

**MESTRADO**

**MULTIMÉDIA - ESPECIALIZAÇÃO EM MÚSICA INTERATIVA E DESIGN DE SOM**

**APRENDIZAGEM MUSICAL  
ATRAVÉS DE COMPOSIÇÃO  
ASSISTIDA POR COMPUTADOR**

Isabela Corintha de Almeida

**M**

**2018**

**FACULDADES PARTICIPANTES:**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**FACULDADE DE BELAS ARTES**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**FACULDADE DE ECONOMIA**

**FACULDADE DE LETRAS**





# **Aprendizagem Musical Através de Composição Assistida por Computador**

Isabela Corintha de Almeida

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto

Orientador: Dr. Gilberto Bernardes de Almeida

Junho de 2018





© Isabela Almeida, 2018

# **Aprendizagem Musical Através de Composição Assistida por Computador**

**Isabela Corintha de Almeida**

Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto



# Resumo

A formalização de estruturas musicais tem apoiado várias estratégias computacionais nos vários níveis de ensino de música. Este trabalho se destina a auxiliar o aprendizado formal da música para indivíduos sem treino musical em especial para a infância através do uso de tecnologia.

Tecnicamente, é apresentado um modelo de análise-geração que parte de exemplos de músicas do sistema tonal para capturar regras estilísticas que servirão para guiar o utilizador intuitivamente na criação de novas estruturas musicais tonais e, desta forma, iniciar o utilizador na aprendizagem dos formalismos da música, tais como a notação e os princípios básicos tonal (e.g., harmonia funcional).

Em maior detalhe, apresentamos um sistema computacional que integra algoritmos de geração e composição que guia em tempo real oferecer as escolhas do utilizador no que diz respeito às alturas através de um retorno visual. O controlo do sistema é efetuado através de um teclado MIDI acoplado com um sistema de LEDs que fornece o retorno visual.



# Abstract

The formalization of musical structures has supported several computational strategies in multiple levels of music training. The current work aims to aid the formal learning of music for individuals without musical training especially for children through the use of technology.

Technically, an analysis-generation model that learns from examples of tonal music is created to capture stylistic rules to guide users intuitively in the creation of new tonal music structures and, thus, introduce them to music formalisms, such as notation and basic tonal principles (e.g. functional harmony).

In greater detail, we present a computational system which includes generative and compositional algorithms to guides in real time the user's choices with regard to pitch through a visual feedback. The system control is done through a MIDI keyboard linked with an LED system that provides a visual feedback.

Dedico este trabalho à

Nelly Santos Borstelmann (*in memoriam*).

# Agradecimentos

Um agradecimento em especial à oportunidade que tive em fazer o Mestrado em Multimédia - Especialização em Música Interactiva e Design de Som da Universidade do Porto. Desde o primeiro dia de aula que mantenho comigo esta enorme gratidão. Que muitas pessoas que tenham o desejo de continuar seus estudos sejam contempladas com oportunidades que façam valer seus sonhos.

Ao meu orientador Gilberto Bernardes. Sem a sua ajuda não conseguiria realizar este tão sonhado projeto.

Às minhas três Marias por terem resistido à minha ausência em momentos em que só eu poderia acalentá-las.

Ao colega Luís Outeiro pela colaboração no engenho eletrotécnico desenvolvido para este trabalho.

Ao Vítor por tantas e tantas coisas para além de uma peça de madeira confeccionada manualmente para o engenho.

À toda equipe do Mestrado em Multimédia da FEUP.

# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CONTEXTO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 METODOLOGIA.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 FERRAMENTAS APLICADAS .....</b>	<b>11</b>
1.5.1 MAX.....	11
1.5.2. BIBLIOTECA BACH.....	12
1.5.3 CONTROLADORES MIDI.....	13
1.5.4 ARDUÍNO.....	14
<b>2. SISTEMAS INTERATIVOS PARA APRENDIZAGEM MUSICAL .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 SISTEMA MUSICAIS INTERATIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1.2 MAPEAMENTOS .....	19
<b>2.2 TECNOLOGIA DE APOIO À APRENDIZAGEM MUSICAL .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 SISTEMAS PARA O APRENDIZADO FORMAL DA MÚSICA.....	20
<b>2.3 SUMÁRIO .....</b>	<b>35</b>
<b>3. AMIGO: UM SISTEMA PARA A CRIAÇÃO MUSICAL ANTES DO APRENDIZADO FORMAL DA MÚSICA.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 PÚBLICO-ALVO E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA .....</b>	<b>41</b>
3.2.1 SISTEMA DO AMIGO .....	41
3.2.2 MODELAÇÃO E GERAÇÃO DE ESTRUTURAS MUSICAIS.....	44
3.2.3 CONTROLADOR COM SISTEMA DE LEDS .....	46
<b>4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 TRABALHO FUTURO .....</b>	<b>51</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DADOS DO CENSO ESCOLAR (INEP, 2014).....	4
FIGURA 2 - PILARES FUNDAMENTAIS DA FERRAMENTA AMIGO.....	5
FIGURA 3 – ATIVIDADE NO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO.....	8
FIGURA 4 - DIAGRAMA GERAL DO SISTEMA.....	10
FIGURA 5 - QUADRO DE FUNCIONALIDADES DE UM SISTEMA INTERATIVO. .....	11
FIGURA 6 - BACH.ROLL/BACH.SCORE. ....	13
FIGURA 7 - ARDUÍNO UNO UTILIZADO NESTE PROJETO.....	14
FIGURA 8 - CICLO DE INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA (BONGERS, 2000)... ..	17
FIGURA 9 - COMPONENTES BÁSICOS DE UM SISTEMA MUSICAL INTERATIVO (WINKLER, 2001).....	18
FIGURA 10 - INTERFACE DO FLOWKEY.....	21
FIGURA 11 - YOUSICIAN E A FORMA DE APRENDIZAGEM ATRAVÉS DE UMA COR PARA CADA DEDO. ....	22
FIGURA 12 - CASIO LK-280 SD MIDI.....	23
FIGURA 13 - ILLUMINATING PIANO. ....	23
FIGURA 14 - MANUSEIO DO HI-LITE.....	24
FIGURA 15 - HI-LITE EM FUNCIONAMENTO.....	24
FIGURA 16 - O DEDILHADO QUE USA MARCADORES COLORIDOS NAS UNHAS E A ESTRUTURA DO SISTEMA.....	26
FIGURA 17 - EXEMPLOS DE APRESENTAÇÃO DA DURAÇÃO PARA NOTAÇÕES MUSICAIS.....	27
FIGURA 18 - ESTRUTURA DO SISTEMA PARA DEDILHADO CORRETO.....	28
FIGURA 19 - ESTRUTURA DO SISTEMA PARA APRENDIZADO DO RITMO NO PIANO.....	28
FIGURA 20 - ESTRUTURA DO SISTEMA PARA O APOIO DA APRENDIZAGEM DE PIANO CONSIDERANDO A MOTIVAÇÃO.....	29

FIGURA 21 - CONFIGURAÇÃO ESTRUTURAL DOS SISTEMAS ANDANTE E ANDANTINO. ....	31
FIGURA 22 - ANIMAÇÃO DO ANDANTE. ....	32
FIGURA 23 - ANIMAÇÃO DO ANDANTINO. ....	33
FIGURA 24 - VIOLINO COMO ESTUDO DE CASO NO PROJETO TELMI. ....	34
FIGURA 25 - GRÁFICO DO MÉTODO TRADICIONAL DO APRENDIZADO FORMAL DA MÚSICA X MÉTODO DE APRENDIZADO MUSICAL NO AMIGO. ....	38
FIGURA 26 - DIAGRAMA DO PROTÓTIPO DO SISTEMA. ....	40
FIGURE 27 – INTERFACE COM A REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA PARA O UTILIZADOR. ....	42
FIGURA 28 - [UMENU] PARA ESCOLHA DE FICHEIROS MIDI. ....	43
FIGURA 29 - AMIGO E SUAS FUNÇÕES. ....	44
FIGURA 30 - TRANSIÇÃO DE CORES NO TECLADO VIRTUAL DO MAX. ....	47
FIGURE 31 - COMPONENTE DE MADEIRA COM LEDS PARA SER ACOPLADO AO TECLADO. ....	47

