferecidas pelas tecnologias computacionais contemporâneas (THIBODEAU, 2011).

Na seção 2.3 - Análise de diversos AMIs utilizando violão ou guitarra elétrica analisaremos diversos AMIs construídos utilizando violões e guitarras elétricas, porém é interessante destacar alguns AMIs criados com diferentes instrumentos musicais e amplamente documentados pelos seus autores, entre eles:

- Trompetes: o *Meta-Trumpet*, de Bert Bongers e Johnathan Impett; o *Mutantrumpet*, de Ben Neill; o *Trumpet MIDI Controller*, de Thomas Craig e Bradley Factor, o *Electrumpet*, de Hans Leeuw e o *Symbiote*, de Joseph Thibodeau (THIBODEAU, 2011);
- Percussão: O *Mutha Rubboard*, de Carr Wilkerson (WILKERSON *et al.*, 2002) e a *Hyper-kalimba* de Joseph Malloch e Fernando Rocha (ROCHA, 2008);
- Saxofone: O *Metasaxophone*, de Matthew Burtner (BURTNER, 2002);
- Flautas: A *Hyper-Flute*, de Cléo Palacio-Quintin (PALACIO-QUINTIN, 2003) e a flauta aumentada de Andrey R. da Silva (SILVA *et al.*, 2005);
- Trombones: Os trombones aumentados de Neal Farwell (FARWELL, 2006) e Serge Lemouton (LEMOUTON *et al.*, 2006);
- Tuba: Scuba, de Juan Pablo Cáceres (CÁCERES *et al.*, 2005);
- Violinos: O *Overtone Violin* de Dan Overholt (OVERHOLT, 2005) e o violino aumentado de Frédéric Bevilacqua (BEVILACQUA *et al.*, 2006);
- Violoncelo: O instrumento aumentado de Adrian Freed (FREED *et al.*, 2006).

1.3 Escopo do trabalho

Este trabalho trata da construção e utilização de um AMI especificamente para o violão, analisando possibilidades gestuais durante a execução do instrumento e selecionando sensores e equipamentos adequados à tarefa com base nas informações obtidas.

Uma das premissas do trabalho é que o dispositivo construído possa ser utilizado em qualquer violão. Esta é uma característica interessante pois o instrumentista possui a opção de utilizar violões com determinado comportamento sonoro, alguns com marcantes características físicas ou com o qual o instrumentista possui maior afinidade e ainda assim

beneficiar-se das funcionalidades do AMI. Para tanto, o dispositivo criado deve ser não invasivo¹⁹ e que possibilitem sua montagem em diferentes instrumentos.

Um dos assuntos abordados neste trabalho será a relevância de AMIs e demais recursos eletrônicos na educação musical. Em minha prática docente é comum a utilização destes recursos com alunos de instrumento de diversos níveis. Discutiremos a utilização do AMI construído, além da adaptação de equipamentos complementares como *smartphones* e outros dispositivos eletrônicos portáteis para a educação musical.

Para esta pesquisa optamos pela utilização da linguagem de programação PD²⁰ e do programa *Integra Live*²¹ para síntese e manipulação sonora. Neste trabalho não abordaremos outras linguagens e programas como Max/MSP, SuperCollider, Ableton Live, entre outros.

¹⁹ Entende-se aqui como não invasivo o dispositivo que pode ser utilizado junto a um instrumento musical tradicional sem a necessidade de quaisquer alterações permanentes em suas características físicas.

²⁰ PD, ou *Pure Data* é uma linguagem de programação de código aberto desenvolvido originalmente no IRCAM por Miller Puckette e projetado para criar algoritmos (patches) de geração, controle e manipulação de dados de controle, áudio e vídeo em tempo real (PURE DATA..., 2015). Mais informações na seção 3.2 - Pure Data como plataforma de mapeamento gestual, síntese e manipulação sonora (página 49).

²¹ O *Integra Live* é um programa para composição e performance musical em tempo real (INTEGRA LIVE, 2015). Mais informações na seção 3.3 - *Integra Live* como possibilidade de plataforma de performance (página 53).

2 Construção do GuitarAMI

No processo de construção de um AMI a coleta de informações sobre características físicas do instrumento musical acústico utilizado, possibilidades gestuais do instrumentista e dispositivos eletrônicos responsáveis pela geração de dados é crucial para que o instrumento construído atenda às expectativas do instrumentista. Neste capítulo discutiremos sobre os aspectos da construção do de um AMI, desde os conceitos necessários à confecção do diagrama de construção, analisando a escolha dos gestos que geraram os dados de controle utilizados no dispositivo e apresentando o progresso da construção durante a pesquisa.

2.1 Luteria digital

A relação entre a interface física e o gesto (ou possibilidade gestual) do instrumentista é de suma importância para a criação e utilização de instrumentos musicais digitais, ou DMIs¹. Esta interface física é responsável pelo elo de comunicação entre o intérprete e o computador (ou instrumento digital). Mark Marshall analisa vários modelos para construção de DMIs propostos por Bert Bongers, Marcelo Wanderley, Perry Cook e David Birnbaum e identifica alguns componentes principais presentes nos quatro modelos:

Ele [O modelo] pode ser visto como sendo constituído por três componentes principais: **A interface física** contendo os sensores, atuadores e corpo físico do instrumento; **O sistema de síntese de software** que cria tanto a saída sonora do instrumento e qualquer resposta visual, tático e/ou vibrotátil; **O sistema de mapeamento** em que as conexões são feitas entre os parâmetros da interface física e as do sistema de síntese.

A interface física de um instrumento musical digital é a parte do instrumento com o qual o intérprete interage. Trata-se do corpo físico do instrumento, os sensores utilizados para detectar gestos do intérprete e quaisquer atuadores que produzem feedback para o intérprete. (MARSHALL, 2008, p. 25-26; Tradução nossa)².

¹ DMI, sigla de *Digital Musical Instrument*, denomina de forma generalizada controladores digitais criados especificamente para prática musical. Neste contexto, os AMIs são uma subcategoria de DMIs (MENESES; FORNARI, 2015b; MIRANDA; WANDERLEY, 2006).

² It [the model] can be seen as consisting of 3 main components: **The physical interface** containing the sensors, actuators and physical body of the instrument; **The software synthesis system** which creates both the sonic output of the instrument and any visual, haptic and/or vibrotactile feedback; **The mapping system** in which connections are made between parameters of the physical interface and those of the synthesis system.

The physical interface of a digital musical instrument is the part of the instrument with which the performer is interacting. It consists of the physical body of the instrument, the sensors used to detect performer gestures and any actuators which produce feedback to the performer. (MARSHALL, 2008, p. 25-26)

Marshall então propôs um modelo combinado de um instrumento musical digital, baseado nos trabalhos de Bongers, Wanderley, Cook e Birnbaum, apresentado na figura 1.

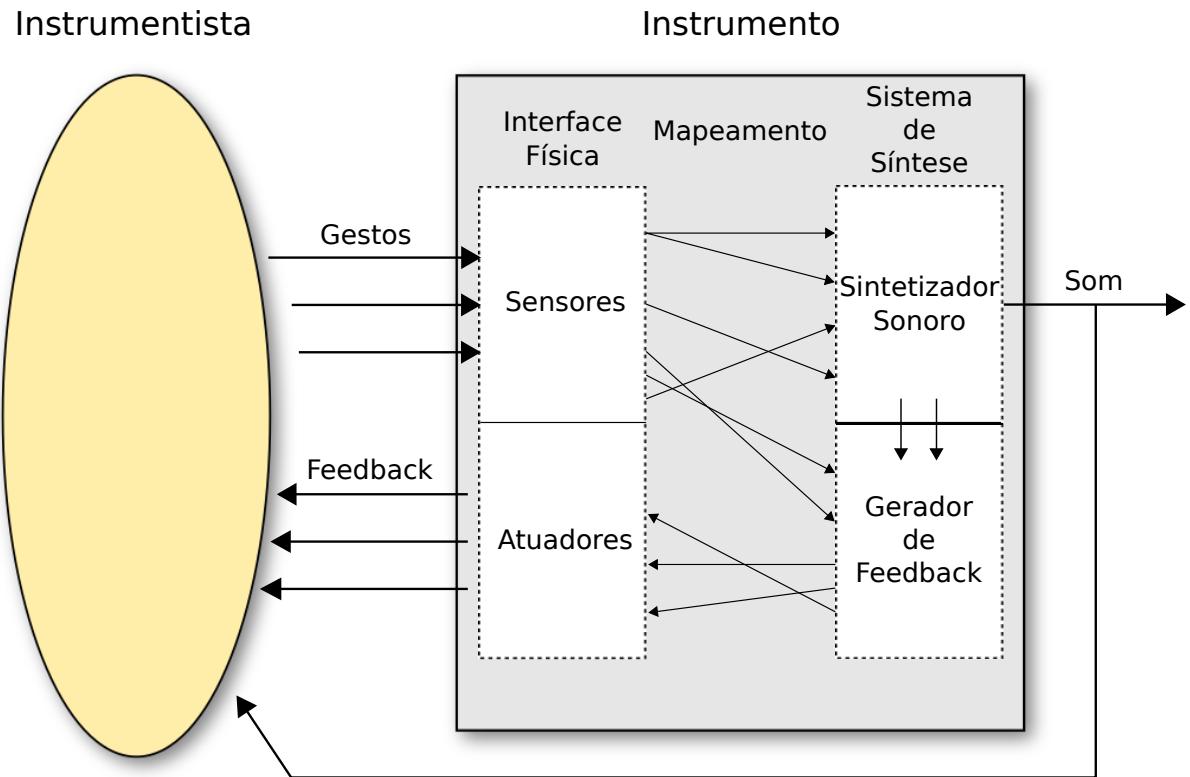


Figura 1 – O modelo de DMI de Mark Marshall, criado a partir da combinação dos modelos anteriormente propostos por Bongers, Wanderley, Cook e Birnbaum (MARSHALL, 2008, p. 26).

Ao utilizar diferentes sensores, atuadores ou algoritmos em determinado DMI estamos, portanto, criando um novo DMI. Um computador pode atuar simultaneamente como interface física, sistema de síntese, manipulação e, consequentemente, como sistema de mapeamento gestual. Esta configuração, no entanto, desfavorece o controle do sistema de síntese por não considerar as possibilidades gestuais disponíveis ao intérprete. A utilização e, consequentemente, a produção de interfaces físicas que considerem estas possibilidades gestuais tornaram-se mais acessíveis a partir da segunda metade da década de 1980, onde esta possibilidade de construção transformou o compositor em um luthier digital e, para além disso, proporcionou uma interação entre obra e dispositivo na qual este dispositivo passa a ser parte integrante da obra (IAZZETTA, 2009, p. 181).

É possível também pensarmos em DMIs de acordo com suas similaridades com instrumentos acústicos (MIRANDA; WANDERLEY, 2006), classificando-os em quatro categorias:

- a) Instrumentos musicais aumentados (AMIs), conforme descritos na seção 1.2 - Motivadores do trabalho, e que são o foco deste trabalho;
- b) Controladores similares aos instrumentos acústicos, que se utilizam da similaridade com instrumentos tradicionais para se beneficiar do treinamento, da técnica e da proficiência dos instrumentistas tradicionais;
- c) Controladores inspirados em instrumentos acústicos que, assim como os controladores similares aos instrumentos acústicos, se beneficiam da bagagem trazida por um instrumentista, porém não tentam emular o instrumento inspirador, mas criar um projeto derivado deste;
- d) Controladores alternativos, que não se baseiam ou derivam de um instrumento acústico.

Inseridos nos controladores alternativos também podemos acrescentar os controladores sem corpo físico, em que a captura é feita usualmente por câmeras ou outros sensores que não requerem o contato físico, a exemplo da performance *tIRAtEIMAS* (FORNARI, 2012) e da instalação *Abstrações* (MAMEDES *et al.*, 2011); Ou por dispositivos como o *Microsoft Kinect*³, a exemplo dos trabalhos (TRAIL *et al.*, 2012) e (YOO *et al.*, 2011). Por não haver interação física entre dispositivo e intérprete, podemos considerar a câmera ou o Kinect como sensores em um sistema cuja a interface é virtual (MULDER, 2000).

Para utilização na prática de música eletroacústica mista e mais especificamente do *live electronics*, a escolha pelo AMI parece ser acertada e permite que o instrumentista tenha controle tanto do instrumento quanto do sistema de síntese de software.

2.2 Possibilidades gestuais na performance violonística

Durante a construção de um AMI é interessante atentar para as particularidades de execução do instrumento, explorando assim as possibilidades de comunicação entre músico e computador de forma a contribuir na performance. Devemos também delimitar uma clara divisão entre as questões técnicas referentes à construção de DMIs e questões artísticas ou estéticas referentes à utilização de tais dispositivos em composição ou performance. Em outros termos, o objetivo técnico é a concepção e construção de um AMI funcional para a interação entre o instrumentista e computador de acordo com determinados parâmetros preestabelecidos, enquanto podemos, após a construção do AMI, investigar de forma prática as possibilidades artísticas de utilização do dispositivo construído. É interessante notar que a concepção parte de uma motivação artística e a construção do

³ o Microsoft Kinect é um sensor construído com uma câmera colorida, uma câmera infravermelho e um projetor infravermelho capazes de mapear o movimento corporal de múltiplos usuários (ZHANG, 2012).

AMI está subordinada a esta concepção porém, ao experimentar o dispositivo construído podem surgir novas possibilidades artísticas não concebidas previamente.

Marcelo Wanderley atenta para o estudo do gesto musical, que ele considera fundamental na concepção de um AMI funcional:

(...) um gesto pode não ser necessariamente executado pelas mãos (por exemplo, o sopro de um flautista); podemos falar de um gesto corporal instrumental. Outro gesto importante em música, aquele que acompanha os movimentos executados por um instrumentista quando ele toca o seu instrumento, é o gesto acompanhador (Delalande, 1988)⁴ ou auxiliar (Wanderley, 2001)⁵ (Wanderley, 2002b)⁶, também chamado movimento expressivo (Davidson, 1993)⁷. Finalmente, em um nível mais elevado, um gesto musical pode não ter, necessariamente, uma relação direta com um movimento corporal (Delalande, 1988). (WANDERLEY, 2006, p. 2; Comentários nossos).

Ao discorrer sobre gesto nos deparamos com a enorme quantidade de definições e com o fato de que todas estas são complementares, atendendo a determinados contextos (CADOZ; WANDERLEY, 2000, p. 74). Trabalharemos com a definição de gesto instrumental proposta por Cadoz e Wanderley (CADOZ; WANDERLEY, 2000).

Os gestos instrumentais, segundo Cadoz e Wanderley, poderão ser classificados em efetivos, acompanhadores ou figurativos. Em oposição aos gestos instrumentais temos que considerar também o gesto livre⁸ que, segundo os autores, não se configura como gesto instrumental pois não há interação física entre instrumentista e instrumento. O gesto livre pode, porém, ser utilizado para controlar parâmetros de manipulação e síntese sonora com o auxílio de sensores e câmeras.

Uma última consideração acerca da definição e classificação dos gestos refere-se ao conceito de postura corporal que, segundo Cadoz e Wanderley, difere do conceito de gesto. De fato, os autores tratam postura e gesto como conceitos dicotômicos, onde o gesto remete a movimento, enquanto a postura remete à posição estática.

Com estas classificações em mente é possível observarmos algumas possibilidades gestuais de um violonista ao executar seu instrumento. É usual que o instrumentista toque sentado, utilizando-se de apoio de pé ou suporte de violão. Há possibilidade restrita de utilização de gestos livres no violão pois a emissão da maioria das notas tradicionalmente

⁴ DELALANDE, F. *La Gestique de Gould*. In Glenn Gould Pluriel. Louise Courteau, editrice, pp.85-111,1988.

⁵ WANDERLEY, M. *Performer-Instrument Interaction: Applications to Gestural Control of Music*. PhD Thesis. Paris, France: University Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2001.

⁶ WANDERLEY, M. *Quantitative Analysis of Non-Obvious Performer Gestures*. In I. Wachsmuth and T. Sowa, eds. *Gesture and Sign Language in Human-Computer Interaction*. Springer Verlag, pp. 241-253, 2002. (b)

⁷ DAVIDSON, J. *Visual Perception of Performance Manner in the Movements of Solo Musicians*. In *Psychology of Music*, volume 21, pp. 103 – 113, 1993.

⁸ *Geste à nu* no original.

requer ação concomitante das duas mãos do instrumentista, uma delas para digitar no braço do instrumento e outra para atacar as cordas. Há possibilidade de movimentar o instrumento, além de afastá-lo e aproximá-lo do corpo, além da utilização de técnicas expandidas como por exemplo o toque abafado (*pizzicato*), tambora ou percussão no corpo do instrumento.

Classificando estes dados temos:

- a) Postura: sentado em cadeira com apoio de pé (ação de um dos pés livre) ou suporte para violão (ação dos dois pés livres);
- b) Gestos instrumentais:
 - Efetivos: ação das mãos esquerda e direita, movimento do instrumento;
 - Acompanhador (ou auxiliar): ação dos braços ao conduzir as mãos para determinada posição, movimentos de ombro, cabeça e tronco;
 - Figurativos: gestos musicais observáveis por percepção auditiva (MÉTOIS, 1996);
- c) Gestos livres: possíveis na ausência de gestos efetivos.

De posse destas informações podemos planejar a construção de um AMI para o violão que utilize possibilidades gestuais não conflitantes com as ações necessárias à prática instrumental.

2.3 Análise de diversos AMIs utilizando violão ou guitarra elétrica

Enquanto o violão utiliza tímda e gradualmente recursos eletrônicos de manipulação sonora ao longo da segunda metade do século XX em situações predominantemente ligadas à música eletroacústica, a guitarra elétrica se apropria de tais manipulações como parte intrínseca da prática instrumental. Se podemos pensar nos pedais de efeitos de uma guitarra como dispositivos de manipulação timbrística, concluímos que o conjunto formado pela guitarra, pedais e processadores de efeito, além do sistema de amplificação formam configuração semelhante a AMIs.

Estes equipamentos, no entanto, são comumente vistos como parte regular do instrumento e não como uma extensão ou aumento de suas características. Podemos justificar este entendimento considerando o fato de que os efeitos utilizados na guitarra elétrica possuem usualmente possibilidades de controle unidimensionais (a exemplo do pedal *Wah Wah*) ou apenas a possibilidade de ativar ou desativar algum processo previamente configurado (a exemplo de pedais de distorção ou delay) (DONOVAN; MCPHERSON, 2014). Assim, quando falamos em AMIs constituídos por guitarra ou violão usualmente nos referimos à utilização de sensores e atuadores, além de processos de síntese e manipulação

sonora utilizando *softwares* e linguagens de programação especificamente concebidas para a tarefa.

A utilização da guitarra na construção de AMIs apresenta algumas facilidades em relação à construção utilizando violão. O sistema de captação utilizado nas guitarras elétricas simplifica o processo de captura e manipulação sonora, além da utilização regular de pedais de efeito que facilita a curva de aprendizado e a adaptação do guitarrista para a execução de gestos livres na performance.

Alguns AMIs construídos com a utilização de guitarra elétrica ou violão encontrados durante esta pesquisa incluem a *Mobile Wireless Augmented Guitar*, a *Multimodal Guitar*, o *Augmentalist*, a *Talking Guitar*, o *Carolan* e o *SmartGuitar*.

A *Mobile Wireless Augmented Guitar*, descrita por Nicolas Bouillot, Mikewoz Wozniowski, Zack Settel e Jeremy Cooperstock em (BOUILLOT *et al.*, 2008), é apresentada pelos autores como um instrumento aumentado constituído por um sistema composto por uma guitarra elétrica, um Wii Remote, um sistema embarcado (Gumstix⁹) e um computador portátil para processamento do sinal de áudio.

A primeira proposta era de criar um sistema autônomo de processamento digital de sinais que permitisse ao instrumentista sintetizar sons utilizando o áudio da guitarra através do processo de síntese *phase vocoder* e controlar este processo de síntese através dos sensores presentes no Wii Remote. A implementação final teve de ser alterada pois o sistema embarcado utilizado não possuía poder de processamento suficiente para efetuar a síntese sonora (BOUILLOT *et al.*, 2008). A solução adotada foi enviar tanto o sinal de áudio quanto os dados de controle através de rede sem fio do Gumstix para o laptop, que possui poder de processamento suficiente para a síntese sonora.

Para gerar os dados de controle utilizados na *phase vocoder* o Wii Remote foi afiado na mão do instrumento. O acelerômetro do Wii Remote foi utilizado para controlar simultaneamente o ponto de leitura e a altura (*pitch shifting*) da amostra de áudio utilizada. Os botões existentes no controle foram mapeados para acionar funções de gravação da amostra de áudio, ligar ou desligar o controle de altura ou habilitar efeitos tradicionalmente utilizados na guitarra, como distorção, por exemplo.

Os artigos que discorrem sobre a *Mobile Wireless Augmented Guitar* apresentam, além do *feedback* auditivo, o *feedback* visual fornecido por quatro LEDs presentes no Wii Remote. Estes LEDs usualmente fornecem ao instrumentista informação acerca do funcionamento do acelerômetro, alertando quando o movimento executado pelo instrumentista é muito lento e não foi suficiente para ativar o sensor.