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS NO SISTEMA PARA O APOIO DA APRENDIZAGEM DE PIANO CONSIDERANDO A MOTIVAÇÃO. ....	30
TABELA 2 - TABELA DE PROBABILIDADES DE TRANSIÇÕES DE UMA CADEIA MARKOV DE PRIMEIRA ORDEM ENTRE CLASSES DE ALTURA DA OBRA PARABÉNS À VOCÊ.....	46

# ABREVIACOES

**API** Application Programming Interface.

**DMI** Digital Musical Instrument.

**FEUP** Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

**LED** Light Emitting Diode.

**IHM** Interação Homem-Máquina.

**INEP** Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

**IRCAM** Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique.

**MIDI** Musical Instrument Digital Interface.

**ML** Machine Learning.

**MTG-UPF**, Music technology group, Universidade de Pompeu Fabra.

**OSC** Open Sound Control.

**RGB** Red Green Blue.

**SD** Secure digital card.

**STM** Matriz de Transição de Estado.

**USB** Universal Serial Bus.





# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTO

Com a crescente expansão dos dispositivos computacionais na composição musical, muitas aplicações foram desenvolvidas. No contexto deste trabalho, importam particularmente, os trabalhos computacionais desenvolvidos para composição musical, assim como os programas que auxiliam a aprendizagem formal da música.

A vasta maioria dos sistemas computacionais para a aprendizagem de música focam-se em estratégias de facilitação da execução através de estímulos visuais, tais como a iluminação de teclados que acendem a tecla que o utilizador deve pressionar. Estes sistemas, apesar de terem sido inovadores em sua concepção, não oferecem flexibilidade na margem de erro. Ao utilizar tais produtos, os aprendizes podem entender facilmente a digitação, mesmo que não consigam ler uma partitura musical, mas se cometerem um erro na digitação, as teclas que seguem o erro não são apresentadas. Assim, os métodos convencionais de aprendizagem nesses sistemas são rigorosos em relação aos erros do utilizador.

No seguimento, destas contribuições e limitações, o trabalho aqui apresentado visa desenvolver um sistema capaz de facilitar a aprendizagem da notação em partitura através da criação musical. Em maior detalhe, apresentamos a elaboração de um sistema criado a partir de algoritmos de geração de música em tempo real que fornece um retorno visual ao utilizador através de um sistema de LEDs.

O sistema aqui proposto e que foi nomeado de AMIGO, propõe a possibilidade de criação musical baseada em modelos que aprendem estruturas através de exemplos musicais existentes e codificados em formato MIDI<sup>1</sup>. AMIGO guia o utilizador na seleção de notas que tanto se apropriam a uma certa harmonia como ao material temático que foi aprendido. As sugestões são apresentadas ao utilizador por estímulos visuais, indicados por um sistema de LEDs<sup>2</sup> que através da gama de cores entre o vermelho e o amarelo orientam as possibilidades de escolha da próxima nota da música a ser criada.

Em suma, AMIGO pretende oferecer ao utilizador mais prazer e liberdade para aprender sob a forma de improvisação e composição, com uma envolvimento pessoal, assim como fomentar a aprendizagem de formalismos da música ocidental como notação; organizações do sistema tonal melódico, harmónico e rítmico; noção da hierarquia tonal das escalas e acordes.

As principais contribuições deste trabalho incluem (1) um sistema que permite interação humana em tempo real a partir de modelos resultantes da aplicação de algoritmos de aprendizagem (2) uma proposta de interação entre o sistema e o utilizador no contexto

---

<sup>1</sup> **Musical Instrument Digital Interface**, protocolo de comunicação que permite a relação entre diferentes instrumentos ou componentes.