A *RANGE Guitar*, apresentada na *Sound and Music Computing Conference* em 2013, é um AMI construído com a utilização de uma guitarra elétrica e potenciômetros

⁹ <<https://www.gumstix.com/>>.

de membrana instalados de forma não invasiva no instrumento (MACCONNELL *et al.*, 2013).

A *RANGE Guitar* foi concebida para utilização de gestos livres no controle de quaisquer algoritmos programados pelo instrumentista em Pure Data. Um aspecto interessante neste AMI é a utilização de um sistema embarcado (Beaglebone¹⁰) que, apesar de não possuir o mesmo poder de processamento de um laptop, demonstrou performance suficiente para as tarefas designadas durante a pesquisa (MACCONNELL *et al.*, 2013). Esta configuração não utiliza monitores ou qualquer tipo de *feedback* além do sonoro.

A *Multimodal Guitar* foi construída utilizando um captador hexafônico instalado em uma guitarra elétrica, além de 3 sensores resistivos (FSRs ou *Force Sensitive Resistors*) instalados na parte de trás do instrumento. O captador hexafônico é responsável pela conversão das notas executadas pelo instrumentista em sinais MIDI que são, juntamente com os dados gerados pelos FSRs, enviados ao Max/MSP ou ao Pure Data para controle de algoritmos de manipulação sonora previamente programados (REBOURSIÈRE *et al.*, 2010).

Os algoritmos programados para a *Multimodal Guitar* permitem a síntese modal¹¹, *infinite sustain* através de síntese granular, *loop station* e um *harmonizer* capaz de gerar intervalos harmônicos configuráveis para cada uma das cordas da guitarra.

No artigo analisado não há informações acerca do computador utilizado para executar os algoritmos portanto não é possível afirmar que haja possibilidade da utilização de *feedback* visual através de alguma tela de computador. É possível, no entanto, confirmar a utilização de *feedback* sonoro através dos relatos constantes em (REBOURSIÈRE *et al.*, 2010).

A *Talking Guitar* é também um AMI construído com a utilização de uma guitarra elétrica. Liam Donovan e Andrew McPherson relatam a construção e utilização da *Talking Guitar* em (DONOVAN; MCPHERSON, 2014), onde declaram que o principal objetivo foi criar uma forma intuitiva de controlar um algoritmo de manipulação sonora baseado no pedal de efeito *wha wha* programado pelos autores em Max/MSP.

A movimentação da guitarra é captada através de uma câmera que rastreia a movimentação de uma bola iluminada por LED e presa à mão do instrumento. O mapeamento deste dado gestual é utilizado para definir quais vogais e consoantes formarão as sílabas que serão utilizadas para geração sonora.

Não foi relatada a utilização de procedimentos para *feedback* além do sonoro e os resultados analisados mostram comportamentos interessantes dos músicos participantes. Donovan e McPherson relataram uma preferência por movimentos radiais ao invés de

¹⁰ <<http://beagleboard.org/>>.

¹¹ Modificação do som emitido pelo instrumento com o intuito de simular a utilização de diferentes materiais ou alterações no tamanho do instrumento.

circulares e a hipótese levantada pelos autores é de que este tipo de movimentação da mão do instrumento se mostrou mais intuitiva para os músicos.

O *Augmentalist*, apresentado por Dan Newton e Mark Marshall em (NEWTON; MARSHALL, 2011), não é um AMI e sim uma plataforma para aumentar diferentes instrumentos musicais com a utilização de sensores e microcontroladores previamente programados para converter os dados de controle recebidos dos sensores em sinais MIDI que foram enviados ao Max/MSP e utilizados para mapeamento gestual e controle de *plugins* de áudio do programa *Apple Logic Pro*.

O objetivo proposto por Newton e Marshall foi analisar como os músicos envolvidos utilizaram os recursos disponibilizados pelo *Augmentalist* na criação de AMIs personalizados para cada performance. Além de apresentar novas possibilidades de expressão artística, a análise dos experimentos com o *Augmentalist* revelou padrões na construção de AMIs além de uma importante diferença entre dispositivos cujo objetivo é controlar processos de manipulação sonora e dispositivos com o objetivo de acrescentar possibilidades musicais aos movimentos já executados pelo instrumentista.

Assim como o *Augmentalist*, o *UniCoMP* é uma plataforma que permite ao instrumentista enviar dados de controle para um computador utilizando sensores e a tela *touch screen* do telefone celular. Estes dados são enviados para um laptop e mapeados através da plataforma Max/MSP. Os dados podem então ser utilizados para uma estação de trabalho de áudio digital (DAW¹²), um sintetizador de software ou um pedal multiefeitos de guitarra (HÖDL; FITZPATRICK, 2013).

Na *SmartGuitar* os pesquisadores da *Acoustique Instrumentale*, sediada no IRCAM, utilizaram sensores, atuadores e microcontroladores para que o instrumento acústico se torne o seu próprio sistema de amplificação, e emita uma mistura de seu som acústico e sons sintetizados ou manipulados digitalmente (IRCAM(AI)..., 2015).

A *SmartGuitar* faz parte de um grupo de projetos intitulado *SmartInstruments* que incluem também um violoncelo e um trombone.

O *Carolan* é um AMI que utiliza o violão em sua construção. Porém, diferentemente dos instrumentos previamente analisados, o objetivo de sua construção não foi a realização de síntese ou manipulações sonoras, mas utilizar o conceito de *Internet das coisas*¹³ para criar uma impressão digital que revela a trajetória deste instrumento e pode ser seguida pela internet.

No artigo apresentado por Steve Benford, Adrian Hazzard, Alan Chamberlain e Liming Xu (BENFORD *et al.*, 2015), é relatada a utilização de tecnologia similar à aplicada em *QR Codes* para criar um instrumento decorado com Nós Celtas que podem

¹² Sigla de *Digital Audio Workstation*.

¹³ Do inglês *Internet of Things*.

ser reconhecidos pelos dispositivos eletrônicos com o auxílio de um *software* específico.

É interessante notar que os nós são esculpidos no instrumento e que a “leitura” de diferentes partes do violão são mapeados de forma a apresentar informações diversas obtidas através da internet.

Os autores relataram que além da utilização da *Carolan* gerar uma história e um histórico próprio do instrumento, incentivou aos instrumentistas que tiveram contato com o AMI a relembrar e relatar outras histórias relacionadas às suas próprias experiências pessoais.

Tabela 1 – Resumo da análise de alguns AMIs que utilizam violão ou guitarra elétrica em sua construção.

Nome (instr.)	Objetivo declarado	Informação de Controle	Sensores e atuadores	Feedback	Referência
Carolan (violão)	Instrumento socialmente aumentado	Nenhuma	Padrões gráficos célticos	Visual	(BENFORD <i>et al.</i> , 2015)
SmartGuitar (violão)	Manipulação sonora em tempo real	Nenhuma	Pedais de efeito externos e atuador (vibração) montado internamente no instrumento	Sonoro	(IRCAM(AI)..., 2015)
RANGE guitar (guitarra)	Plataforma para criação de algoritmos de manipulação sonora	gestos livres utilizando sensores montados no instrumento	Potenciômetros de membrana	Sonoro	(MACCONNELL <i>et al.</i> , 2013)
Mobile Wireless Augmented Guitar (guitarra)	Controle de <i>Phase Vocoder</i>	Movimentação da mão do instrumento	Nintendo Wii Remote	Sonoro	(BOUILLOT <i>et al.</i> , 2008)
Multimodal Guitar (guitarra)	Controle de processos de síntese e manipulação sonora	Análise de áudio e contato do instrumentista com o corpo do instrumento	Sensor resistivo (FSR ou <i>Force Sensitive Resistor</i>)	Sonoro	(REBOURSIÈRE <i>et al.</i> , 2010)
Talking Guitar (guitarra)	Controle de um processo específico de manipulação sonora	Movimentação da mão do instrumento (<i>headstock tracking</i>)	Led e webcam	Sonoro	(DONOVAN; MCPHERSON, 2014)
UniCoMP (multi-instrumento)	Manipulação sonora em tempo real	Movimentação do pulso do instrumentista e controle com <i>touch screen</i>	Sensores e atuadores presentes no telefone celular	Visual	(HÖDL; FITZPATRICK, 2013)
The Augmentalist (multi-instrumento)	Envio de informação de controle em protocolo MIDI	Variável de acordo com o sensor escolhido	Phidgets	Sonoro	(NEWTON; MARSHALL, 2011)

2.4 Plataforma de hardware para a criação do AMI

Se a escolha dos sensores e o estudo das possibilidades gestuais do instrumento são importantes para a construção de um AMI efetivo, o processamento destas informações em tempo real e o envio para o sistema de síntese de software é fundamental para a utilização do dispositivo pelo intérprete.

Existem diversas opções de envio e processamento destes dados e a escolha do equipamento pressupõe comprometimento com as vantagens e desvantagens de cada opção. Um exemplo é a construção do *Symbiote*, de Joseph Thibodeau, para o qual o autor optou pela utilização de um único componente tanto para recebimento de dados quanto para processamento, utilizando o microcomputador ARM7 LPC-E2468, desenvolvido pela empresa *Olimex*. O AMI construído por Thibodeau prevê a utilização de nós (*nodes*), que podem alterar a configuração dos sensores utilizados e, neste caso, o autor utilizou PSoC (*Programmable System-on-Chip*), produzidos pela *Cypress Semiconductor*, além de outros microcontroladores disponíveis no mercado (THIBODEAU, 2011).

Todas estas escolhas trazem intrinsecamente características técnicas destas ferramentas que influenciam diretamente na construção e funcionamento do AMI. Diferentes microcomputadores, controladores e sensores possuem diferentes níveis de precisão e exatidão e uma curva específica de resposta, além da documentação disponível, que pode ser ampla ou restrita dependendo do produtor ou da comunidade de usuários.

Quando falamos de microcontroladores temos que considerar também a facilidade de programação, que é definida não somente pela complexidade da sua linguagem de programação mas pela curva de aprendizado e, como foi citado anteriormente, pela atividade da comunidade e documentação disponíveis. Esta característica é especialmente importante pois instrumentistas e compositores usualmente possuem pouca experiência com programação de computadores e microcontroladores.

A opção de plataforma para utilização em nosso AMI foi o Arduino¹⁴. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* de projeto aberto (que pode ser utilizado e modificado livre e gratuitamente) que utiliza um conjunto de equipamentos e componentes intercambiáveis que podem ser utilizados para montar dispositivos eletrônicos para quaisquer necessidades, incluindo o controle de manipulações sonoras em tempo real (MENESES *et al.*, 2015b). Como dito anteriormente, uma grande dificuldade enfrentada na criação de quaisquer dispositivos eletrônicos é a programação do microcontrolador para a realização de determinada tarefa. Tendo a plataforma Arduino um hardware microcontrolador de fácil programação como elemento central e que esta programação pode ser escrita no computador e transferida para o microcontrolador diretamente através de conexão USB presente na própria placa, este processo é simplificado.

¹⁴ [Http://www.arduino.cc/](http://www.arduino.cc/).

Por se tratar de uma plataforma de hardware de código aberto (open-source) podemos encontrar facilmente placas e componentes compatíveis com o Arduino e sua programação. Além disso, o ambiente de programação do Arduino é baseado em Wiring e C++, linguagens de programação amplamente difundidas e bem documentadas. Por fim, o Arduino conta com uma ampla e atuante comunidade de usuários da plataforma. Esta comunidade fornece tutoriais, códigos prontos para diversas tarefas e sensores, além de testes e relatos de caso, tornando a montagem, programação e implementação acessível a músicos com pouca experiência em eletrônica e computação.

2.5 Sensores e outros dispositivos de entrada e saída de dados

Baseando-nos nas possibilidades de gestos efetivos e/ou livres apresentados na prática violonística pode-se selecionar sensores que captarão dados destes movimentos para envio ao computador.

Os movimentos selecionados para aquisição de informação de controle são movimentações do instrumento em três eixos diferentes, a posição relativa do violão, a distância entre o violão e o instrumentista. Além destes gestos acrescentamos a possibilidade de captar batidas no sensor instalado no instrumento. Estas escolhas são baseadas na possibilidade de pleno controle do posicionamento do instrumento pelo violonista. É importante notar que esta movimentação do instrumento possui um limite de ação e que os sensores escolhidos deverão ser dimensionados para esta faixa de atuação.

Não é desejável sobrecarregar o músico com gestos livres que eventualmente possam comprometer a execução do instrumento (TAVARES, 2013), mas fornecer certo controle através da exploração de gestos efetivos e acompanhadores já executados durante a performance, acrescentando novo sentido aos gestos já executados comumente pelo instrumentista.

Gestos livres, portanto, serão utilizados para sustentação/suspensão de processos de manipulação sonora ou para alterar cenários com diferentes processos de síntese e manipulação sonoras, além do disparo de eventos previamente programados.

Para a coleta de dados referentes aos gestos efetivos de movimentação do instrumento serão utilizados 2 sensores acoplados ao violão: o sensor inercial (acelerômetro) ADXL345 e o sensor ultrassônico HC-SR04. Ambos foram montados em um invólucro que será fixado ao instrumento de forma não invasiva.

O sensor inercial ADXL345, produzido pela Analog Devices, possui características que possibilitam sua utilização para aquisição de múltiplos gestos simultaneamente. Suas funções incluem o aferimento de aceleração própria em 3 eixos, detecção de batidas leves simples (*tap*) e duplas (*double tap*), monitoramento de atividade e inatividade e detecção

de queda livre. Além disto possui ajuste de resolução e baixo consumo de energia.

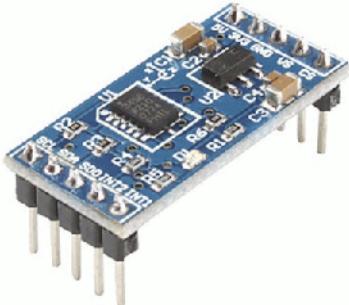


Figura 2 – Sensor ADXL345, produzido pela *Analog Devices* e utilizado para aferir a posição do corpo e da mão do violão.

Devido às características físicas do sensor é necessária a calibração após montagem do dispositivo, principalmente para a função de aceleração dos 3 eixos. No anexo B são apresentadas as especificações técnicas necessárias para a calibração.

É também necessária uma compensação devido ao ângulo de montagem do sensor no instrumento. De acordo com o posicionamento do sensor e da postura do instrumentista há calibração do ponto de repouso do instrumento e ajuste de sensibilidade para que o acelerômetro não gere oscilação na leitura de posição (*flickering*) com o instrumento estático.

Uma vez efetuada a calibração é possível mapear a posição do instrumento e utilizar esta movimentação para gerar diferentes parâmetros de controle, como por exemplo movimentação relativa em 2 eixos (X e Y), rotação do instrumento (eixo Z) ou desenhos realizados com a movimentação do braço do violão (extensão dos eixos).

As funções *tap* e *double tap* podem ser utilizadas para enviar comandos ao computador. Estes gestos podem ser livres, disparando eventos sonoros e configurações previamente programadas, ou efetivos, quando este gesto pode controlar um elemento sonoro isolado.

O sensor ultrassônico HC-SR04 é amplamente utilizado em projetos eletrônicos para medição de pequenas distâncias até o limite de quatro metros. No entanto este sensor não possui *data sheet* fornecido pelo fabricante, e a documentação encontrada na internet normalmente é fornecida no formato de pequenos manuais redigidos pelos revendedores do componente.

Na utilização do HC-SR04 temos características técnicas mais restritivas. Apesar dos manuais distribuídos pelos revendedores apontarem o alcance do sensor entre 2 e 400 centímetros, nota-se inconsistência em distâncias inferiores a 3 centímetros. Este componente também apresenta considerável oscilação na leitura de distância que, para determinada utilização necessita de tratamento das informações enviadas pelo dispositivo. No



Figura 3 – Sensor ultrassônico HC-SR04 (CYTRON TECHNOLOGIES SDN. BHD., 2013), utilizado no módulo do GuitarAMI com as funções de medir a distância entre o instrumentista e o violão, além de possibilitar a utilização de gestos livres para geração de informação de controle.

entanto, nos testes realizados durante a montagem do AMI constatou-se uma exatidão suficiente e boa precisão nas medidas aferidas.

Outra característica importante é o ângulo de funcionamento do sensor. A informação disponível nos manuais aponta um ângulo de ação de 30°. Deve-se, assim como no caso do acelerômetro, considerar esta informação ao acoplar o sensor ao instrumento. A figura 4 apresenta uma imagem demonstrando a resposta do sensor de acordo com o ângulo em que ele é utilizado.

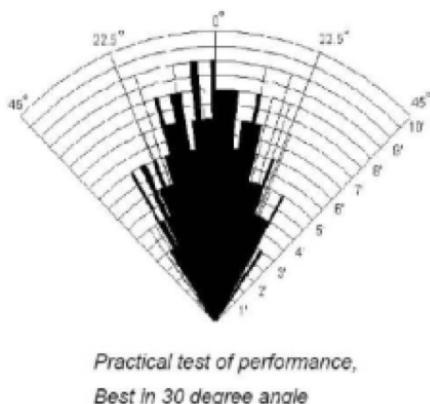


Figura 4 – Ângulo de ação do sensor HC-SR04 (CYTRON TECHNOLOGIES SDN. BHD., 2013, p. 5). Esta informação deve ser observada ao fixar o módulo do GuitarAMI no violão.

O sensor HC-SR04 poderá ser utilizado para verificar a distância entre o instrumentista e o instrumento, ou mesmo para coletar dados gerados por gestos livres de aproximação e afastamento das mãos sobre o sensor.

Para a exploração de gestos livres serão utilizados interruptores momentâneos modelo SPST (botões ou *foot switches* de uma via de acionamento simples) que serão acionados por um dos pés do instrumentista. Estes interruptores terão função secundá-

ria de controle mas podem, eventualmente, assumir controle de parâmetros diretamente relacionados à produção sonora.

Além dos sensores utilizados para construção do AMI, há a utilização do som do instrumento tanto para posterior manipulação sonora quanto para a aquisição gestual indireta¹⁵ (WANDERLEY, 2006). Neste caso será utilizada captação instalada no próprio instrumento, mas caso haja troca de violão esta captação pode ser substituída por microfones. Para o envio de sinal sonoro ao computador é necessária uma interface de áudio compatível.

2.6 *Feedback*

Ao tocar um instrumento musical acústico um intérprete proficiente se utiliza de diversos estímulos tátteis, visuais e auditivos fornecidos pelas características físicas do próprio instrumento para guiar sua performance. Este *feedback* fornecido pelo instrumento é de fundamental importância na experiência musical.

Para que DMIs possam fornecer ao intérprete *feedback* estes dispositivos podem contar, além de sensores e componentes de comunicação entre as diversas partes do dispositivo, com atuadores. Atuadores são transdutores capazes de converter sinais elétricos em calor, luz, força aplicada, vibração ou movimento, por exemplo.

A implementação de *feedback* nos DMIs é classificada por Wanderley e Depalle (WANDERLEY; DEPALLE, 2004, p. 634) de acordo com suas características:

a) *Primário ou secundário:*

- Primário quando há retorno visual, auditivo involuntário (ruído das chaves de uma flauta ou da unha do violonista) ou tático/cinestésico;
- Secundário quando há *feedback* do som produzido no instrumento;

b) *Passivo ou ativo:*

- Passivo quando o *feedback* se relaciona com alguma característica física do instrumento;
- Ativo quando o *feedback* é produzido pelo sistema em decorrência de uma ação do instrumentista.

Para este trabalho o AMI construído contará tanto com *feedback* sonoro quanto visual. Enquanto o *feedback* sonoro será secundário e ativo, a resposta visual será primária e ativa.

¹⁵ Discutiremos aquisição indireta na seção 3.1: Mapeamento gestual e comunicação entre o músico, interface e computador.

O *feedback* visual será fornecido através de um display LCD modelo JHD162a de 2 linhas por 16 colunas.



Figura 5 – Display LCD modelo JHD162a, responsável por fornecer *feedback* visual ao instrumentista.

Este display receberá comandos diretamente de um *patch* programado em PD, possibilitando a exibição de informações referentes aos processos de síntese e manipulação sonora efetuados no computador. É possível que o instrumentista também receba informações através do *feedback* fornecido pela tela do laptop responsável pelos processos de síntese e manipulação sonora, porém o display JHD162a poderá oferecer informações concisas acerca de quais processos estão ocorrendo e a relação entre estes processos e os dados de controle enviados ao computador.

2.7 Objetivos específicos na construção de um AMI utilizando o violão e a modificação de características intrínsecas do instrumento

Se técnica estendida (ou expandida) pode ser definida pela utilização de técnicas não convencionais em instrumentos tradicionais com o objetivo de produzir sonoridades distintas (ROMÃO, 2012) podemos então considerar tanto as técnicas estendidas quanto a construção de AMIs como formas de aumentar as possibilidades sonoras de determinado instrumento.

Harmônicos oitavados (também conhecidos como artificiais), *pizzicatos*, *scordaturas*, *bi-tones*, tambora e entonação apagada são alguns exemplos de procedimentos técnicos considerados técnica estendida para o violão.

Ao construir um AMI é interessante permitir ao instrumentista ou compositor a utilização da técnica estendida no instrumento sem que as modificações técnicas e físicas impostas pelo AMI impeçam sua aplicação. Desta forma incluímos também a possibilidade de interação entre técnicas tradicionais, estendidas e novas possibilidades oferecidas pelos equipamentos eletrônicos acrescentados ao instrumento tradicional.

Nos instrumentos musicais tradicionais temos características acústicas diretamente relacionadas à características estruturais consideradas restritivas ou enriquecedoras e de correntes da forma de construção destes instrumentos. “Tais características podem ser exploradas em performances e composições musicais, ou mesmo evitadas ou minimizadas, de acordo com os critérios estéticos ou escolhas criativas do intérprete ou compositor” (MENESES; FORNARI, 2015b).

O violão é um instrumento musical polifônico com possibilidades de variação timbrística, diferentes técnicas para pinçar as cordas e características que possibilitam sua utilização tanto como instrumento solista quanto acompanhador. Estas são consideradas características virtuosas, ou pontos positivos, provenientes do modo de construção do violão. No entanto, certos compromissos são assumidos na construção de instrumentos musicais acústicos e, no caso do violão tocado exclusivamente de forma acústica e sem amplificação, podemos observar pouca projeção sonora em comparação com instrumentos de sopro ou mesmo de cordas friccionadas, uma limitação na quantidade e distribuição nos sons atacados simultaneamente, além de uma mecânica de geração sonora que não permite o controle da intensidade do som após sua emissão. Estas características, diferentemente daquelas, são consideradas restritivas no violão.

É interessante observar que tanto as características consideradas virtuosas quanto as restritivas são utilizadas de forma criativa por compositores e instrumentistas, constituindo a identidade do violão como instrumento acústico.

É possível, no entanto, utilizar sensores e atuadores para alterar certas características de um instrumento, desta forma não somente utilizaremos dispositivos eletrônicos para acrescentar possibilidades à um instrumento musical tradicional, mas podemos criar um AMI cujas característica acústicas sejam diferentes do instrumento musical original.

As características comumente consideradas restritivas no violão escolhidas para exploração nesta pesquisa foram o formato do envelope dinâmico de intensidade sonora, que resulta em emissões sonoras de pouca sustentação; além da impossibilidade de controle dinâmico em um som após sua emissão.

Durante o capítulo 3 discutiremos a utilização de algoritmos programados especificamente para a alteração das características selecionadas.

2.8 GuitarAMI

Com a utilização de todas as informações apresentadas nas seções anteriores, criamos um diagrama para a construção de um AMI utilizando o violão, intitulado **GuitarAMI**, conforme apresentado na figura 6. Optamos por um projeto modular, separando o dispositivo em duas partes: base e módulo. Deste modo a base contendo o

microcontrolador responsável pelo primeiro processamento dos dados adquiridos pelos sensores fica no chão e é ligado ao computador através de conexão USB. Na base também foi possível instalar os interruptores SPST e o display LCD. Todos estes componentes estão conectados a um placa compatível com o Arduino modelo Leonardo.

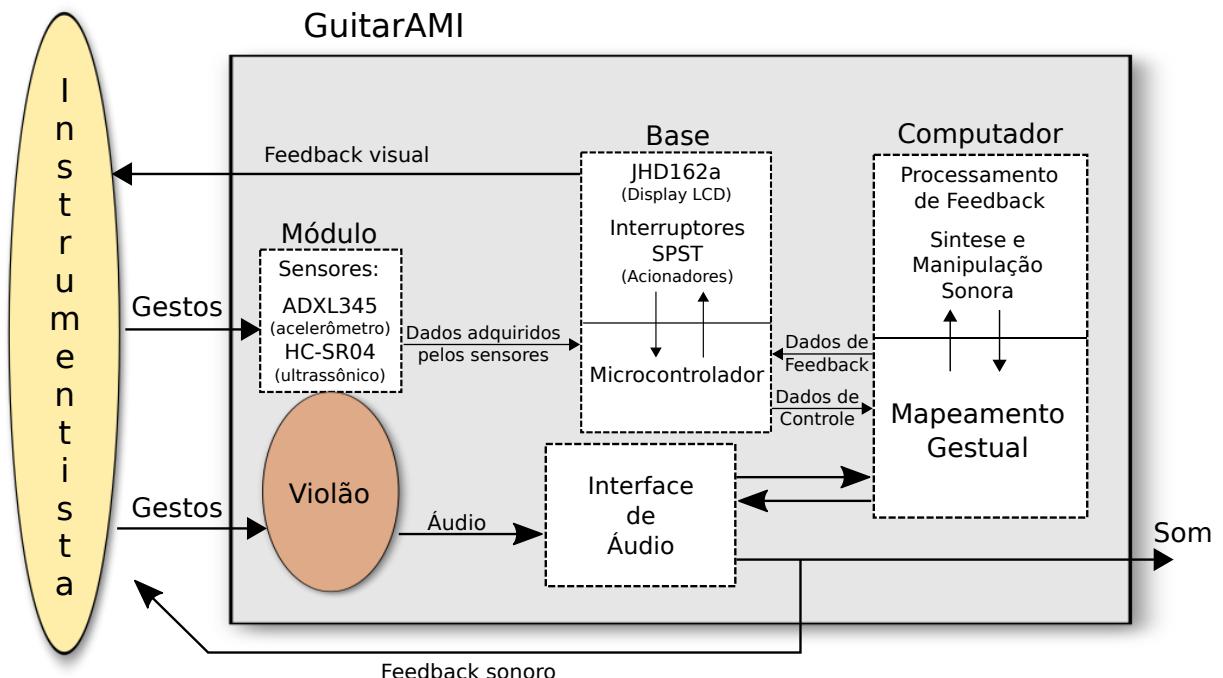


Figura 6 – Diagrama de construção do GuitarAMI, criado de acordo com o modelo de DMI de Mark Marshall mostrado na figura 1.

Durante esta pesquisa foram construídos 3 protótipos do GuitarAMI, que receberam modificações e melhorias de acordo com o *feedback* apresentado pelos instrumentistas e alunos que utilizaram o dispositivo durante as diversas atividades relatadas nas seções 4.1 e 4.2.

2.8.0.1 Primeiro protótipo

O primeiro protótipo foi construído de acordo com o diagrama da figura 6 e possui todas as partes descritas na seção 2.8 adicionadas ao violão: base, computador, interface de áudio e módulo.

O módulo do GuitarAMI, conectado à base através de cabo, é responsável pela aquisição de movimentos previamente selecionados e descritos no capítulo 2.2 e enviados para a base; a base do GuitarAMI é responsável pelo primeiro processamento destes dados e envio ao computador; a interface de áudio envia o som previamente captado do violão para o computador, o qual é responsável pelo mapeamento gestual e execução

de algoritmos de síntese e manipulação sonora utilizando PD. O módulo é afixado ao instrumento através de ventosas.



Figura 7 – Módulo do primeiro protótipo do GuitarAMI acoplado no instrumento. Este módulo possui o acelerômetro ADXL345 e o sensor ultrassônico HC-SR04 (MENESES *et al.*, 2015a).

Este protótipo foi utilizado durante o 1º Colóquio Franco-Brasileiro de Análise e Criação Musicais com Suporte Computacional (MENESES *et al.*, 2015a; MENESES *et al.*, 2015b), ocorrido em agosto de 2014 no NICS¹⁶, além da utilização em um *workshop* relatado na seção 4.1.1.



Figura 8 – Base do primeiro protótipo do GuitarAMI, contendo interruptores e display LCD (MENESES *et al.*, 2015a).

¹⁶ Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora da Unicamp.

O componente final do GuitarAMI é o computador responsável pelos processos de síntese e manipulação sonora. Para captura do áudio também é necessária a utilização de uma interface de áudio compatível com o computador e o sistema operacional utilizados.



Figura 9 – Primeiro protótipo do GuitarAMI, construído utilizando Arduino Leonardo, sensor ultrassônico e acelerômetro (MENESES *et al.*, 2015a). O segundo protótipo é fisicamente semelhante ao primeiro, com exceção de que o módulo GuitarAMI foi convertido para se tornar sem fios, conforme descrito em 2.8.0.2.

2.8.0.2 Segundo protótipo

Com informações e *feedback* dos instrumentistas e estudantes que utilizaram o primeiro protótipo do GuitarAMI em atividade relatada na seção 4.1.1, foram realizadas diversas modificações na construção do segundo protótipo do dispositivo.

Um dos problemas relatados foi a conexão com fio entre a base e o módulo do GuitarAMI, restringindo o movimento do violão para controle dos processos de síntese e manipulação sonora. A ligação por fio entre base e módulo eventualmente alterava a posição do módulo do GuitarAMI em relação ao violão, causando problemas de calibração no acelerômetro durante a performance. Este problema foi corrigido com a adição de um segundo Arduino no módulo do GuitarAMI. Um Arduino Nano e um invólucro

para baterias recarregáveis foi utilizado, transformando o módulo do GuitarAMI em um dispositivo sem fio.

A comunicação entre base e módulo passou a ser realizada através de dois transceptores de radiofrequência nRF24L01+ produzidos pela Nordic Semiconductor¹⁷. O nRF24L01+ trabalha na frequência de 2,4 GHz e apresenta bom rendimento com baixo consumo energético.



Figura 10 – Módulo utilizado no segundo e terceiro protótipos do GuitarAMI, utilizando conexão sem fio entre a base e o módulo e alimentado por pilhas recarregáveis.

Um dos transceptores, um conversor de tensão e suporte para duas pilhas foram acrescentados ao módulo do GuitarAMI e todos estes componentes foram conectados a uma placa compatível com o Arduino modelo Nano.

Mudanças também foram feitas nos dados apresentados através do LCD, aos quais foram adicionadas informações acerca dos algoritmos executados pelo computador em tempo real.

Um vídeo de demonstração das funcionalidades do segundo protótipo do GuitarAMI pode ser visualizado pela internet através do endereço <<https://youtu.be/0mrw3Kwb7UU>>.

O segundo protótipo foi utilizado em performances artísticas descritas na seção 4.2 em um curso com duração de 2 semestres relatado na seção 4.1.2.

¹⁷ [Http://www.nordicsemi.com/](http://www.nordicsemi.com/)

2.8.0.3 Terceiro protótipo

Os problemas relatados durante a utilização do segundo protótipo do GuitarAMI incluem dificuldade na montagem do dispositivo em performances e problemas na utilização e controle de algoritmos simultaneamente executadas pelo PD concomitantemente a processos de manipulação sonora escolhidos pelo instrumentista e executados pelo Integra Live.



Figura 11 – Terceiro protótipo do GuitarAMI, utilizando conexão sem fio entre a base e o módulo, além da integração de um pedal de guitarra multi-efeitos.

No terceiro protótipo os componentes do GuitarAMI (com exceção do violão e laptop) foram montados em um *pedalboard* para facilitar a montagem em performances. O processador multi-efeitos vintage *Boss ME-33*, comumente utilizado em guitarras elétricas no início dos anos 2000, foi acrescentado ao *pedalboard* para prover maior facilidade na utilização de processos de manipulação sonora tradicionalmente utilizados que não

requerem alteração em seus parâmetros de controle em tempo real.

Além disso um *hub* USB foi acrescentado, o que permitiu conexão rápida entre a base GuitarAMI, interface de áudio e computador, como mostrado na figura 11.



Figura 12 – *Pedalboard* montado com os componentes do terceiro protótipo do GuitarAMI e contendo a maior parte dos elementos do AMI. Um pedal de guitarra multi-efeitos foi também integrado ao *pedalboard*, conforme descrito na seção 2.8.0.3.

O processamento de áudio foi dividido entre um processador multi-efeitos e os algoritmos executados pelo computador. Enquanto o processador multi-efeitos é responsável por manipulações sonoras tradicionais, como distorção, *delay*, *reverb*, *whah whah*, equalizadores, entre outros; o computador executando Pure Data pode receber dados gestuais gerados pelos sensores do GuitarAMI para controlar algoritmos predefinidos (descrito no capítulo 3), além de oferecer a possibilidade de utilização de novos algoritmos programados por instrumentistas ou compositores.

O *subpatch* de mapeamento gestual do GuitarAMI recebeu nova programação para enviar maior quantidade de informações ao display LCD, que pode apresentar indicações acerca dos processos realizados pelos algoritmos de manipulação sonora no PD. Estas informações são pré-programadas para os *patches* apresentados na seção 3.4 e podem ser inseridas pelo usuário em *patches* criados por este.

É interessante ratificar que as modificações e melhorias realizadas em cada etapa de construção dos protótipos do GuitarAMI ocorreram de acordo com o *feedback* apresentado pelos instrumentistas e alunos que utilizaram o dispositivo durante as diversas atividades realizadas com o AMI e relatadas em detalhes nas seções 4.1 e 4.2.

3 Ambiente computacional

Enquanto a parte física do GuitarAMI está em contato direto com o instrumentista e é responsável pela geração de dados utilizados no controle de processos de síntese e manipulação sonora, o *software* do GuitarAMI trabalha com algoritmos implementados para realizar estes processos. Neste capítulo apresentaremos o ambiente computacional responsável pelo mapeamento gestual e execução dos algoritmos de síntese e manipulação sonora utilizados no GuitarAMI.

3.1 Mapeamento gestual e comunicação entre o músico, interface e computador

De posse dos dados adquiridos nos gestos do instrumentista pelos sensores é necessário que se faça a correspondência entre estes dados de controle e os parâmetros de síntese e manipulação sonora. Esta ligação é entendida como mapeamento gestual (HUNT *et al.*, 2000).

O sistema de mapeamento é um dos principais componentes identificados por Marshall nos diversos modelos de AMIs e DMIs propostos por Bongers, Wanderley, Cook e Birnbaum, explicitados em citação de (MARSHALL, 2008) na página 23.

Nos instrumentos acústicos a correspondência entre geração sonora e gesto do instrumentista é inseparável e esta relação entre gesto e som é extremamente complexa. Diversos parâmetros gestuais são manipulados por um instrumentista proficiente para cada som emitido pelo instrumento. No caso dos DMIs não há relação implícita entre gesto e som, esta conexão é arbitrária e deverá ser construída através do mapeamento gestual da interface (HUNT *et al.*, 2000).

Wanderley e Depalle classificam em (WANDERLEY; DEPALLE, 2004) a aquisição do gesto do intérprete (isto é, a transformação dos gestos em dados) em três categorias:

- a) *Aquisição direta*, onde os sensores são utilizados para monitorar ações do intérprete. Cada sensor é capaz de converter parâmetros físicos isolados como temperatura, pressão, velocidade, deslocamento linear ou angular, entre outros;
- b) *Aquisição indireta*, onde os gestos são extraídos das propriedades dos sons emitidos por determinada fonte, usualmente emitidas pelo intérprete. Para que isto seja possível é necessário analisar e isolar características sonoras como intensidade, altura, espectro, envelope sonoro, entre outros;

- c) *Aquisição fisiológica*, onde sinais fisiológicos são convertidos em dados de controle para posterior utilização. Com a utilização de dispositivos como o *Myo Armband*¹, produzido pela *Thalmic Labs Inc.* é possível converter movimentos musculares em comandos para o computador. Outra aplicação interessante de aquisição fisiológica é a utilização do eletroencefalograma (EEG) para controlar parâmetros de manipulação sonora, como demonstrados em (GROUX *et al.*, 2010).

Para o GuitarAMI utilizaremos tanto a aquisição direta quanto a aquisição indireta dos gestos durante a performance, conforme explanado na seção 2.5 na página 34.

Em (HUNT *et al.*, 2000) são ainda apresentadas duas possibilidades de mapeamento, sendo estas:

- a) O uso de “mecanismos gerativos” ou algoritmos generativos para realizar o processo de mapeamento em tempo real, para tanto são utilizados modelos de redes neurais artificiais como os descritos em (MODLER *et al.*, 2003);
- b) A utilização de estratégias de mapeamento explícitas que, para o GuitarAMI, foi a possibilidade de mapeamento selecionada.

Dentro das estratégias de mapeamento explícitas, (ROVAN *et al.*, 1997) apresenta três possibilidades de estratégias de mapeamento, representadas visualmente na figura 13.

- a) *Um-para-um*, onde cada dado de controle obtido através dos sensores é associado diretamente a um único parâmetro de síntese e manipulação sonora. Pela simplicidade da conexão esta possibilidade oferece usualmente pouca expressividade;
- b) *Divergente*, onde um dado de controle obtido através dos sensores é associado a vários parâmetros de síntese e manipulação sonora. Tem-se um aumento na expressividade ao custo de uma menor sensibilidade no controle dos parâmetros mapeados;
- c) *Convergente*, onde vários dados de controle obtidos através dos sensores são associados a um único parâmetro de síntese e manipulação sonora. Apesar de apresentar maior expressividade em comparação à estratégia um-para-um, requer prática para que o instrumentista consiga dominar a relação entre gesto e resultado sonoro.

Apresentamos na figura 14 um diagrama em que listamos todas as possibilidades de aquisição do gesto, listadas em (WANDERLEY; DEPALLE, 2004), combinadas com as estratégias de mapeamento apresentadas em (ROVAN *et al.*, 1997). As opções utilizadas no GuitarAMI foram marcadas em cinza.

¹ <Https://www.thalmic.com/myo/>.

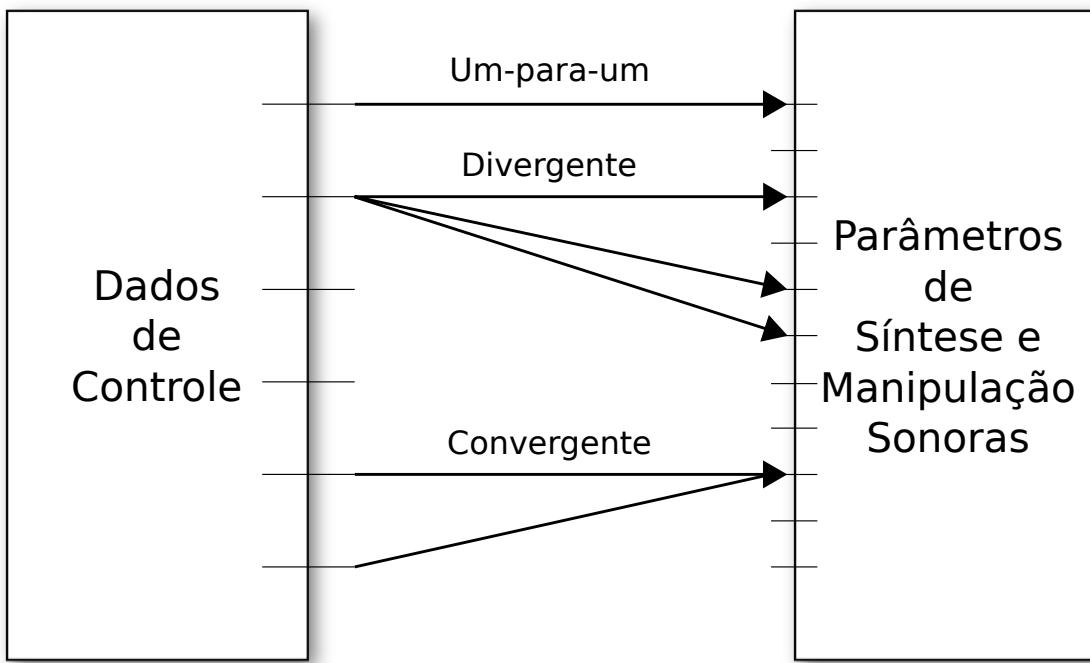
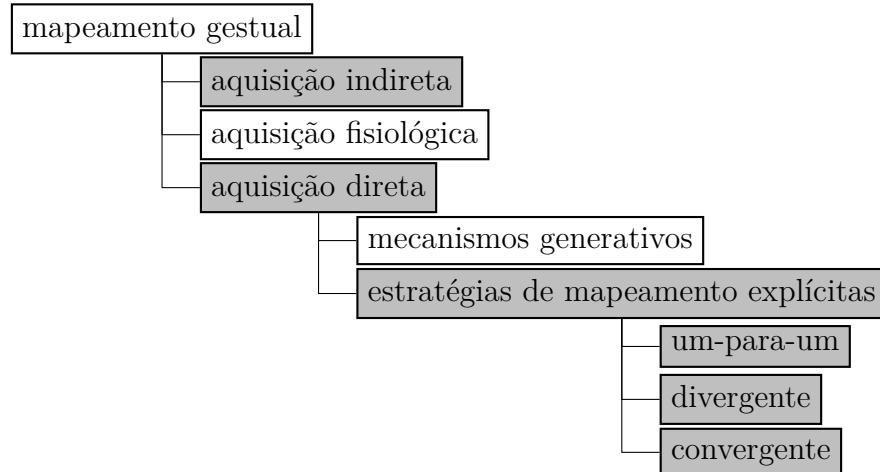


Figura 13 – Possibilidades de estratégia de mapeamento.

Figura 14 – Diagrama de classificação de mapeamento gestual contendo as possibilidades de aquisição do gesto listadas em (WANDERLEY; DEPALLE, 2004) somadas às estratégias de mapeamento apresentadas em (ROVAN *et al.*, 1997). Os itens marcados em cinza correspondem às estratégias de aquisição gestual utilizadas no GuitarAMI.