<sup>2</sup> **LED (Light Emitting Diode)**, é usado para a emissão de luz em locais e instrumentos onde se torna mais conveniente a sua utilização no lugar de uma lâmpada. Especialmente utilizado em produtos de microeletrónica como sinalizador de avisos.

de aplicações para aprendizagem musical (3) exploração de algoritmos de aprendizagem no fomento da criatividade musical assistida por computador.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

O interesse do tema escolhido para uma dissertação de mestrado advém de minha trajetória pessoal em trabalhos comunitários de implantação de conhecimento musical no interior do Nordeste do Brasil aliado ao conhecimento tecnológico adquirido no Mestrado em Multimédia da Universidade do Porto. Ao longo do meu percurso académico designado à música e a tecnologia, surgiu a ideia da criação de uma ferramenta destinada a criação musical antes do aprendizado formal da música.

O tema deste trabalho surge com a intenção de estimular o ensino da música em comunidades com menor acesso a recursos humanos especializados. Na Europa, em total divergência com o Brasil, o estudo formal da música está disseminado. A longo prazo, as estratégias apresentadas neste trabalho propõem impulsionar uma aprendizagem independente e eventualmente inclusão social através da música.

A abordagem implementada foi motivada com o propósito de facilitar o estudo da música e promover inclusão social.

O Quadro apresentado na Figura 1 representam a pesquisa traçada pelo Censo Escolar – INEP<sup>3</sup>, 2014. Os números revelam que boa parte das instituições de ensino no Brasil ainda não conta com infraestrutura mas, mostram também que alguns indicadores, como a oferta de internet, têm melhorado ano a ano.

---

<sup>3</sup> Censo Escolar – INEP, é o principal instrumento de coleta de informações da educação básica e o mais importante levantamento estatístico educacional brasileiro. O Censo Escolar é o principal instrumento de coleta de informações da educação básica e o mais importante levantamento estatístico educacional brasileiro nessa área. É coordenado pelo INEP, órgão vinculado ao Ministério da Educação, e realizado em regime de colaboração entre as secretarias estaduais e municipais de educação e com a participação de todas as escolas públicas e privadas do país.

No contexto das limitações do projeto educativo brasileiro, o meu trabalho tem como uma das finalidades impulsionar crianças a uma aprendizagem independente das disciplinas curriculares obrigatórias do ensino fundamental. Nomeadamente, a aprendizagem de formalismos musicais que venham a ser relevantes em projeto interdisciplinares e de cariz social integrando música, educação e tecnologia.

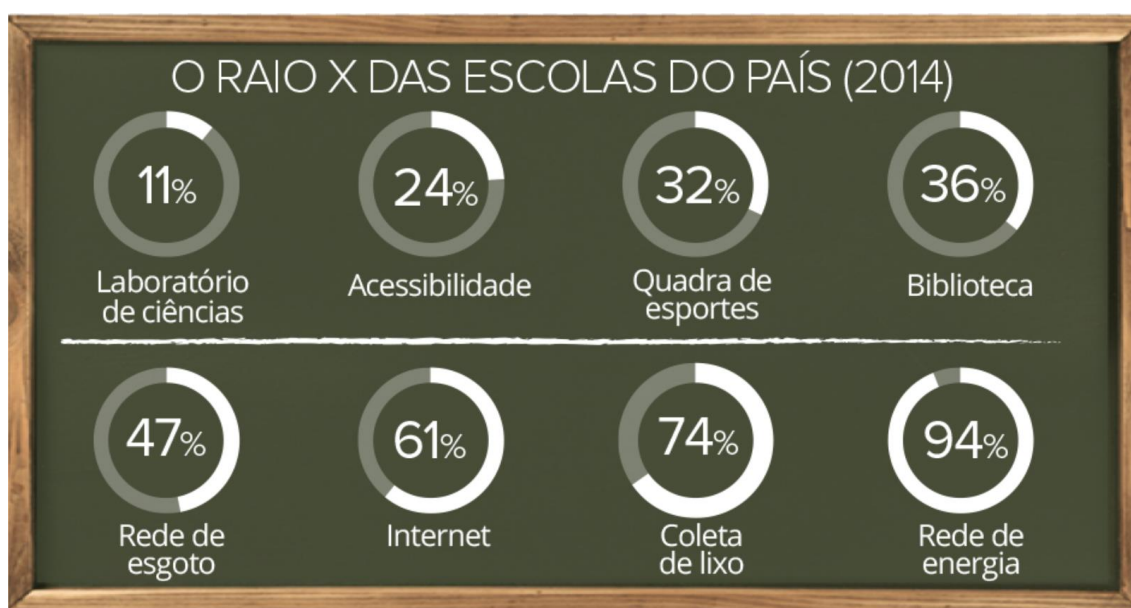


Figura 1 - Dados do Censo Escolar (INEP, 2014).