Existem também, de acordo com Marcelo Wanderley, duas concepções relacionadas às estratégias de mapeamento explícitas: podemos conceber o mapeamento como parte específica da composição ou como parte do DMI (WANDERLEY, 2015). No caso específico do GuitarAMI, cuja construção permite a alteração do mapeamento em tempo real, é importante perceber que estas concepções estão mais ligadas ao contexto e ao modo de utilização do DMI e não à construção do dispositivo.

É possível ainda trabalhar com as duas concepções para criamos camadas de mapeamento cuja primeira camada efetua a conexão entre os dados recebidos dos sensores e parâmetros definidos de controle intermediário, enquanto uma segunda camada conecta estes parâmetros intermediários a parâmetros de manipulação e síntese sonora efetivos. Estes parâmetros intermediários são definidos arbitrariamente por uma camada de mapeamento abstrata, a exemplo do sistema de síntese em tempo real denominado *Escher* proposto em (WANDERLEY *et al.*, 1998).

A primeira camada de mapeamento foi programada em PD e é considerada parte integrante do GuitarAMI. Este *patch* é responsável pelo primeiro processamento dos dados obtidos através dos sensores do GuitarAMI. Esta etapa é extremamente importante para prover comunicação eficiente entre o dispositivo e os parâmetros de síntese e manipulação sonora que serão mapeados na segunda camada de mapeamento (STEINER, 2004).

3.2 Pure Data como plataforma de mapeamento gestual, síntese e manipulação sonora

Em meados da década de 1980, Miller Puckette desenvolveu o programa *Max* no IRCAM², uma linguagem de programação visual para manipulação de áudio que posteriormente deu origem ao Max/MSP, comercializado hoje pela empresa Cycling '74.

Em 1994, Puckette se afiliou ao departamento de música da Universidade de San Diego na Califórnia³. Puckette percebe limitações existentes no Max à época, onde o programa funcionava eficientemente manipulando processos como filtros para protocolo MIDI⁴ ou aplicações de síntese sonora, mas deixava a desejar em processos de manipulação de dados (PUCKETTE, 1997). Inicia-se a produção do PD⁵ como uma forma de corrigir estas deficiências existentes do Max.

No entanto, uma característica do PD que o distingue radicalmente do Max/MSP é sua licença de uso. O PD é um programa *open-source*, ou seja, um programa de código aberto. Ele é distribuído sob a licença BSD, isto significa que o programa não possui nenhuma restrição de venda ou distribuição, podendo ser distribuído gratuitamente ou fazer parte de um programa proprietário. Seu código fonte também pode ser distribuído livremente. Além disto, deve ser permitida a utilização em quaisquer situações, sejam elas comerciais ou não (MAYR, 2006). Por esta característica o PD possui ampla comunidade ativa de usuários e colaboradores que, além de trocar experiências de utilização, auxiliam

² Institut de Recherche et Coordination Acousmatique/Musique (Instituto de Pesquisa e Coordenação de Música e Acústica). Maiores informações em <http://www.ircam.fr/>.

³ UC San Diego. [Https://ucsd.edu/](https://ucsd.edu/).

⁴ MIDI, acrônimo de *Musical Instrument Digital Interface*, é um protocolo de comunicação que permite aos instrumentos e computadores enviar instruções musicais digitais entre si. (MIDI..., 2015).

⁵ Conforme descrito na nota de rodapé de número 20, página 22.

na atualização do programa e compartilham arquivos entre si.

O PD é uma linguagem visual de programação baseada em fluxo de dados, na qual o usuário programa *patches* contendo algoritmos (em forma de objetos) responsáveis pela manipulação de dados no programa. As linguagens de programação visual permitem a programação sem a utilização de linhas de comando, o que é particularmente interessante em áreas de arte e design em que os profissionais possuem pouca familiaridade com linguagens tradicionais de programação baseadas em linhas de comando.

O Pure Data está inserido em uma categoria de linguagens de programação baseadas em fluxo de dados (*dataflow programming language*), nas quais o *software* é programado como grafos orientados (BONDY; MURTY, 1982), seguindo de um processo a outro sucessivamente. Os algoritmos são representados por objetos organizados em uma ou várias telas.

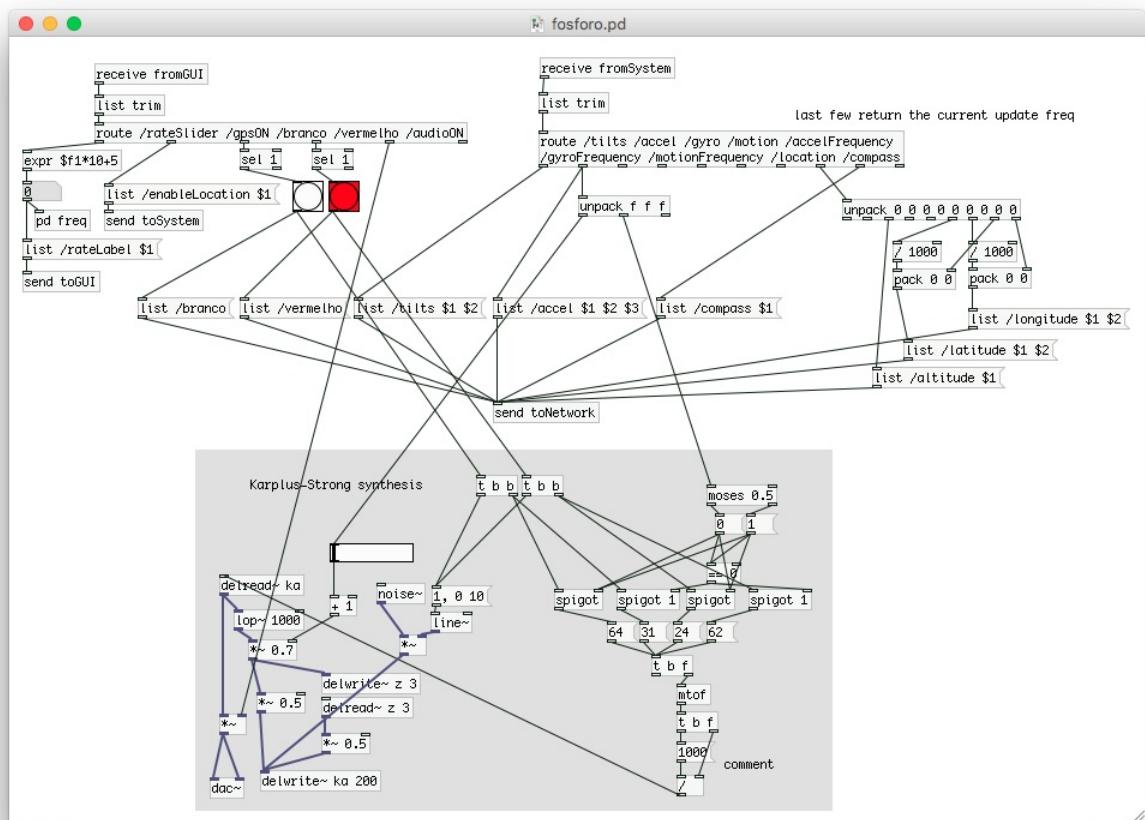


Figura 15 – Exemplo de um *patch* programado em PD.

Para executar o Pure Data é necessário um computador com os sistemas operacionais GNU/Linux, Apple MacOS X, IRIX, BSD ou Microsoft Windows (PURE DATA..., 2015). Os requisitos de *hardware* variam de acordo com o processamento necessário para cada *patch*. É importante frisar que manipulação de áudio e vídeo em tempo real requerem

grande poder de processamento e quantidade de memória, sendo necessário dimensionamento adequado entre *hardware* e *software*.

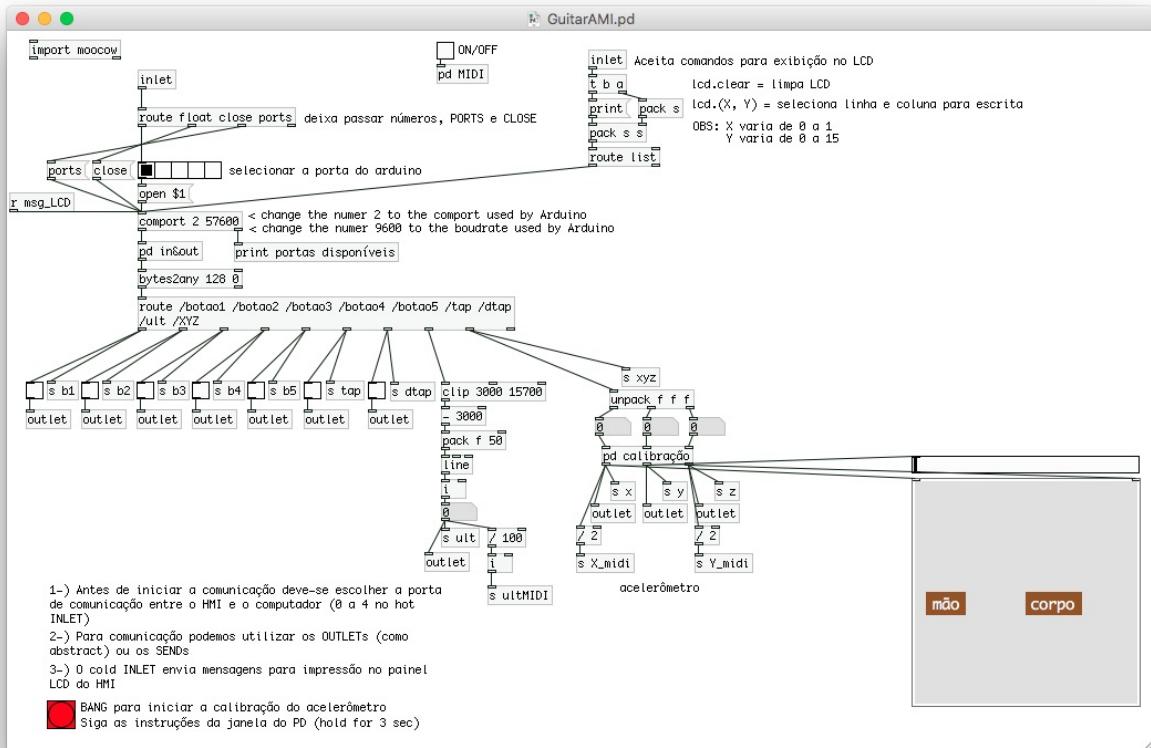


Figura 16 – *Patch* de mapeamento gestual do GuitarAMI, responsável pela primeira camada de mapeamento e tratamento da informação gestual adquirida pelos sensores, conforme descrito na seção 3.1.

A principal função do PD será de síntese e manipulação sonora em tempo real, podendo utilizar tanto sons captados do violão (ou de qualquer outra fonte sonora ligada ao computador) quanto sons previamente gravados, sintetizados ou manipulados. Ao programar um *patch* para manipulação sonora é possível disponibilizá-lo para utilização dentro de outros *patches* mais complexos, criando assim um repositório de processos de manipulação sonora que poderão ser reutilizados posteriormente. Estes *patches* são chamados de abstrações (*abstractions*).

Para a comunicação entre o GuitarAMI e o PD podemos utilizar diversos protocolos transmitidos através de comunicação serial (USB). O Arduino (utilizado no GuitarAMI) consegue enviar dados através da porta USB em diversos protocolos, entre eles MIDI e OSC⁶, além de oferecer a possibilidade de criar protocolos próprios para comunicação utilizando a comunicação nativa do Arduino (*serial over USB*). Existem outros protocolos de comunicação criados especificamente para o Arduino e que possuem bibliotecas

⁶ Open Sound Control ou simplesmente OSC é um protocolo de comunicação em rede entre computadores, sintetizadores de som e outros dispositivos multimídia (OSC..., 2015).

cliente (*client libraries*) em outros programas ou linguagens, como por exemplo o protocolo *Firmata*, que pode ser utilizado no PD com o *patch Pduino*, programado por Hans-Christoph Steiner⁷.

A opção escolhida para comunicação entre o PD e o GuitarAMI foi a comunicação *serial over USB* com a utilização de uma versão modificada do *patch Arduino2pd* programado no *Recyclism Hacklab* (RECYCLISM HACKLAB..., 2015). Com a utilização deste *patch* a comunicação entre Arduino e PD ocorre de forma direta e o PD é responsável por manipular todos os dados recebidos pelos sensores. Uma vantagem observada nesta configuração é a possibilidade de efetuar alterações na forma como os dados são tratados em tempo real e sem a necessidade de reprogramar o GuitarAMI.

Ainda que a forma de comunicação utilizada entre PD e o GuitarAMI tenha sido implementada satisfatoriamente, por vezes é necessária a comunicação entre o GuitarAMI e algum outro dispositivo ou programa de computador. Para estes casos um *subpatch* foi programado para a conversão dos dados de controle utilizados pelo GuitarAMI em comandos de controle MIDI (MIDI CC). Estes comandos foram utilizados, por exemplo, no controle de parâmetros de manipulação e síntese sonora do *software Integra Live*, descrito na seção 3.3.

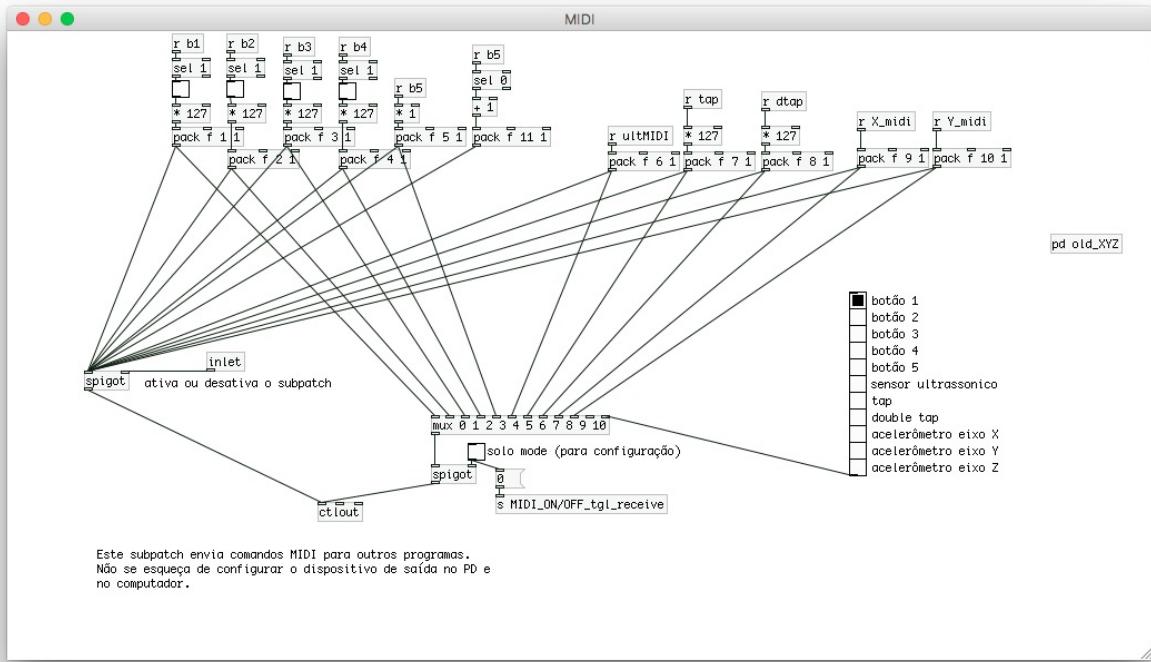


Figura 17 – *Subpatch* responsável pela conversão de dos dados de controle utilizados pelo GuitarAMI em comandos de controle MIDI.

O Pure Data também funcionará como plataforma de mapeamento gestual, re-

⁷ Maiores informações sobre o protocolo *Firmata* e o *Pduino* podem ser encontradas em <https://github.com/firmata/arduino>.

lacionando os dados recebidos dos sensores e relacionando-os a parâmetros de síntese e manipulação sonora, conforme discutido na seção 3.1.

3.3 Integra Live como possibilidade de plataforma de performance

O PD é a ferramenta responsável pela síntese e manipulação sonora no GuitarAMI e, pela sua própria natureza de linguagem de programação, todos os processos executados pelo Pure Data podem ser programados previamente ou em tempo real. Em algumas situações é desejável utilizar um *software* que possua uma biblioteca de procedimentos de manipulação e síntese sonora que possam ser selecionados de forma ágil e que não requeiram programação.

O Integra Live é um programa originalmente financiado pela *Creative Europe Desk UK*⁸ e atualmente mantido pelo *Integra Lab* no *Birmingham Conservatoire*.

Trata-se de um programa de processamento de áudio interativo que utiliza um conceito denominado “fluxo de trabalho musical” (INTEGRA LIVE, 2015), ou seja, uma sequência de processos de síntese e manipulação sonora predeterminados organizados no tempo. É importante frisar que o Integra Live atua como uma interface de coleta de comandos inseridos pelo usuário (*front end*), enquanto o processamento de dados e áudio é realizado internamente no programa pelo PD (*back end*).

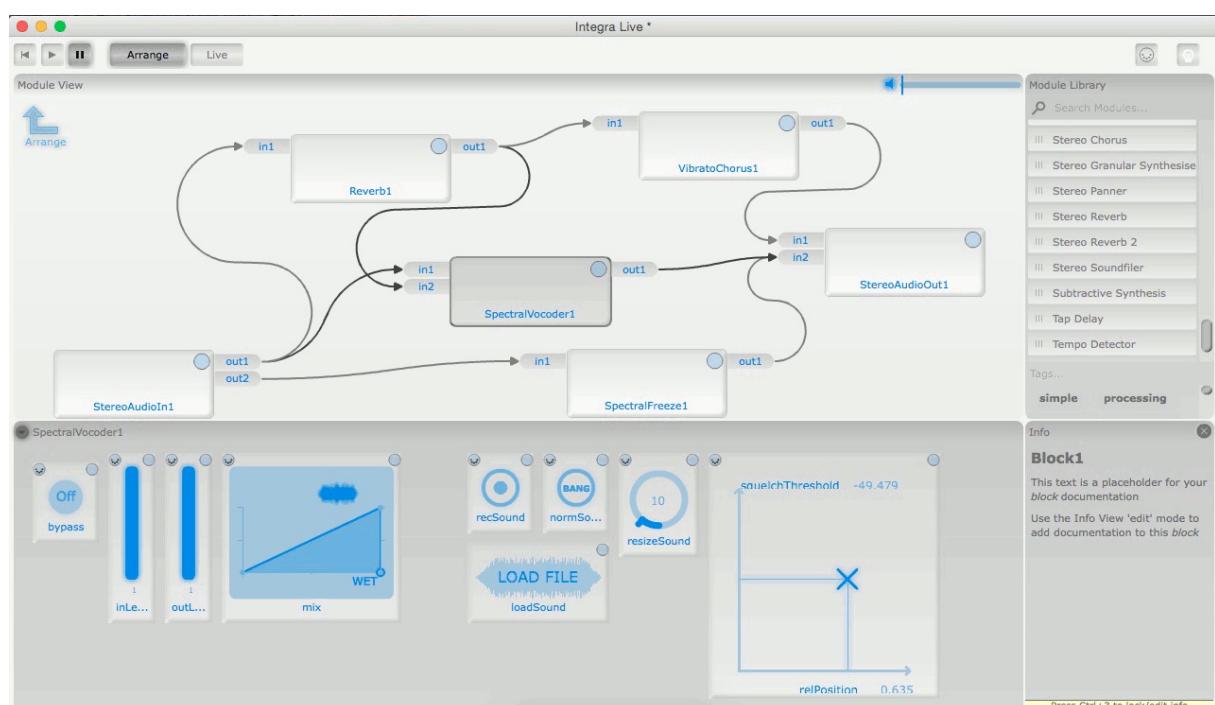


Figura 18 – Exemplo de um bloco criado no Integra Live.

⁸ O *Creative Europe* é um programa da União Europeia para apoiar e financiar projetos culturais, criativos e audiovisuais. Maiores informações em <http://www.creativeeuropeuk.eu/>.

O Integra Live contém extensa biblioteca organizada em módulos, em que cada um destes módulos contém processos de síntese e manipulação sonora previamente programados. É possível a utilização de diversos módulos simultaneamente, além da organização destes módulos em blocos, criando assim *setups* que podem ser trocados durante a performance ou automatizados em uma linha de tempo.

O programa possui dois modos de visualização, o modo *Arrange* e o modo *Live*. No modo *Arrange* é possível montar e utilizar blocos com diversos módulos, além de criar automatizações para cada um dos processos de síntese e manipulação sonora. No modo *Live* é possível executar as automatizações previamente programadas relacionadas tanto à parâmetros dos módulos quanto à troca de blocos existentes no fluxo de trabalho.

Para recebimento de comandos de outras fontes além do teclado do computador, o Integra Live conta apenas com o protocolo MIDI. Para que o programa receba dados do GuitarAMI foi necessária a programação de um *patch* para que o PD colete os dados do dispositivo, converta estes dados em comandos no protocolo MIDI e envie ao Integra Live, conforme descrito na seção 3.2.

Como o Integra Live possui a opção de memorizar as configurações de mapeamento dos comandos MIDI recebidos, o processo de configuração para comunicação entre GuitarAMI, PD, e Integra Live deve ser realizado apenas uma vez.