Com o intuito de fazer uma conexão entre inclusão social e música, foi desenvolvida uma ferramenta com a finalidade de facilitar o estudo de formalismos musicais, nomeadamente a notação de música, que para ser dominado comumente exige anos de estudo. Por requerer longas horas de exercícios repetitivos para fixar sequências de anotações na memória muscular, o estudo de música e em particular de um instrumento musical é considerado como um processo inevitavelmente tedioso e doloroso. Apesar dos benefícios citados do aprendizado musical, muitas crianças desistem antes de alcançar proficiência e prazer, (Fukuya et al., 2013).

A falta de recursos aliado ao abandono ao aprendizado formal da música teve grande importância para motivação deste trabalho. A criação melódica no sistema tonal foi o ponto de partida para idealização do sistema musical interativo realizado para este trabalho onde o utilizador é guiado pelo sistema e pode criar sem regras ou imposições.

Aprender a ler uma partitura musical e acompanhar o dedilhado corretamente é essencial para iniciantes mas infelizmente, um em cada dez iniciantes desistem por causa da dificuldade em adquirir essas técnicas, (Fukuya et al., 2013).

### 1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Neste trabalho pretende-se explorar as potencialidades da tecnologia musical na aprendizagem formal da música no contexto tonal para indivíduos sem treino musical. Em maior detalhe, será explorado um modelo de análise-geração que parte de exemplos de músicas determinantes do sistema tonal Ocidental para captar regras estilísticas que servirão para guiar intuitivamente utilizadores nas criações de novas estruturas musicais. Através da exposição a estes meios controlados e intuitivos de criação de música tonal, pretende-se aferir a possibilidade da apreensão das estruturas tonais a partir da prática.

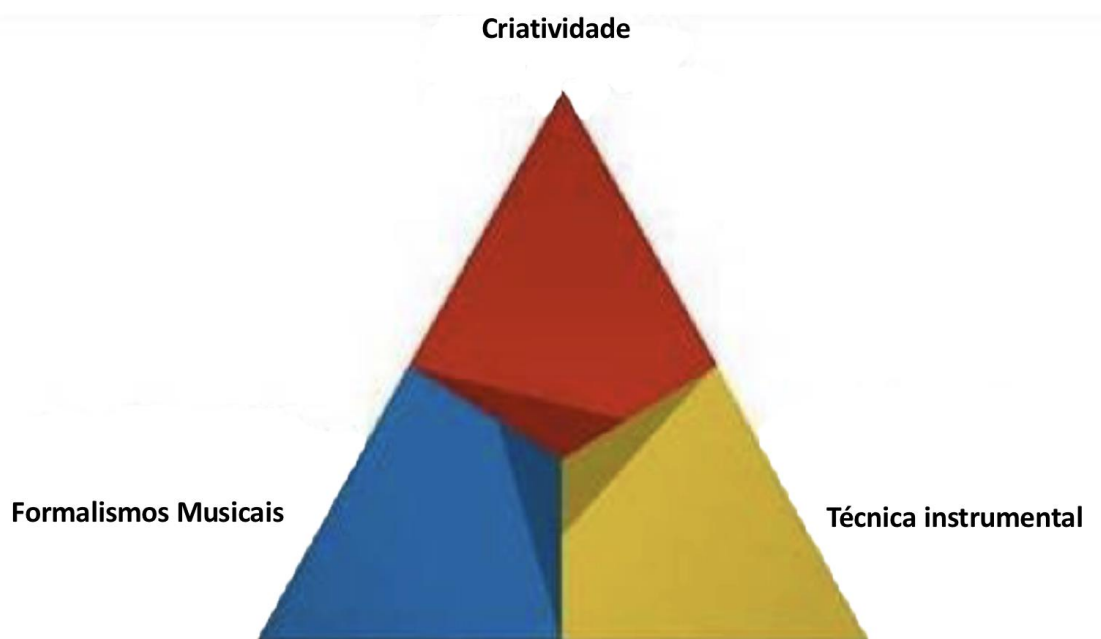


Figura 2 - Pilares fundamentais da ferramenta AMIGO.