3.4 *Patch* de mapeamento e algoritmos programados para GuitarAMI

Durante a construção e utilização do primeiro protótipo do GuitarAMI programamos alguns algoritmos utilizando processos simples de manipulação sonora baseados em modulação FM e AM, além de filtros e processos de gravação e reprodução sonora.

Estes algoritmos deram origem a um *patch* (experiimentos_0.3.pd) que foi utilizado durante o *workshop* descrito na seção 4.1.1.

Esse *patch* realiza uma modulação FM entre dois elementos sonoros que podem ser selecionados em tempo real: ondas senoidais de frequência variável, sons anteriormente gravados, sons registrados durante a performance ou mesmo sons do instrumento captados em tempo real.

A configuração mais frequentemente utilizada compreende uma onda senoidal (moduladora) e o sinal sonoro captado do violão em tempo real (portadora). Neste caso específico a onda senoidal pode interferir no sinal captado do instrumento de duas formas distintas: atuando em uma faixa de frequência compreendida entre 20 Hz e 1.500 Hz, em um processo comumente utilizado na música eletroacústica; ou configurado para a faixa de frequência compreendida entre 0 Hz e 20 Hz, produzindo assim um efeito de vibrato no som captado (PUCKETTE, 2006).

Para a utilização do processo de FM alguns parâmetros de controle podem ser modificados em tempo real: a seleção da portadora e da moduladora, a distribuição estereofônica do sinal, a intensidade do sinal modulado em relação ao sinal da portadora, além da frequência e a faixa de frequência de atuação caso a portadora ou a moduladora sejam ondas senoidais.

Os parâmetros de controle para o algoritmo de FM podem ser manipulados através do computador ou mapeados para que utilizem informações de controle adquiridas pelos sensores do GuitarAMI. Durante a utilização do primeiro protótipo nenhuma configuração de mapeamento foi realizada previamente. O mapeamento foi realizado durante os testes e performances pelos instrumentistas e de acordo com o *feedback* fornecido por estes.

O *patch* experimentos_0.3.pd também possui um processo de modulação AM de parâmetros similares ao processo de FM. Porém a modulação AM programada produz um efeito similar ao *tremolo* ao atuar na faixa de frequência compreendida entre 0 Hz e 20 Hz, além de não permitir a escolha de uma onda senoidal como portadora.

A aplicação simultânea de filtros passa-alta e passa-baixa permitiram a utilização de um algoritmo simples com a função de emular as características sonoras de um som ouvido através da linha telefônica. Este algoritmo simples possui apenas parâmetros de controle de ganho e distribuição estereofônica do sinal resultante.

Processos de gravação e reprodução sonora foram utilizados para compor um algoritmo capaz de simular as funcionalidades de dispositivos conhecidos como *loopstations*. No *patch* experimentos_0.3.pd foram programados dois canais de gravação e reprodução sonora, além da possibilidade de utilizar arquivos de áudio previamente gravados.

Houve também a programação e utilização de um algoritmo criado com a finalidade de simular a utilização de um *E-bow*⁹ no violão. Este algoritmo despertou certo interesse durante os experimentos realizados com o primeiro protótipo pois o E-bow tem funcionamento restrito aos instrumentos que utilizam cordas de aço. A possibilidade de utilizar recurso similar em um violão com cordas de náilon, ainda que por vezes apresentasse resultado sonoro diferente do esperado pelos instrumentistas, foi bem aceita pelos músicos que participaram do *workshop* descrito na seção 4.1.1.

O *patch* experimentos_0.3.pd conta também com um algoritmo de modulação de fase e um algoritmo de modulação cruzada. No entanto, o resultado sonoro destes processos não despertou o interesse dos instrumentistas envolvidos durante os testes do primeiro protótipo.

Com a construção do segundo protótipo do GuitarAMI e tendo como um dos objetivos a utilização de algoritmos para alterar algumas características intrínsecas do

⁹ Dispositivo eletrônico que pretende simular a utilização de um arco comumente utilizado em instrumentos de corda friccionada em guitarras ou violões com corda de aço. Maiores informações em <<http://www.ebow.com/>>.

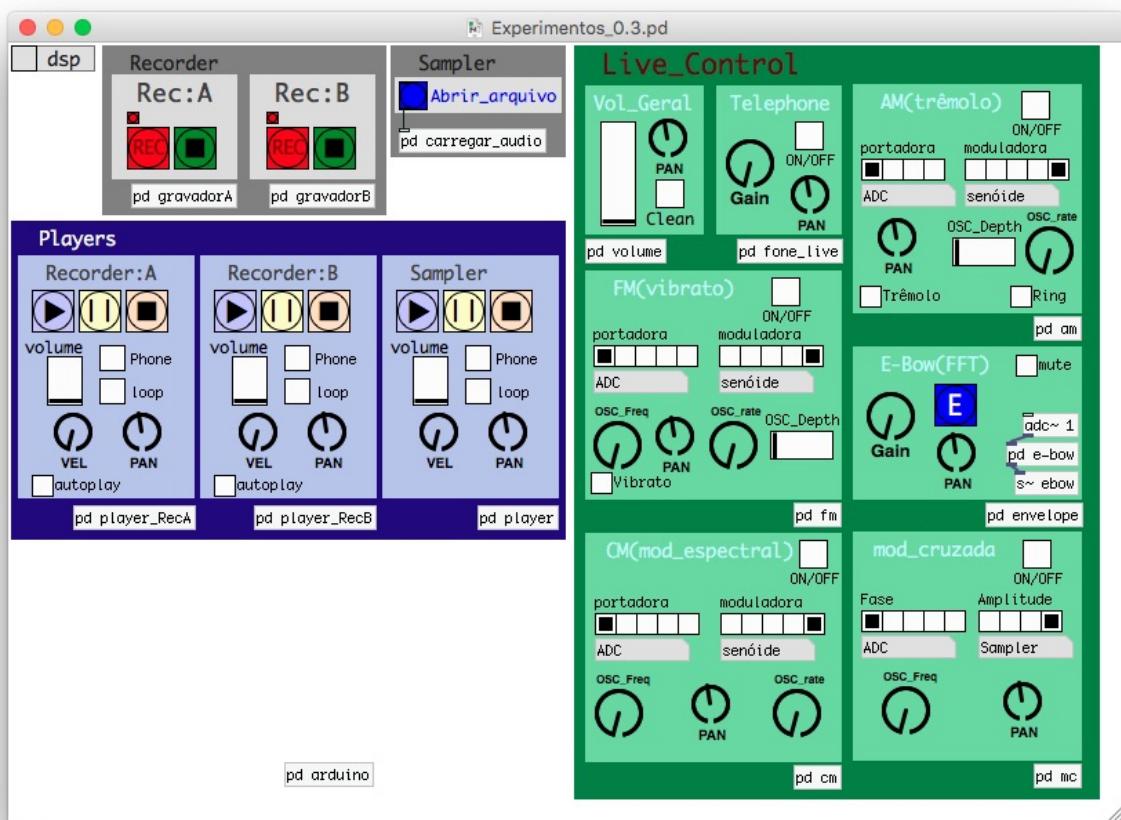


Figura 19 – *Patch experimentos_0.3.pd*, programado em PD e contendo os algoritmos utilizados no primeiro protótipo do GuitarAMI e explicados em detalhes na seção 3.4 (MENESES *et al.*, 2015a).

violão, programamos um *patch* que utiliza o som captado do violão para realização de processos de manipulação sonora com a finalidade de sustentar indefinidamente o som do instrumento e possibilitar o controle da intensidade sonora de uma nota musical após sua emissão.

Para sintetizar um som similar ao emitido pelo violão e sustentá-lo indefinidamente utilizamos uma espécie de algoritmo que é comumente denominado *Spectral Freeze*. Este algoritmo utiliza a Transformada Rápida de Fourrier, ou FFT¹⁰, viabilizando a análise de um sinal de áudio em determinado momento no tempo para obtermos dados referentes à amplitude de todas as frequências do espectro deste mesmo áudio. Estes dados são posteriormente utilizados para gerar um som sintetizado através da operação inversa da FFT e que pode ser sustentado indefinidamente (MARTIN, 1986).

O *patch freeze3.pd*, criado por um membro ¹¹ do fórum do Pure Data (PURE..., 2015) foi referência para a programação do algoritmo utilizado no GuitarAMI. A comu-

¹⁰ Sigla de *Fast Fourier Transform*.

¹¹ <<http://forum.pdpatchrepo.info/user/ralf>>.

nidade de desenvolvedores do PD na internet é ativa e os *patches* criados pelos membros da comunidade são disponibilizados em repositório público, onde podem ser adquiridos, alterados e estudados por qualquer interessado em programação.

A programação do algoritmo *freeze3.pd* foi modificada com a inclusão de parâmetros de controle para alteração de características da captura do áudio a ser sintetizado, mapeamento destes parâmetros de forma direta com os sensores do AMI, além de um controle para liberação (*release*) do áudio sintetizado. O *patch* resultante e utilizado no GuitarAMI é denominado simplesmente *Freeze*.

Os seguintes parâmetros disponíveis para controle desta manipulação sonora são:

- a) Comando instantâneo de captura do áudio e início da síntese de áudio;
- b) Comando instantâneo para (*release*) do áudio sintetizado e
- c) Controle de volume do evento sonoro gerado pelo computador (o som sustentado indefinidamente).

Para que o instrumentista controle estes parâmetros foram utilizados dois interruptores momentâneos modelo SPST¹² disponíveis na base do GuitarAMI e que foram configurados para captura e *release* do áudio sintetizado pelo algoritmo, além de um dos eixos do acelerômetro disponível no módulo do GuitarAMI (afixado na faixa do violão) para controle de volume geral.

Deste modo o instrumentista é capaz de controlar o momento de captura sonora e o tempo de sustentação do som sintetizado, além de controlar a intensidade sonora da síntese através do movimento de aproximação ou afastamento do violão em relação ao seu corpo. O controle de intensidade do som resultante é realizado simultaneamente pelos três eixos de sensibilidade do acelerômetro presente na base do GuitarAMI. Este tipo de mapeamento é chamado de *many-to-one* (HUNT *et al.*, 2000) e, ao acrescentar maior complexidade no mapeamento, proporciona também uma experiência de controle mais próxima àquela oferecida pelos instrumentos acústicos tradicionais (WANDERLEY; DEPALLE, 2004).

Para a modelagem de envelope dinâmico em tempo real (*real-time envelope shaper*) da intensidade sonora programamos um *patch* independente e que pode ser mapeado no modo *one-to-one* com o sensor ultrassônico. O instrumentista pode sustentar um som sintetizado enquanto realiza alterações na intensidade sonora do som do violão em tempo real. Este algoritmo é chamado simplesmente de *Env-shaper*.

É importante notar que o *Env-shaper* se propõe a controlar exclusivamente o parâmetro de intensidade do envelope sonoro. Com isto é possível simular o resultado sonoro de alguns procedimentos de manipulação sonora comumente realizados em estúdio.

¹² Interruptores SPST são botões ou *foot switches* de uma via de acionamento simples.

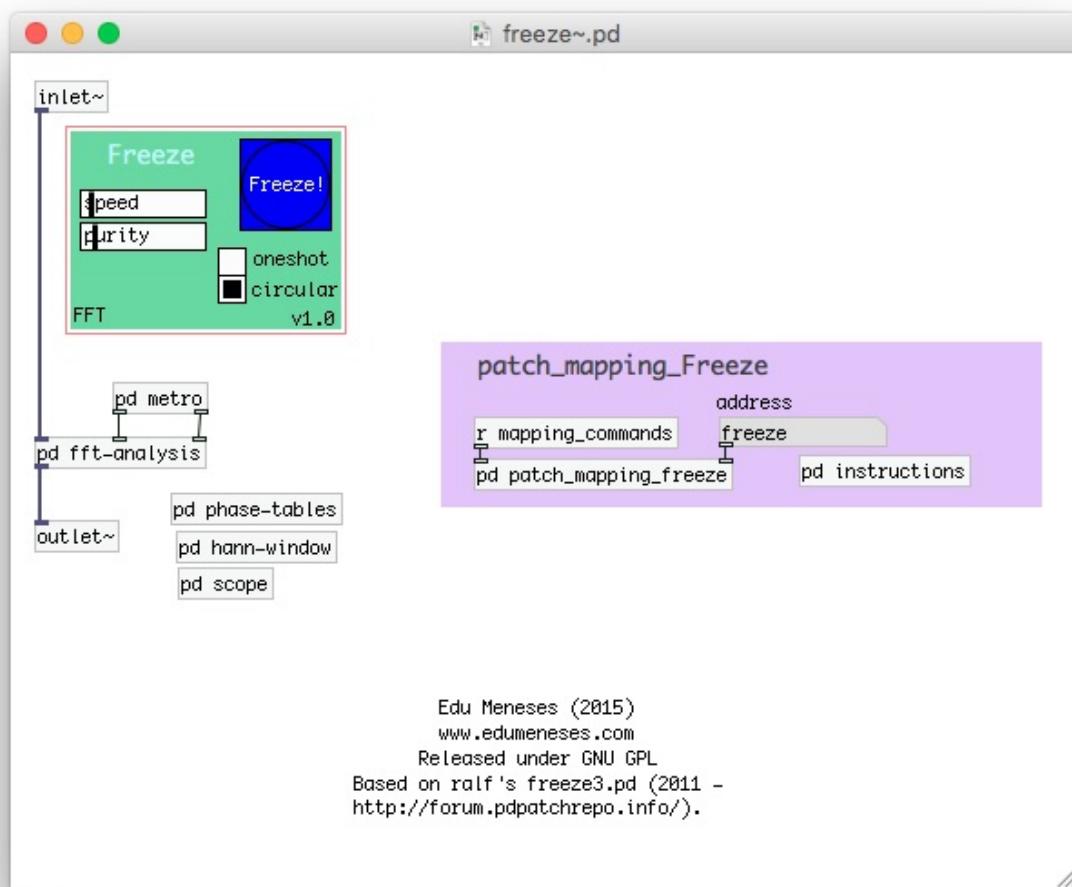


Figura 20 – *Patch Freeze*, responsável pela análise do som captado do violão e síntese sonora que pode ser sustentada indefinidamente.

Ainda que não seja possível utilizar o *Env-shaper* para, por exemplo, inverter o envelope sonoro de determinada nota emitida pelo violão, é possível controlar a intensidade do som de tal maneira que temos a impressão se suprimir o ataque, decaimento a fase de liberação do envelope sonoro, conforme exemplificado na figura 22.

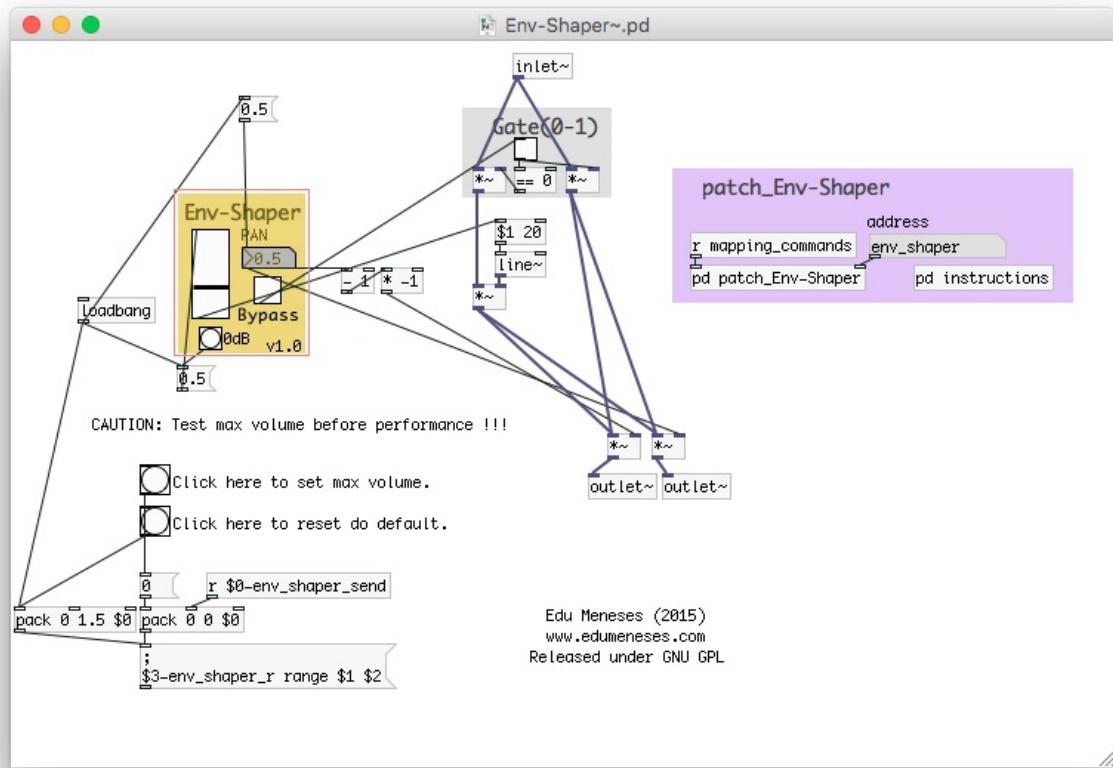


Figura 21 – Patch Env-shaper, responsável pela modelagem de envelope dinâmico em tempo real.

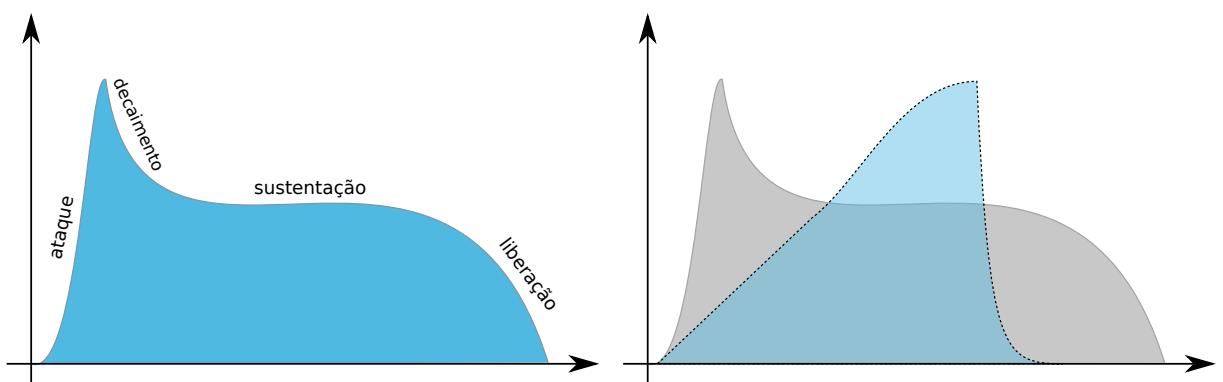


Figura 22 – À esquerda temos um exemplo de envelope sonoro com seus componentes; À direita temos um envelope em cinza que representa o envelope sonoro original enquanto o envelope em azul apresenta uma possibilidade de utilização do Env-shaper para suprimir o ataque, decaimento e liberação, além de aumentar a intensidade dinâmica na fase de sustentação do envelope sonoro em tempo real.

4 Aplicação do GuitarAMI na Educação e Performance Musical

Neste capítulo serão abordadas experiências e informações coletadas com a utilização do GuitarAMI, computadores e diferentes tecnologias eletrônicas durante esta pesquisa. Por uma questão de simplicidade e coerência com o objetivo da pesquisa, o termo tecnologia neste trabalho se refere primordialmente às tecnologias eletrônicas digitais. Em algumas seções, no entanto, fez-se necessário conceitualizar melhor e expandir o conceito de tecnologia.

Na seção 4.1 serão discutidos alguns conceitos referentes à utilização de tecnologias no ambiente educacional que foram aplicados durante as atividades relatadas nas seções 4.1.1 e 4.1.2.

Serão discutidos na seção 4.2 todos os experimentos práticos realizados com os diversos protótipos do GuitarAMI em performance, além das possibilidades criativas exploradas durante a pesquisa.

4.1 Educação Musical com apporte tecnológico

A utilização de dispositivos eletrônicos em educação foi intensificado ao longo dos anos, e com isto surgiram discussões acerca da melhor aplicação destes recursos na prática docente. Quando falamos em educação musical acrescentamos maior complexidade à discussão tendo em vista a própria relação incipiente entre música e tecnologia.

É preciso, no entanto, definir o que se entende por tecnologia neste trabalho. Semanticamente, podemos considerar uma ampla quantidade de dispositivos, equipamentos e instrumentos como tecnologia, incluindo os instrumentos musicais acústicos, tradicionais e antigos.

Algumas práticas na inclusão de tecnologia em educação musical se limitam à utilização destes recursos simplesmente como novas ferramentas para apresentação de conteúdos já estabelecidos de ensino musical.

Em (LEME, 2006) a utilização de amplificadores, reprodutores de áudio ou vídeo, instrumentos elétricos como guitarra ou teclado e pedais de efeito é considerada como modelo básico de aplicação de tecnologia no ensino musical.

Em (PEREIRA, 2007) há uma concentração na utilização de recursos de *software* como emuladores de instrumentos musicais, *softwares* de improvisação e arranjo, editores de partitura, *softwares* para mixagem e sequenciamento musical e *softwares* para ensino

de teoria e percepção musicais.

Estas abordagens, ao mesmo tempo que corretamente almejam evitar a visão erônnea de tecnologia como método de ensino, têm o revés de negligenciar a potencialidade destas possibilidades tecnológicas como fonte de recursos para utilização em ambiente educacional.

Tecnologias ubíquas são frequentemente vistas como objetos que desviam a atenção dos alunos do conteúdo planejado. *Smartphones*, por exemplo, são itens banidos na maioria das salas de aula, sejam elas direcionadas ao ensino musical ou não. No entanto, estes dispositivos possuem potencialidade para se tornarem instrumentos musicais, sejam explorados sob um paradigma tradicional no qual serão “tocados” como instrumentos tradicionais, ou utilizados como ferramenta de manipulação timbrística através de algoritmos.

Um aspecto interessante na utilização de dispositivos eletrônicos na educação musical não contemplado pelas estratégias anteriormente citadas é a possibilidade de utilização destes como ferramentas criativas de exploração sonora e timbrística. Conforme vimos na seção 1.1, as tecnologias digitais possuem importante papel na realização da música eletroacústica.

A utilização de dispositivos eletrônicos ou instrumentos eletronicamente modificados como o GuitarAMI em música representam uma transmutação do material sonoro. Com o advento da gravação sonora, o material sonoro (e consequentemente o material musical) deixou de ser efêmero para se tornar um objeto informacional, que pode ser reproduzido, copiado, manipulado e transmitido infinitas vezes.

Essa mudança de paradigma possibilita o tratamento da música como objeto a ser explorado e manipulado em tempo diferido através da utilização de recursos tecnológicos. Para explorar estes recursos precisamos também revisitar e repensar o conteúdo planejado, adequando a esta nova realidade.

Nesta pesquisa oferecemos aos participantes das atividades relatadas a possibilidade de utilização do GuitarAMI para exploração sonora, além de incluirmos em nossa lista de interesses a utilização de recursos tecnológicos digitais ubíquos usualmente não associados à prática musical, como por exemplo *smartphones*, sensores e plataformas eletrônicas de construção de dispositivos eletrônicos; além de ferramentas de *hardware* e *software* utilizados recorrentemente na música eletroacústica porém ainda pouco explorados no ambiente educacional.

Por fim, é importante ressaltar que ainda que a tecnologia digital apresente novas possibilidades criativas à prática musical, ela não pode ser encarada como um metodologia de ensino e sim como uma ferramenta a se adequar ao método proposto pelo professor (WICKS, 2008). Enquanto aplicada como ferramenta de apoio ao currículo tradicional

de ensino musical, os recursos tecnológicos digitais podem ser úteis na tarefa de tornar o conteúdo acessível ao aluno. No entanto, estes recursos assumem papel majoritário para levar a exploração sonora ocorrida durante a o século XX à sala de aula.

4.1.1 Apresentação e experimentação do GuitarAMI em ambiente educacional

O primeiro protótipo do GuitarAMI foi utilizado em um *workshop* intitulado “Música, Tecnologia e Criatividade”, realizado no dia 22 de outubro de 2014 no Polo Penha, uma das unidades de ensino do Programa Guri¹ na cidade de São Paulo.

A proposta inicialmente sugerida pelo autor deste trabalho e por Bruno Hernandes (professor de bateria do Programa Guri - Polo Penha) era de apresentar aos alunos e professores interessados o GuitarAMI, além de alguns procedimentos e possibilidades para a utilização de dispositivos eletrônicos em performance musical. O encontro foi dividido em 3 etapas onde em um primeiro momento foi apresentado um panorama histórico da música contemporânea do século XX, que utiliza recursos eletrônicos na sua produção. Este foi seguido por um segundo momento com atividades práticas, culminando em um terceiro momento em que houve uma roda de discussão entre os participantes, sobre as atividades realizadas.

O perfil dos participantes foi variado e contamos, além dos professores organizadores, com 16 alunos de diversos instrumentos, entre eles: violões, flautas, percussão, trompetes, violinos, violoncelos e clarinetes, além de um professor da área de metais (trompete, trombone e tuba) e um professor da área de madeiras (flauta, clarinete e saxofone).

Foi dada especial ênfase à segunda parte do encontro pois pretendia-se que os participantes vivenciassem alguns procedimentos instrumentais e performáticos trabalhados durante a segunda metade do século XX. As atividades escolhidas foram, portanto, no âmbito da livre improvisação utilizando tanto instrumentos musicais tradicionais quanto objetos considerados “não musicais” pelos participantes ou mesmo manipulações sonoras realizadas pelo GuitarAMI ou por um computador controlado por um dos participantes.

A utilização de procedimentos de improvisação com os participantes se mostrou acertada pois cada um destes possuía diferentes níveis de proficiência musical. A livre improvisação ofereceu aos alunos a possibilidade de experimentar diversos procedimentos combinados e garantiu a contribuição de todos independentemente do nível técnico do participante. Foram realizados acordos tanto tácitos quanto explícitos (FALLEIROS, 2012) entre os participantes para realização de alguns procedimentos musicais , propostos pelos próprios alunos e com eventual orientação dos professores.

¹ O Programa Guri é um programa de educação musical e inclusão social iniciado em 2008 através de uma parceria entre a Secretaria de Cultura do Estado de São Paulo e a Santa Marcelina – Organização Social de Cultura (<<http://www.gurisantamarcelina.org.br/>>).

Antes do início das sessões de improvisação utilizando instrumentos musicais e recursos eletrônicos os participantes foram convidados a participar de uma atividade de improviso rítmico livre. Esta atividade teve o objetivo de preparar os alunos para que pudessem atingir posteriormente a fase de improvisação conhecida como *orientada ao produto* (KRATUS, 1996), em que os participantes são capazes de estruturar a sessão de improvisação e interagir com outras pessoas, conforme observamos na figura 23.



Figura 23 – Sessão de improviso rítmico livre. Os participantes percutiam sobre as mesas ou quaisquer objetos que encontrassem no ambiente.

Em duas sessões de improvisação (figuras 24 e 25) algumas interações musicais foram criadas entre os participantes em que pôde-se perceber que durante as atividades alcançaram momentos que puderam ser associados à alguns estágios de improvisação sugeridos por John Kratus: a *exploração*, na qual os participantes experimentavam durante a improvisação sem restrições estruturais; o *processo-orientado*, na qual os participantes já determinaram algum repertório de gestos musicais porém sem ênfase na interação com outros participantes; e a fase *orientada ao produto*, explicada anteriormente (KRATUS, 1996).

As únicas orientações dadas aos participantes foram que interagissem uns com os outros, criando sons que consideravam interessantes ou relevantes. Durante a sessão um microfone captava o áudio de um dos instrumentos musicais utilizados e enviava esses dados para o computador, onde um dos participantes poderia manipulá-los com uma versão do *patch* programado em PD para o primeiro protótipo do GuitarAMI. O som resultante foi reinserido na sessão com a utilização de alto-falantes, compondo a paisagem sonora criada pelo som de instrumentos acústicos e eletrônicos (MENESES *et al.*, 2015a).



Figura 24 – Sessão de improviso utilizando o GuitarAMI além de outros recursos de *live electronics* (MENESES *et al.*, 2015a).

Os violonistas que participaram do *workshop* puderam experimentar o primeiro protótipo do GuitarAMI e este foi utilizado em uma das sessões de improvisação pelo autor deste trabalho. O *feedback* obtido com a utilização do GuitarAMI nesta atividade é detalhado na seção 2.8.0.2 e foi utilizado para a construção do segundo protótipo do GuitarAMI.



Figura 25 – Sessão de improviso livre incluindo todos os participantes do *workshop* “Música, Tecnologia e Criatividade”.

O *workshop* teve duração de 3 horas e a roda de discussão encerrou a atividade. Esta interação final entre os participantes pôde sedimentar as informações apreendidas pelos professores e alunos, além de possibilitar um relato pessoal e troca de experiências e anseios dos presentes.

A maior parte dos participantes relatou que esta atividade foi seu o primeiro contato com instrumentos aumentados como o GuitarAMI, a livre improvisação, com música contemporânea e com a utilização de processamento sonoro em tempo real simultaneamente à utilização de instrumentos musicais acústicos. Apesar da intensa presença de dispositivos eletrônicos no cotidiano destes alunos e professores não há reconhecimento destes dispositivos eletrônicos como recursos que possibilitem processos criativos em música pelos participantes.

Os participantes também relataram que esta atividade mudou suas percepções sobre o uso de recursos eletrônicos em tempo real para a livre improvisação musical. Os alunos relataram acreditar que o uso de tais recursos em apresentações musicais era anteriormente considerado por eles impossível ou muito difícil e esta opinião mudou após a participação no *workshop* (MENESES *et al.*, 2015a).

O interesse dos participantes e o nível de aprofundamento conseguido em cada um dos momentos do *workshop* demonstrou que o tempo de duração da atividade e seu formato poderiam ser expandidos.

4.1.2 A utilização do GuitarAMI no curso modular: Música, Tecnologia e Criatividade

Após a realização do *workshop* relatado na seção 4.1.1 e da construção do segundo protótipo do GuitarAMI, propusemos a ampliação da atividade, transformando-a em um curso modular de duração semestral de nome homônimo ao *workshop* (Música, Tecnologia e Criatividade). Este curso ocorreu no Polo Osasco durante o primeiro semestre de 2015 e recebeu um segundo módulo no segundo semestre do mesmo ano.

Para o primeiro módulo do curso foram previstos 12 encontros com uma hora de duração cada, onde apenas um deles não pôde ser realizado. O curso contou com 15 participantes ao longo de todo o semestre, dos quais 9 alunos seguiram as atividades integralmente.

Cada encontro foi dividido em duas etapas:

- a) Aquisição de conceitos / pesquisa; e
- b) Experimentação / criação da performance.

Durante a etapa de aquisição de conceitos os alunos foram convidados a pesquisar sobre temas relacionados à técnicas desenvolvidas ao longo do século XX nas áreas de:

improvisação, linguagens e procedimentos compostionais, recursos eletrônicos, computacionais e estética. Nestas pesquisas orientadas, o professor apresentava um tema acrescido de algumas informações e os alunos usualmente utilizavam a internet para coletar dados, áudios ou vídeos relacionados ao tema. Outras informações complementares eram fornecidas pelo professor.



Figura 26 – Momento em que o autor deste trabalho (à esquerda) tece comentários aos participantes sobre a apresentação de encerramento do curso modular “Música, Tecnologia e Criatividade” ocorrida em 25 de junho de 2015 no Polo Osasco do Programa Guri.

Seguiu-se então uma atividade prática explorando aspectos que foram apreendidos em cada aula. Esta experimentação contou com o GuitarAMI, além de diversos instrumentos musicais tradicionais e quaisquer dispositivos de geração sonora à disposição dos alunos. Foram utilizados conceitos de livre improvisação nos quais os participantes previamente combinaram restrições de elementos musicais de acordo com o tema trabalhado, construindo um jogo (FALLEIROS, 2011) concentrado nas características musicais levantadas durante a primeira etapa do encontro.

Ao final de cada atividade os alunos foram convidados à selecionar procedimentos ou mesmo ideias musicais que surgiram durante as sessões de improvisação para a criação de uma partitura-guia para descrever os procedimentos de uma obra-processo (PATRÍCIO, 2010) criada coletivamente durante o curso.

Os conceitos abordados durante a primeira etapa foram: definição de improvisação, modelos de improvisação, conceito de som (e ruído) e sua utilização em música, formas e organização musical e, por fim, obra-processo. Também foram abordados: organização e estilo musical, passando por minimalismo, dodecafônico, serialismo e livre improvisação.



Figura 27 – Apresentação de encerramento do curso modular “Música, Tecnologia e Criatividade” ocorrida em 25 de junho de 2015 no Polo Osasco do Programa Guri. Música conduzida pelo professor Anderson Souza.

Durante a segunda etapa do curso foi preparada uma performance musical utilizando todos os conceitos apreendidos durante os encontros anteriores.

Os alunos do curso selecionaram o material sonoro para utilização em uma performance que foi apresentada dia 25 de junho de 2015 durante o encerramento do semestre letivo no Polo Osasco e organizaram uma partitura-guia contendo a forma e indicações acordadas, além do modo de utilização do material musical previamente selecionado. Além disto, os alunos selecionaram quais recursos foram utilizados na obra, incluindo a utilização do GuitarAMI, 2 *smartphones*, 1 computador executando *patches* programados em PD contendo processos de modulação AM e FM, 1 microfone conectado a um dos computadores e diversos instrumentos musicais tradicionais.

Na figura 28 temos a versão final da partitura-guia criada e modificada pelos alunos durante o curso modular. É possível observar todos os acordos realizados entre os alunos para cada uma das partes da obra e o tempo estimado pelos participantes para cada uma destas partes.

Durante a performance a condução realizada pelo professor Anderson Souza proporcionou controle do tempo para a mudança de cena musical. A performance foi planejada com duração de 3 minutos porém pela própria organização da partitura-guia em diversas cenas musicais de objetos independentemente organizados, é possível expandir ou comprimir esta duração e é estimado que esta performance atinja um equilíbrio ideal com uma extensão de 15 minutos.

Apesar dos 12 encontros do curso, não foi possível um grande aprofundamento em processos de manipulação sonora usualmente utilizados na música eletroacústica, o que poderia fomentar uma maior pesquisa e utilização destes recursos consolidados na música contemporânea. Após um período de assimilação durante a utilização de processos de modulação FM ou AM, os alunos demonstraram consciência e antecipação do resultado sonoro, porém não houve tempo hábil para que aprendessem os efetivos processos pelos quais o som é processado até o seu resultado sonoro final.

Esta performance foi informalmente registrada e pode ser acessada através do endereço <<https://youtu.be/NS3BH6tn6yg>>.

Para o segundo módulo do curso modular os participantes foram convidados à realizar um aprofundamento acerca das vertentes estilísticas exploradas ao longo da segunda metade do século XX. Este tema incluiu, além da livre improvisação, estudos sobre expansão tonal, minimalismo, dodecafônico, poliestilismo e música eletroacústica, além de aplicação de conceitos da música espectral.

Os alunos participantes do segundo módulo foram, em sua maioria, os mesmos alunos participantes do primeiro módulo. Porém recebemos dois novos alunos para este semestre. Portanto, a estratégia adotada foi a mesma realizada durante o primeiro módulo: encontros divididos em dois momentos com um primeiro momento de pesquisa, seguido por uma atividade prática.

Utilizando o aprendizado adquirido ao longo do primeiro módulo, os participantes puderam realizar maior aprofundamento dos estilos e possibilidades criativas enquanto apreendiam os conceitos e os praticavam diariamente.

Alguns alunos espontaneamente traziam aos encontros, de acordo com os estilos e técnicas abordados, sugestões de acordes e combinações para as atividades práticas. Estes acordes serviram de base para que fosse possível criar uma performance de encerramento de curso utilizando todo o conteúdo trabalhado ao longo do semestre.

É possível observar no anexo A um aumento de complexidade desta partitura-guia em relação à apresentada na figura 28, o que aponta também maior complexidade das interações realizadas entre os participantes. Este aumento exigiu dos participantes um maior nível de concentração durante a performance enquanto as interações ocorridas entre os alunos, fossem estas em contexto de improvisação ou predeterminadas, exigiu maior treino e comprometimento entre os participantes.

Coloque o nome aqui

Alunos do módulo
e banda do Polo
Osasco

A

(Theremin) 12" Bateria 30"

CV/ler → insr.
(Theremin FF > 8)

notes acumulando 40"

V1/2 EUF or V1/2 Vc PP

Am 7 9B Em 7 9(B) C# 0 (O)

env. V1/50

30"

Improvisos → TP com Compositor

A7 | X | Y | Y | D7 | D7 |

A7 | X | E7 | D7 | A7 | E7 |

(Blues)

TUTTI PP

Bateria

Blues → rock

20"

C G B || + acc. rock

20"

Cellulares + Acc. rock

EUF + Vc (livre)

F1 + V1/2 (livre)

TUTTI (livre) ⇒ Saída 2 a 2

F1 + TP2

TP1 + Vc

CV + V1/2

V1/2 + EUF

V1/2 + Bat

25"

2015

Figura 28 – Partitura-guia criada pelos participantes do curso modular “Música, Tecnologia e Criatividade” e executada durante a apresentação de encerramento de curso.

4.2 Performance com o GuitarAMI

No decorrer desta pesquisa, os protótipos do GuitarAMI foram submetidos à situações de performance e exploração do instrumento.

Conforme relatado na seção 2.8.0.1, a primeira atividade prática que utilizou o GuitarAMI foi o 1º Colóquio Franco-Brasileiro de Análise e Criação Musicais com Suporte Computacional. Este evento ocorreu entre os dias 18 e 28 de agosto de 2014 e foi organizado pelo Núcleo Interdisciplinar de Comunicação Sonora (NICS), em parceria com a Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Unicamp (FEEC), o Instituto de Artes da Unicamp (IA) e o Centro de Integração, Documentação e Difusão Cultural da Unicamp (CIDDIC), junto à Universidade de São Paulo (USP) e à Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), contando ainda com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Neste colóquio, a utilização do primeiro protótipo do GuitarAMI e de outros AMIs ocorreu em um ambiente específico para testes de novas tecnologias aplicadas à música, o que forneceu um primeiro *feedback* que, juntamente com as informações coletadas no *workshop* descrito na seção 4.1.1, contribuiu para o desenvolvimento do segundo protótipo.

A avaliação do segundo protótipo do GuitarAMI foi iniciada tão logo sua construção foi concluída, conforme relatado na seção 2.8.0.2. Além da utilização do segundo protótipo no curso modular (seção 4.1.2) foi possível utilizar o GuitarAMI em situação de performance.

O trio B.E.A.T.² realizou uma apresentação dia 24 de junho de 2015 durante um evento intitulado *Palestras e Performances*, ocorrido no Auditório do Instituto de Artes da Unicamp. Este evento contou com diversas palestras e performances sobre música e tecnologia (MENESES, 2015), além de apresentações musicais que utilizavam recursos tecnológicos das mais variadas formas, entre eles procedimentos de gravação e reprodução sonora, análise de áudio, acompanhamento musical automatizado e *live electronics*.

A performance apresentada durante este evento pelo trio e intitulada *Improviso em 3 Dimensões*, (figura 29), utilizou o conceito de obra-processo (descrito na seção 4.1.2) para criar uma performance composta de 3 movimentos nos quais fragmentos musicais criados pelos integrantes do grupo foram trabalhados durante dois encontros previamente realizados.

Em cada movimento da performance apresentada um dos instrumentistas foi eleito para liderar o movimento, guiando a performance através da sugestão dos fragmentos musicais previamente selecionados e sugerindo motivos para a improvisação. O nome dado

² O B.E.A.T. (acrônimo para *Brazilian Electronic Aleatorium Trio*) é um grupo formado pelos músicos Walmir Gil (trompete), Alê Damasceno (bateria) e Edu Meneses (violão) com a proposta de explorar possibilidades de livre improvisação utilizando recursos eletrônicos e instrumentos acústicos.



Figura 29 – Apresentação da peça *Improviso em 3 Dimensões* pelo trio B.E.A.T. no evento *Palestras e Performances*, ocorrido no Auditório do Instituto de Artes da Unicamp em 24 de junho de 2015 (MENESES, 2015).

a cada um dos movimentos também contém implicitamente uma sugestão de interação entre os músicos.

Além de recursos de *live electronics* utilizados na bateria e trompete, o GuitarAMI foi utilizado na execução de um *patch* para mapeamento gestual e envio de mensagens MIDI para o software Integra Live (descrito na seção 3.3), onde estas mensagens foram utilizadas em algoritmos de síntese sonora controlados dinamicamente através dos sensores e interruptores do GuitarAMI (MENESES *et al.*, 2016).

A escolha dos algoritmos utilizados no GuitarAMI procurou refletir a proposta contida em cada um dos movimentos. Foram utilizados algoritmos disponíveis no Integra Live (também chamado de módulos) e organizados em cenas. Cada uma das cenas continha um *setup* predeterminado para cada movimento. No entanto, o modo como estes processos de síntese e manipulação foram utilizados durante a performance era de livre escolha do instrumentista.

Os movimentos foram nomeados e ordenados como segue: Dimensão Z: Ritmo (conduzido pela bateria); Dimensão Y: Harmonias (conduzido pelo violão); e Dimensão X: Melodia (conduzido pelo trompete).

No movimento *Dimensão Z: Ritmo* foram utilizados 4 módulos do Integra Live.

Os módulos denominados *Convolução*³ e *Spectral Vocoder*⁴ foram ligados paralelamente e o sinal de saída dos dois processos foi conectado a um módulo chamado *Ping-Pong Delay* que, além de adicionar atraso ao sinal de áudio, alterna seu envio entre o canal esquerdo e direito de saída. Estes três módulos foram conectados paralelamente a um módulo intitulado *Granular Delay* que, como o próprio nome revela, realiza simultaneamente síntese granular em tempo real e *delay* do sinal de áudio. Este *setup* pode ser visualizado na figura 30.

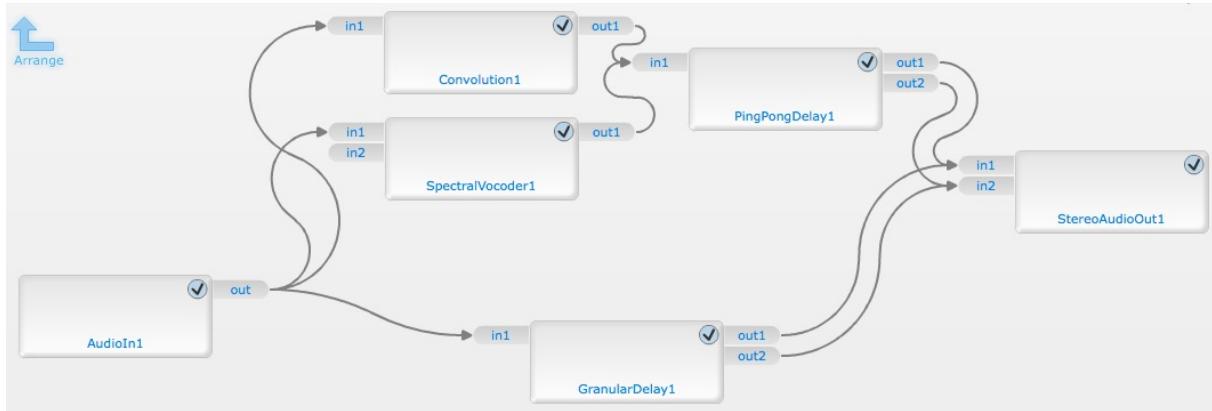


Figura 30 – Cena sonora utilizada no primeiro movimento da performance *Improviso em 3 Dimensões*, intitulado *Dimensão Z: Ritmo*.

Para o movimento *Dimensão Y: Harmonias*, os seguintes módulos foram utilizados: Modulação em Anel⁵, Vibrato e *Spectral Freeze*. Todos estes processos estavam conectados de forma paralela, permitindo portanto acionamento independente. A Modulação em anel foi configurada para utilização de onda senoidal como moduladora.

No movimento *Dimensão X: Melodia* houve novamente uma organização em paralelo dos três módulos do Integra Live utilizados. O *Material Simulator* é um filtro que imprime no som captado em tempo real as características formantes de diferentes materiais, tais como: vidro, metal, plástico, madeira, entre outros. O *Resonant Bandpass Filter* atua como um filtro passa-banda. Por fim, o módulo *Flanger*, que adiciona ao áudio captado um sinal idêntico com *delay* (atraso) de alguns milissegundos.

Os dados recebidos pelos sensores do GuitarAMI foram mapeados através de um *patch* e convertidos em mensagens MIDI, que por sua vez foram mapeadas diretamente

³ Convolução é um operador linear que, a partir de duas funções dadas, resulta numa terceira que mede a área subentendida pela superposição das mesmas em função do deslocamento existente entre elas. Em música, convolução é usada, entre outros, para simular reverberação de um determinado espaço. Este processo utiliza um arquivo de áudio como modelo de resposta de reverberação e aplica este modelo a um sinal sonoro em tempo real.

⁴ O módulo *Spectral Vocoder* utiliza as características espectrais de um áudio previamente gravado para alterar o sinal captado pelo instrumento em tempo real.

⁵ O processo de modulação em anel é similar à modulação AM, exceto por utilizar uma moduladora unipolar, ou seja, um sinal modulador com valor sempre superior ao valor de base.

no Integra Live usando a estratégia *one-to-one* (ROVAN *et al.*, 1997), conforme explicado na seção 3.4.

Esta performance teve duração de aproximadamente 25 minutos e a versão completa pode ser assistida através do *link* <<https://youtu.be/e2QuWLH87pg>> ou em sua versão reduzida, no *link* <<https://youtu.be/dUd-1i0h104>>.

Todas as informações referentes à utilização do GuitarAMI nas performances apresentadas foram utilizadas para a construção do terceiro protótipo do AMI, relatado na seção 2.8.0.3. O *feedback* recebido dos instrumentistas também foi relatado nas seções 2.8.0.2 e 2.8.0.3.

5 Discussões e Conclusão

Este trabalho apresentou um desenvolvimento em música e tecnologia composto pelo planejamento, a construção, a utilização e a reconstrução de um instrumento musical aumentado intitulado GuitarAMI. Espera-se que esta dissertação contribua não somente para a construção de novos dispositivos utilizando violões ou outros instrumentos, mas também para estabelecer os parâmetros que possam guiar a utilização destes AMIs no fazer musical.

Para esta dissertação foram realizadas atividades em duas frentes distintas: a pesquisa e utilização de recursos tecnológicos para criar o GuitarAMI e a utilização deste AMI construído em performance e educação musical. A relação interdisciplinar (BICUDO, 2008) entre artes e engenharia foi amplamente explorada durante a fase de pesquisa para construção dos protótipos do GuitarAMI.

Trabalhar com dispositivos eletrônicos e aspectos tecnológicos demanda precisão, eficiência, baixo custo e pouco consumo de energia. Após a construção do instrumento musical aumentado e durante sua aplicação artística não houve mais sentido em permanecer com as mesmas demandas exigidas dos dispositivos eletrônicos. No entanto passa a ser prioritário que o instrumento musical aumentado forneça uma resposta condizente com os anseios do instrumentista ou compositor, além de ser importante que este possibilite uma expansão em seu uso para além das metas propostas em sua construção através do domínio do instrumento pelo artista.

O grande objetivo do desenvolvimento do GuitarAMI foi criar um AMI que permita ao instrumentista um rápido entendimento de suas funções, ao mesmo tempo que desafie este instrumentista apresentando novas possibilidades à medida que se especialize em sua utilização.

Um exemplo que ilustra a relação entre entendimento das funções projetadas no GuitarAMI e o domínio destas pode ser observado na utilização do *patch freeze.pd*, descrito na seção 3.4. Entre as informações coletadas durante a utilização dos protótipos do GuitarAMI percebeu-se que o momento de acionamento do algoritmo contido no *patch* é de fundamental importância na sua utilização.

O momento em que o instrumentista captura a amostra sonora determina a qualidade do som sintetizado. Se esta captura for realizada em um momento muito próximo ao ataque existe grande possibilidade de que o som sintetizado reproduza vários transientes do som capturado, acrescentando assim ruído ao som sustentado. Por isso, o momento ideal para gravar a janela de captura parece ser alguns milissegundos após o ataque, quando grande parte do ruído transiente (estocástico) perde a energia e o algoritmo sin-

tetiza um som com maior presença de componentes quase-periódicas (determinísticas) do som do violão (MENESES *et al.*, 2016; SERRA, 1989).

Apresentamos no capítulo 1 uma retrospectiva histórica acerca da utilização de recursos tecnológicos no fazer musical e, mais especificamente, o desenvolvimento da música eletroacústica mista e a utilização do suporte dinâmico em performance. Após esta retrospectiva apresentamos também os motivadores e objetivos desta pesquisa.

O levantamento histórico acerca da música eletroacústica mista com suporte dinâmico¹ foi fundamental para o delineamento do trabalho, além de fornecer subsídio para que pudéssemos traçar metas técnicas e esteticamente condizentes com a prática musical exposta. Há também importância bibliográfica neste levantamento face à pouca bibliografia encontrada em português sobre o tema.

O capítulo 2 discutiu sobre a construção do GuitarAMI, partindo do levantamento dos conceitos necessários à confecção do diagrama de construção, analisando a escolha dos gestos que geraram os dados de controle utilizados no dispositivo, analisando outras iniciativas de construção de AMIs utilizando violão ou guitarra e, por fim, apresentando os protótipos construídos durante a pesquisa.

O capítulo 3 apresentou o ambiente computacional responsável pelo mapeamento gestual, recebendo da base do GuitarAMI os dados de controle gerados através da informação gestual capturada pelos sensores do módulo do GuitarAMI e, após manipulação destes dados, o seu envio aos *patches* responsáveis pela execução dos algoritmos de síntese e manipulação sonora.

A apresentação das possibilidades de aquisição gestual realizada na seção 3.1 foi necessária para a criação e configuração de um algoritmo responsável pelo mapeamento gestual. No GuitarAMI há, além de um mapeamento gestual previamente configurado para controle dos *patches* *freeze.pd* e *env-shaper.pd*, uma série de objetos programados para possibilitar o envio de dados de controle que podem ser utilizados em outros algoritmos criados por instrumentistas ou compositores.

A opção adotada durante esta pesquisa foi de dividir o mapeamento gestual em duas partes, apresentando uma configuração predeterminada para os *patches* *freeze.pd* e *env-shaper.pd*, enquanto oferece a possibilidade de mapeamento de outros algoritmos criados pelo instrumentista ou compositor.

A utilização do Pure Data como linguagem e plataforma para programação dos *patches* e execução de seus algoritmos trouxe grandes vantagens já descritas na seção 3.2. Com utilização do Integra Live pudemos contar com algum *feedback* visual fornecido pelo *display LCD* utilizado, além da facilidade em acrescentar algoritmos pré-programados à performance em tempo real. O Integra Live foi substituído por um pedal multiefei-

¹ Conforme exposto na seção 1.1.

tos durante a construção e utilização do terceiro protótipo do GuitarAMI. Esta decisão aumentou o nível de controle do instrumentista e diminuiu o tempo de atraso do sistema.

O objetivo principal do algoritmo presente no *patch freeze.pd* é de sintetizar um som morfológicamente equivalente ao som original que possa ser sustentado indefinidamente, porém este som gerado pelo *patch* torna-se mais distante do som original à medida que a complexidade da fonte sonora aumenta. Acordes e sons complexos ricos em harmônicos podem gerar um áudio sintetizado com características muito diferentes em comparação à fonte sonora original (MENESES *et al.*, 2016). Esta característica do *patch freeze.pd* pode ser utilizado de uma forma expressiva pelo instrumentista ou compositor durante uma performance.

O instrumentista deve executar algumas rotinas de calibração no GuitarAMI para possibilitar um controle preciso da intensidade do som sintetizado no *patch freeze.pd*, uma vez que o acelerômetro utilizado pode ter seus parâmetros de sensibilidade alterados de acordo com a necessidade do músico.

Os sensores utilizados no GuitarAMI são relativamente sensíveis e precisos, por esta razão o *patch env-shaper.pd* requer um período considerável de utilização pelo instrumentista para que este adquira habilidade suficiente e possa produzir o resultado sonoro almejado durante a performance. É possível utilizar, após certa prática, sons usualmente utilizados em música acusmática e que anteriormente só eram possíveis de serem capturados com a inversão do envelope sonoro e utilizados com suporte fixo.

O capítulo 4 discutiu a aplicação do GuitarAMI em dois cenários distintos: como ferramenta de educação musical e como instrumento para performance.

Para alguns dos grandes pensadores do ensino musical², a improvisação assume papel de protagonista na educação musical e deve ser encorajada desde o início do aprendizado. A improvisação auxilia no desenvolvimento da criatividade dos alunos, estimula a audição crítica, encoraja a proatividade e, em casos de atividades coletivas, reforça a importância do trabalho em equipe (MENESES; FORNARI, 2015a).

É possível, através da improvisação, atuar com participantes de diferentes níveis de proficiência musical, incluindo alunos iniciantes. O *workshop* relatado na seção 4.1.1 contou com a participação de alunos em diferentes níveis técnicos que puderam contribuir com a performance através da livre improvisação. Para além da integração entre alunos de diferentes níveis técnicos, a prática da livre improvisação e a criação coletiva de uma partitura-guia (seção 4.1) possibilitaram aos participantes atingir diferentes fases no desenvolvimento da atividade de improvisação (KRATUS, 1996).

A partir da bagagem musical de cada participante foram trabalhados aspectos de

² Entre os pensadores do ensino musical que atribuem papel fundamental à improvisação temos Keith Swanwick, Émile Jaques-Dalcroze, Violeta Gainza, Edgar Willem e Zoltán Kodály.

reconhecimento e organização sonora. A exploração irrestrita, abrangendo técnicas instrumentais tradicionais ou estendidas, além de quaisquer sons realizados pelos participantes democratizou a participação dos integrantes nas atividades propostas durante o *curso modular*. As contribuições dos participantes foram potencializadas por contarem com um ambiente onde as diferentes possibilidades de manifestação sonora foram consideradas matérias-primas para utilização no grupo.

5.1 Desenvolvimentos Futuros

O GuitarAMI apresenta diferentes possibilidades de desenvolvimentos e futuras expansões, explicados em detalhes a seguir.

Conforme descrito na seção 3.4, o som sintetizado pelo *patch freeze.pd* pode apresentar características sônicas bem diferentes do som original. São necessárias melhorias na programação ou mesmo a utilização de novas abordagens para que possamos obter uma síntese sonora com características psicoacústicas e cognitivas mais próximas às do som original.

Algumas possibilidades de utilização de algoritmos com diferentes abordagens para o *patch freeze.pd* incluem o aperfeiçoamento do algoritmo utilizado no *patch* com a utilização do método *overlap-add*³ ou mesmo a completa substituição da FFT, utilizada atualmente no *patch* para sintetizar um som a partir de informações adquiridas durante a análise espectral, por procedimentos como *overdub sustain*⁴.

Além da modificação das características intrínsecas do violão exploradas atualmente pela utilização do GuitarAMI, pode ser interessante investigar outras características além do envelope dinâmico e tempo de sustentação de uma nota, como por exemplo a emulação dos formantes de um som reverberado em diferentes materiais como metal ou plástico, a modificação virtual da caixa de ressonância do instrumento, a manipulação de harmônicos de uma ou várias notas, entre outras possibilidades.

Outra promissora proposta de ampliação desta pesquisa consiste em adicionar a este dispositivo outras possibilidades de *feedback* para o instrumentista, com especial ênfase à resposta tátil. O *feedback* tátil é fundamental para a execução de instrumentos acústicos (WANDERLEY, 2006) e, quando implantado em DMIs e AMIs, possibilita que

³ No método *overlap-add*, o sinal de áudio é dividido em amostras menores, que são analisados através da FFT e, posteriormente, um sinal resultante é reconstruído através da sobreposição e adição das amostras sintetizadas.

⁴ No procedimento conhecido como *overdub sustain* utilizam-se pequenos trechos gravados em diferentes momentos com intervalo de alguns milissegundos para compor uma sobreposição de sons gravados para prover a impressão de um som contínuo. Para eliminar ruídos provenientes dos recortes do sinal sonoro original, é utilizada uma técnica de janelamento com possibilidade de utilização de diferentes formatos de janela (entre elas *Hanning*, *Blackman*, *Cosine*, *Connes*, *Bartlett*, *Lanczos*, *Gaussian* ou *Kaiser*).

o instrumentista obtenha informações de como seus gestos estão sendo interpretados pelo sistema e qual a resposta sonora esperada para cada ação.

A utilização de DMIs e AMIs na área de educação musical se mostrou promissora, apresentando resultados artísticos em forma de performance ao final de cada ciclo de atividades, conforme descrito na seção 4.1. Uma proposta interessante de continuidade deste trabalho consiste em atividades que forneçam ferramentas técnicas para que os alunos possam criar DMIs e AMIs utilizando recursos tecnológicos acessíveis tanto em custo quanto em requisitos técnicos.

O movimento *Maker*⁵ tem ganhado força em diversas áreas do conhecimento e atividades cotidianas. A construção de DMIs e AMIs oferece uma interessante porta de entrada para explorar as possibilidades criativas que este movimento social proporciona à medida que oferece o objetivo de realização sonora.

⁵ Também conhecido como cultura *do-it-yourself* (DIY), ou faça-você-mesmo.

Referências

- ALIEL, L.; FORNARI, J. Creating an Ecologically Modeled Performance Through the Remote Manipulation of Multiple Soundscapes. In: GRUPO DE COMPUTAÇÃO MUSICAL - IME/USP. *Arquivos do XIV Simpósio Brasileiro de Computação Musical (SBCM)*. Brasília - DF - Brasil, 2013. p. 10 páginas. Disponível em: <http://compmus.ime.usp.br/sbcm/2013/pt/docs/art_mus_1.pdf>. Citado na página 18.
- ANALOG DEVICES, INC. *ADXL345 Data Sheet*. Rev. d. One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A., 2013. Disponível em: <<http://www.analog.com/>>. Citado na página 93.
- BENFORD, S.; HAZZARD, A.; CHAMBERLAIN, A.; XU, L. Augmenting a guitar with its digital footprint. In: BERDAHL, E.; ALLISON, J. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Baton Rouge, Louisiana, USA: Louisiana State University, 2015. p. 303–306. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2015/nime2015_264.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.
- BEVILACQUA, F.; RASAMIMANANA, N.; FL'eTY, E.; LEMOUTON, S.; BASCHET, F. The augmented violin project: Research, composition and performance report. In: SCHNELL, N.; BEVILACQUA, F.; LYONS, M.; TANAKA, A. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Paris, France: [s.n.], 2006. p. 402–406. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2006/nime2006_402.pdf>. Citado na página 21.
- BICUDO, M. A. V. A pesquisa interdisciplinar: uma possibilidade de construção do trabalho científico/acadêmico. In: PUC-SP - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO. *Revista Educação Matemática Pesquisa*. São Paulo, 2008. v. 10, n. 1, p. 137–150. ISSN 1983-3156. Citado na página 74.
- BONDY, J. A.; MURTY, U. S. R. *Graph Theory with Applications*. 5^a edição. ed. [S.l.]: North-Holland, 1982. ISBN 0-444-19451-7. Citado na página 50.
- BOUILLOT, N.; WOZNIEWSKI, M.; SETTEL, Z.; COOPERSTOCK, J. R. A mobile wireless augmented guitar. In: CAMURRI, A.; VOLPE, G.; SERAFIN, S. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Genoa, Italy: [s.n.], 2008. p. 189–192. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2008/nime2008_189.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 32.
- BRISTOW-JOHNSON, R. Wavetable synthesis 101, a fundamental perspective. In: AUDIO ENGINEERING SOCIETY. *Proceedings of the 101 101st AES Convention*. 5 Kilburn St., Burlington VT 05401, EUA, 1996. Citado na página 17.
- BURNS, C. Realizing lucier and stockhausen: Case studies in the performance practice of electroacoustic music. *Journal of New Music Research*, v. 31, n. 1, p. 59–68, março 2002. Citado na página 15.

- BURTNER, M. Noisegate 67 for metasaxophone: Composition and performance considerations of a new computer music controller. In: CASEY, C.; SCHNEIDER, K.; HAMMOND, E. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Dublin: [s.n.], 2002. p. 24–29. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2002/nime2002_024.pdf>. Citado na página 21.
- CÁCERES, J. P.; MYSORE, G. J.; TREVIÑO, J. Scuba: The self-contained unified bass augmenter. In: *Proceedings of the 2005 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME05)*. Vancouver, BC, Canadá: [s.n.], 2005. Citado na página 21.
- CADOZ, C.; WANDERLEY, M. M. Gesture-music. In: WANDERLEY, M. M.; BATTIER, M. (Ed.). *Trends in Gestural Control of Music*. Paris: Editions IRCAM – Centre Pompidou, 2000. p. 71–94. ISBN 284426039X 9782844260390. Disponível em: <[http://www.vigliensoni.com/McGill/CURSOS/2009_09/MUMT620/READINGS/2_Gesture-Music\(Cadoz-Wanderley\).pdf](http://www.vigliensoni.com/McGill/CURSOS/2009_09/MUMT620/READINGS/2_Gesture-Music(Cadoz-Wanderley).pdf)>. Citado na página 26.
- CAMPOS, A. d. *Música de Invenção*. 1ª edição - 1ª reimpressão. ed. [S.l.]: Perspectiva, 2007. Citado na página 14.
- CHION, M. Petit précis sur quelques mots-clés. In: *Cahier Recherche/Musique n° 4: La Musique du futur a-t-elle un avenir?* Paris: INA/GRM, 1977. Citado na página 14.
- COOK, P. Principles for designing computer music controllers. *Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-01)*, National University of Singapore, p. 1–4, 2001. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1085154>> http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085154. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.
- CYTRON TECHNOLOGIES SDN. BHD. *Product User's Manual – HCSR04 Ultrasonic Sensor*. 1.0. ed. 19, Jalan Kebudayaan 1A, Taman Universiti, 81300 Skudai, Johor, Malaysia., 2013. Disponível em: <<http://www.cytron.com.my/>>. Citado na página 36.
- DANNENBERG, R. B.; MCAVINNEY, P. A functional approach to real time control. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION. *International Computer Music Conference Proceedings (1984)*. Paris, França, 1984. p. 5–15. Citado na página 18.
- DAVIES, H. Gentle fire: An early approach to live electronic music. *Leonardo Music Journal*, v. 11, p. 53–60, 2001. Citado na página 16.
- DODGE, C.; JERSE, T. A. *Computer Music: Synthesis, Composition, and Performance*. Second edition. Estados Unidos da América: Schirmer (Thomson Learning), 1997. ISBN 978-0028646824. Citado na página 16.
- DONOVAN, L.; MCPHERSON, A. The talking guitar: Headstock tracking and mapping strategies. In: *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. London, United Kingdom: Goldsmiths, University of London, 2014. p. 351–354. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2014/nime2014_407.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 27, 29 e 32.
- EMMERSON, S. *Living Electronic Music*. Hampshire GU11 3HR England: Ashgate Publishing Limited, 2007. ISBN 978-0-7546-5546-6. Citado na página 13.

- FALLEIROS, M. S. A livre improvisação como ferramenta para uma educação da criatividade. In: *III Semana de Educação Musical do Instituto de Artes da UNESP*. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 66.
- FALLEIROS, M. S. *Palavras sem discurso: estratégias criativas na livre improvisação*. Tese (Doutorado) — USP - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Citado na página 62.
- FARWELL, N. Adapting the trombone: a suite of electro-acoustic interventions for the piece rouse. In: *Proceedings of the 2006 International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME06)*. Paris, França: [s.n.], 2006. Citado na página 21.
- FORNARI, J. Um processo de criação computacional interativa de notação musical. *V!rus - Revista do Nomads.usp*, p. 6–8, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus06/?sec=5&item=4&lang=pt>>. Citado na página 18.
- FORNARI, J. Designing Bodiless Musical Instruments. In: 16^a CONVENÇÃO NACIONAL DA AES BRASIL. *Anais do 10º Congresso de Engenharia de áudio*. São Paulo, 2012. p. 41–46. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 25.
- FREED, A.; WESSEL, D.; ZBYSZYNSKI, M.; UITTI, F. M. Augmenting the cello. In: SCHNELL, N.; BEVILACQUA, F.; LYONS, M.; TANAKA, A. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Paris, France: [s.n.], 2006. p. 409–413. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2006/nime2006_409.pdf>. Citado na página 21.
- GALLO, H. "A querela dos tempos": um estudo sobre as divergências estéticas na música eletroacústica mista. In: ANPPOM -ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA. *Anais do XVI Congresso da ANPPOM*. Brasília, 2006. p. 765–769. Citado na página 19.
- GARCIA, D. H. L. O grupo música nova e a mídia eletroacústica: revisão de conceitos e proposta de classificação. In: ANPPOM -ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA. *Anais do XVII Congresso da ANPPOM*. [S.l.], 2007. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- GRIFFITHS, P. *A Música Moderna*. [S.l.]: Jorge Zahar Ed., 1998. Citado na página 15.
- GROUX, S. L.; MANZOLLI, J.; VERSCHURE, P. F. M. J. Disembodied and collaborative musical interaction in the multimodal brain orchestra. In: *Proceedings of the 2010 Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME-10)*. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 47.
- HÖDL, O.; FITZPATRICK, G. Exploring the design space of hand-controlled guitar effects for live music. In: *Proceedings of the 2013 International Computer Music Conference (ICMC2013)*. [S.l.: s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.
- HOLMES, T. *Electronic and Experimental Music: Technology, Music, and Culture*. 3^a edição. ed. 270 Madison Ave, New York, NY 10016: Routledge, 2008. ISBN 0-203-92959-4. Citado na página 17.

- HUNT, A.; WANDERLEY, M. M.; KIRK, R.; POMPIDOU, I. C.; FRANCE, P. *Towards a Model for Instrumental Mapping in Expert Musical Interaction.* [S.l.], 2000. 4 p. Citado 3 vezes nas páginas 46, 47 e 57.
- IAZZETTA, F. *Música e Mediação Tecnológica.* São Paulo: Perspectiva, 2009. v. 1. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 24.
- IAZZETTA, F. Performance na música experimental. In: *Performa '11 – Encontros de Investigação em Performance.* Aveiro: [s.n.], 2011. p. 1–10. Citado na página 19.
- INTEGRA LIVE. 2015. Disponível em: <<http://www.integralive.org/>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 53.
- IRCAM - Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique. 2015. Disponível em: <<http://www.ircam.fr/>>. Citado na página 18.
- IRCAM(AI) - Acoustique Instrumentale - SmartInstruments. 2015. Disponível em: <<http://instrum.ircam.fr/smartinstruments/>>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.
- KRATUS, J. A developmental approach to teaching music improvisation. *International Journal of Music Education*, n. 26, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 76.
- LEME, G. R. *Professores de escolas de música: um estudo sobre a utilização de tecnologias.* Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2006. Citado na página 60.
- LEMOUTON, S.; STROPPA, M.; SLUCHIN, B. Using the augmented trombone in "i will not kiss your f.ing flag". In: SCHNELL, N.; BEVILACQUA, F.; LYONS, M.; TANAKA, A. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression.* Paris, France: [s.n.], 2006. p. 304–307. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2006/nime2006_304.pdf>. Citado na página 21.
- MACCONNELL, D.; TRAIL, S.; TZANETAKIS, G.; DRIESSEN, P.; PAGE, W. Reconfigurable autonomous novel guitar effects (range). In: *Proceedings of the Sound and Music Computing Conference (SMC 2013).* [S.l.: s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 32.
- MACHOVER, T.; CHUNG, J. Musically intelligent and interactive performance and creativity systems. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION. *International Computer Music Conference Proceedings (1989).* Estados Unidos da América, 1989. p. 187–190. Citado na página 20.
- MALLOCH, J. W. *A consort of gestural musical controllers: Design, construction, and performance.* 77 páginas p. Tese (Tese de Mestrado em Artes) — McGill University, Montreal, 2008. Disponível em: <http://www.idmil.org/_media/publications/2007/malloch_ma_thesis.pdf>. Citado na página 18.
- MAMEDES, C. R.; GARCIA, D. H. L.; FORNARI, J.; MANZOLLI, J. Abstrações: an audiovisual installation based on motion recognizing. In: *4th International Congress on Image and Signal Processing CISP 2011 / IEEE.* Shanghai, China: [s.n.], 2011. Citado na página 25.
- MANNING, P. *Electronic and Computer Music.* [S.l.]: Oxford University Press, 2004. ISBN 0-19-514484-8; 0-19-517085-7. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 17.

- MANZOLLI, J. Interpretação mediada: pontos de referência, modelos e processos criativos. *Revista Música Hodie*, v. 13, n. 1, p. 48–63, 2013. Citado na página 20.
- MARSHALL, M. T. *Physical Interface Design for Digital Musical Instruments*. 307 páginas p. Tese (Doutorado) — McGill University, Montreal, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 46.
- MARTIN, G. V. *Final project report: Real-time Sound Freezing and Spectral Shifting*. [S.l.], 1986. 1–10 p. Citado na página 56.
- MAYR, A. Pd as open source community. In: *Bang*. [S.l.]: Wolke Verlag, 2006. p. 33–41. Citado na página 49.
- MENESES, E. A. L. Integra live como interface visual do pure data para síntese e manipulação sonora em performances musicais eletroacústicas. *Revista Sonora (ISSN 1809-1652)*, Campinas/SP, v. 5, n. 10, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 70 e 71.
- MENESES, E. A. L.; FORNARI, J. Educação musical através da improvisação livre com recursos computacionais: contribuições e desafios. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA – ANPPOM. *Anais do XXV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música*. Vitória/ES, 2015. Citado na página 76.
- MENESES, E. A. L.; FORNARI, J. Guitarami: um instrumento musical aumentado que transpõe restrições intrínsecas do violão. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO - SBC. *Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Computer Music*. Campinas/SP, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 39.
- MENESES, E. A. L.; FORNARI, J.; WANDERLEY, M. M. Projeto e construção de uma interface gestual para improvisação livre. In: AES – AUDIO ENGINEERING SOCIETY – BRAZIL SECTION. *Anais do 13º Congresso de Engenharia de Áudio da AES Brasil*. [S.l.], 2015. p. 75–81. Citado 6 vezes nas páginas 41, 42, 56, 63, 64 e 65.
- MENESES, E. A. L.; FORNARI, J.; WANDERLEY, M. M. A study with hyperinstruments in free musical improvisation. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COGNIÇÃO E ARTES MUSICAIS (ABCM). *Anais do XI Simpósio Internacional de Cognição e Artes Musicais*. Pirenópolis/GO, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 41.
- MENESES, E. A. L.; FORNARI, J.; WANDERLEY, M. M. Guitarami: Desenvolvimento, implementação e performance de um instrumento musical aumentado. In: AES – AUDIO ENGINEERING SOCIETY – BRAZIL SECTION. *Anais do 14º Congresso de Engenharia de Áudio da AES Brasil*. [S.l.], 2016. Citado 3 vezes nas páginas 71, 75 e 76.
- MENEZES, F. *Música Eletroacústica: Histórias e Estéticas*. 2ª edição. ed. [S.l.]: EDUSP: Editora da Universidade de São Paulo, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 15.
- MÉTOIS, E. *Musical Sound Information: Musical Gestures and Embedding Synthesis*. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, Novembro 1996. Citado na página 27.
- MIDI Manufacturers Association. 2015. Disponível em: <<http://www.midi.org/>>. Citado na página 49.

- MIRANDA, E. R.; WANDERLEY, M. M. *New Digital Musical Instruments: Control and Interaction Beyond the Keyboard*. [S.I.]: A-R Editions, Inc., 2006. (Computer Music and Digital Audio Series). ISBN 978-0895795854. Citado 3 vezes nas páginas 20, 23 e 24.
- MODLER, P.; MYATT, T.; SAUP, M. An experimental set of hand gestures for expressive control of musical parameters in realtime. In: *Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-03)*. Montreal: McGill University, 2003. p. 146–150. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2003/nime2003_146.pdf>. Citado na página 47.
- MOONEY, J. Technology, process and musical personality in the music of stockhausen, hugh davies and gentle fire. Em publicação. em publicação. Citado na página 16.
- MULDER, A. G. Towards a choice of gestural constraints for instrumental performers. In: WANDERLEY, M. M.; BATTIER, M. (Ed.). *Trends in Gestural Control of Music*. Paris, França: Editions IRCAM – Centre Pompidou, 2000. Citado na página 25.
- NEWTON, D.; MARSHALL, M. T. Examining how musicians create augmented musical instruments. In: *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Oslo, Norway: [s.n.], 2011. p. 155–160. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2011/nime2011_155.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.
- NYMAN, M. *Experimental Music: Cage and Beyond*. Second edition. New York: Cambridge University Press, 1999. ISBN 0521653835,0521652979,9780521653831. Disponível em: <<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=BCD15287B30883FF06187609140A4584>>. Citado na página 17.
- OSC - open Sound Control Webpage. 2015. Disponível em: <<http://opensoundcontrol.org/>>. Citado na página 51.
- OVERHOLT, D. The overtone violin. In: FELS, S. S.; BLAINE, T.; SCHLOSS, A.; JORD'a, S. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Vancouver, BC, Canada: [s.n.], 2005. p. 34–37. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2005/nime2005_034.pdf>. Citado na página 21.
- PALACIO-QUINTIN, C. The hyper-flute. In: *Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-03)*. Montreal, Canadá: [s.n.], 2003. Citado na página 21.
- PATRÍCIO, E. L. B. *Instrumentos Musicais Digitais – Uma Abordagem Composicional*. Dissertação (Mestrado) — UFPA - Universidade Federal Do Paraná, Departamento De Artes, Curitiba, 2010. Citado na página 66.
- PEREIRA, É. Criando setups de softwares para educação musical. *Revista Digital Art%*, Ano V, p. 1–14, out. 2007. ISSN 1806-2962. Citado na página 60.
- PUCKETTE, M. Pure data. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION. *International Computer Music Conference Proceedings (1997)*. [S.I.], 1997. v. 1997. Citado na página 49.

PUCKETTE, M. *The Theory and Technique of Electronic Music*. Singapore: World Scientific Pub Co Inc, 2006. v. 11. 1–337 p. ISBN 978-981-270-077-3. Disponível em: <<http://www.amazon.com/Theory-Technique-Electronic-Music/dp/9812700773>>. Citado na página 54.

PURE DATA - web site. 2015. Disponível em: <<http://puredata.info/>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 50.

PURE Data Oficial Forum. 2015. Disponível em: <<http://forum.pdpatchrepo.info/>>. Citado na página 56.

REBOURSIÈRE, L.; FRISSON, C.; LÄHDEOJA, O.; MILLS, J. A.; PICARD-LIMPENS, C.; TODOROFF, T. Multimodal guitar : A toolbox for augmented guitar performances. In: *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Sydney, Australia: [s.n.], 2010. p. 415–418. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2010/nime2010_415.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 32.

RECYCLISM HACKLAB Website. 2015. Disponível em: <<http://hacklab.recyclism.com/>>. Citado na página 52.

ROCHA, F. d. O. *Works for percussion and computer-based live electronics: aspects of performance with technology*. Tese (Doutorado) — Schulich School of Music McGill University, Montreal, Canadá, Abril 2008. Citado na página 21.

ROMÃO, P. C. V. Técnicas estendidas: Reflexões e aplicações ao violão. In: *ANAIIS DO II SIMPOM - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUANDOS EM MÚSICA*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 1293–1302. Citado na página 38.

ROVAN, J.; WANDERLEY, M. M.; DUBNEV, S.; DEPALLE, P. Instrumental gestural mapping strategies as expressivity determinants in computer music performance. In: *Proceedings of the Kansei Workshop*. Genova: [s.n.], 1997. p. 68–73. Citado 3 vezes nas páginas 47, 48 e 73.

SERRA, X. *A System for Sound Analysis/Transformation/Synthesis based on a Deterministic plus Stochastic Decomposition*. Tese (Doutorado) — Stanford University, 1989. Disponível em: <<files/publications/PhD-Thesis-1989-xserra.pdf>>. Citado na página 75.

SILVA, A. R. da; WANDERLEY, M. M.; SCAVONE, G. P. On the use of flute air jet as A musical control variable. In: *New Interfaces for Musical Expression, NIME-05, Proceedings, Vancouver, May 26-28, 2005*. [s.n.], 2005. p. 105–108. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2005/nime2005_105.pdf>. Citado na página 21.

STEINER, H.-C. Building your own instrument with Pd. In: *PD Conference*. Graz: [s.n.], 2004. p. 7. Citado na página 49.

TAVARES, T. F. *Computational Models for Rhythm and Applications on Human-Machine Interactions*. Tese (Doutorado) — Unicamp - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Citado na página 34.

THIBODEAU, J. L. N. *Trumpet Augmentation: Rebirth and Symbiosis of an Acoustic Instrument*. Tese (Tese de Mestrado em Artes) — McGill University, Montreal, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 33.

- TRAIL, S.; DEAN, M.; ODOWICHUK, G.; TAVARES, T. F.; DRIESSEN, P.; SCHLOSS, W. A.; TZANETAKIS, G. Non-invasive sensing and gesture control for pitched percussion hyper-instruments using the kinect. In: ESSL, G.; GILLESPIE, B.; GUREVICH, M.; O'MODHRAIN, S. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan, 2012. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2012/nime2012_297.pdf>. Citado na página 25.
- VERCOE, B. The synthetic performer. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION. *International Computer Music Conference Proceedings (1984)*. Paris, França, 1984. p. 199–200. Citado na página 18.
- WANDERLEY, M. M. Instrumentos Musicais Digitais - Gestos , Sensores e Interfaces. In: *Em Busca da Mente Musical*. [S.l.]: Editora da Universidade Federal do Paraná, 2006. v. 60, p. 21 páginas. ISBN 8573351403. Citado 4 vezes nas páginas 19, 26, 37 e 77.
- WANDERLEY, M. M. Disciplina ms-106a: Instrumentos musicais digitais e controle gestual de síntese sonora. Notas de aula. 2015. Citado na página 48.
- WANDERLEY, M. M.; CHADABE, J.; LIPPE, C.; ROVAN, J. B.; ORIO, N.; SCHNELL, N.; KIRK, R.; HUNT, A. *Sensor Wiki*. 2014. Disponível em: <<http://www.sensorwiki.org>>. Citado na página 19.
- WANDERLEY, M. M.; DEPALLE, P. Gestural control of sound synthesis. *Proceedings Of The Ieee*, v. 92, n. 4, p. 632–644, 2004. Citado 6 vezes nas páginas 20, 37, 46, 47, 48 e 57.
- WANDERLEY, M. M.; SCHNELL, N.; ROVAN, J. Escher-modeling and performing composed instruments in real-time. In: *Systems, Man, and Cybernetics, 1998. 1998 IEEE International Conference on*. [S.l.: s.n.], 1998. v. 2, p. 1080–1084. ISSN 1062-922X. Citado na página 49.
- WEISER, M. The computer for the 21st century. *Scientific American*, v. 265, n. 3, p. 78–89, 1991. Citado na página 18.
- WICKS, D. Music education and the meaningful use of technology. *Australian Kodály Bulletin*, p. 27–32, 2008. Citado na página 61.
- WILKERSON, C.; NG, C.; SERAFIN, S. The mutha rubboard controller. In: *Proceedings of the 2002 Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME-02)*. Dublin, Ireland: [s.n.], 2002. Citado na página 21.
- WILLIAMS, B. M. *The Early Percussion Music of John Cage: 1935 - 1943*. Tese (Doutorado) — Michigan State University, 1990. Citado na página 15.
- WOLFGANG Palm Webpage. 2015. Disponível em: <<http://wolfgangpalm.com/index.html>>. Citado na página 16.
- YOO, M.-J.; BEAK, J.-W.; LEE, I.-K. Creating musical expression using kinect. In: JENSENIUS, A. R.; TVEIT, A.; GODOY, R. I.; OVERHOLT, D. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Oslo, Norway: [s.n.], 2011. p. 324–325. Disponível em: <http://www.nime.org/proceedings/2011/nime2011_324.pdf>. Citado na página 25.

- ZHANG, Z. Microsoft kinect sensor and its effect. *IEEE MultiMedia*, IEEE Computer Society, v. 19, n. 2, p. 4–12, April 2012. Disponível em: <<http://research.microsoft.com/apps/pubs/default.aspx?id=179157>>. Citado na página 25.

Anexos

ANEXO A – Partitura-guia utilizada na performance do 2º semestre do curso modular intitulado “Música, Tecnologia e Criatividade” (seção 4.1.2).

Explorações no. 1

Para performance dos alunos do curso modular "Música, Tecnologia e Criatividade"- GSM

Andamento livre 10x 10x 10x 10x

Flauta Celular

Trompete Bb *p* ————— *mf*

Viola criar variações *mf*

Violino criar variações *mf*

Violoncelo criar variações *mf*

Violão A5 ritmo: Rock A5 B5
ritmo: Rock

Bateria *pp* ————— *mp*

8

A2 - solo Fl A3 - tonal livre

Fl. *f*

Tpt. Bb *p* repetir enquanto durar o solo

Vla -----> rock *p*

Vln. -----> rock *p*

Vc. -----> rock *p*

Viol. harm. VII
8 *mp*

Bat. *p* *mp*

15

Fl.

Tpt. Bb

Vla

Vln.

Vc.

Viol.

Bat.

mp

f

mp

pp

21 cresc

6x

B1 - improviso livre

Improviso livre celular

B2 - reggae
♩ = 90 Swing

Fl.

Tpt. Bb

Vla

Vln.

Vc.

Viol.

Bat.

Am7(9)13 Em7(9♭) C♯dim Gm E♭7 D7 D♭7₃

variações sobre este ritmo

Ritmo: Reggae

f

25

Fl.

Tpt. Bb

Vla

Vln.

Vc.

Viol.

Bat.

Gm D7

Diminuir pouco a pouco e terminar
com todos os instrumentos em pp

ANEXO B – Algumas especificações técnicas do acelerômetro ADXL345 necessárias para a calibração (seção 2.5).

Tabela 2 – Algumas especificações do sensor ADXL345.

Parameter	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
SENSOR INPUT	Each axis				
Measurement Range	User selectable	± 2 , ± 4 , ± 8 , ± 16			g
Nonlinearity	Percentage of full scale	± 0.5			%
Inter-Axis Alignment Error		± 0.1			Degrees
Cross-Axis Sensitivity		± 1			%
OUTPUT RESOLUTION	Each axis				
All g Ranges	10-bit resolution	10			Bits
$\pm 2 g$ Range	Full resolution	10			Bits
$\pm 4 g$ Range	Full resolution	11			Bits
$\pm 8 g$ Range	Full resolution	12			Bits
$\pm 16 g$ Range	Full resolution	13			Bits
SENSITIVITY	Each axis				
Sensitivity at X_{OUT} , Y_{OUT} , Z_{OUT}	All g -ranges, full resolution	230	256	282	LSB/ g
	$\pm 2 g$, 10-bit resolution	230	256	282	LSB/ g
	$\pm 4 g$, 10-bit resolution	115	128	141	LSB/ g
	$\pm 8 g$, 10-bit resolution	57	64	71	LSB/ g
	$\pm 16 g$, 10-bit resolution	29	32	35	LSB/ g
Sensitivity Deviation from Ideal	All g -ranges		± 1.0		%
Scale Factor at X_{OUT} , Y_{OUT} , Z_{OUT}	All g -ranges, full resolution	3.5	3.9	4.3	LSB/ g
	$\pm 2 g$, 10-bit resolution	3.5	3.9	4.3	LSB/ g
	$\pm 4 g$, 10-bit resolution	7.1	7.8	8.7	LSB/ g
	$\pm 8 g$, 10-bit resolution	14.1	15.6	17.45	LSB/ g
	$\pm 16 g$, 10-bit resolution	28.6	31.2	34.5	LSB/ g
Sensitivity Change Due to Temp.				± 0.01	%/ $^{\circ}C$
	(...)				
OUTPUT DATA RATE AND BANDWIDTH	User selectable				
Output Data Rate (ODR)		0.1		3200	Hz
	(...)				
TEMPERATURE					
Operating Temperature Range		-40		+85	$^{\circ}C$
WEIGHT					
Device Weight			30		mg

Fonte: (ANALOG DEVICES, INC., 2013, p. 4).