O gráfico na Figura 2 apresenta a criatividade no topo como principal alicerce para a aprendizagem dos formalismos musicais e conseqüentemente a técnica instrumental.

Pré-adolescentes estão inclinados a processar música de maneira “figurativa”, na qual tendem a se concentrar em aspectos intuitivos do “*know-how*”, como as características globais dos fragmentos melódicos e as características “sentidas” do contorno do ritmo, mas a maioria dos programas de educação, no entanto, exige que as crianças no início da adolescência processem música no que Bamberger define como o modo formal, no qual a notação musical, a teoria e a análise são introduzidas abruptamente. Como resultado dessa abordagem do “saber”, certos aspectos musicais importantes que surgem naturalmente no modo figurativo podem estar ocultos, pelo menos temporariamente, quando as crianças tentam sobrepor o conhecimento formal a intuições figurativas. Se esta “crise” não for reconhecida e a distância entre os diferentes modos não for negociada, ela pode levar os estudantes a desistirem da música por completo, (Weinberg, 2002).

O principal objetivo do meu trabalho de mestrado é proporcionar o aprendizado formal da música através da composição guiada por algoritmos de aprendizagem de máquina. Para atingir tal objetivo foi desenvolvida uma ferramenta que compreende dois grandes componentes, software e hardware. O primeiro é responsável pela aprendizagem das estruturas musicais e o seu modelamento e o segundo é usado para fornecer um retorno visual ao utilizador. AMIGO dirige-se a pessoas com pouco treino musical e que pretendam iniciar um estudo formal da música de acordo com os modelos teórico-práticos do sistema tonal do Ocidente.

AMIGO é dotado de indicadores que irão orientar a próxima nota, ou possíveis notas da melodia e oferece possibilidades de futuros ajustes nas questões relacionadas a música como altura, duração e intensidade de cada nota na composição. A performance como criador da música é visualizada em uma partitura criada em tempo-real de acordo com a melodia gerada pelo utilizador.

Através da manipulação do utilizador, o sistema oferece opções que permitem a criação musical humana, dada a partir da transição entre duas cores no teclado anexado por intermédio de uma conexão composta por um teclado MIDI, LEDs RGB, o Arduíno e o computador. No teclado, entre a transição do vermelho para o amarelo, há várias

tonalidades da cor laranja sendo a mais clara entre as duas cores, a mais provável e vice-versa.

A expectativa é que os resultados deste trabalho possam ser adaptados a novas tecnologias de aprendizagem formal da música, incentivando de forma intuitiva utilizadores que aspiram formação musical.

Em suma, o presente trabalho procura responder à questões como o porque da criação musical antes do aprendizado formal da música e quais estratégias foram utilizadas para constituir um método eficaz. Ao longo do trabalho além dessas questões, o desenvolvimento da ferramenta e o resultado do experimento serão relatados.

## **1.4 METODOLOGIA**

Conceptualmente, a abordagem implementada em AMIGO é fundamentada e inspirada no processo cognitivo defendido por Piaget, o qual define que a cognição da criança se dá com a construção do conhecimento, (Gohn e Stavracas, 2010). De acordo com este conceito, a criança desenvolve-se a partir da elaboração das suas estruturas mentais, o que ocorre à medida que ela aprende. A criança está em constante interação com o meio e, para que possa desenvolver-se de forma mais completa, constrói e organiza o mundo que a cerca atribuindo significados para os novos conhecimentos e aprendendo com as experiências vividas.



Figura 3 – Atividade no desenvolvimento cognitivo.

Assim como uma criança desenha e pinta sem nenhuma instrução usando apenas a imaginação e suas capacidades cognitivas e motoras, AMIGO pretende proporcionar ao utilizador a oportunidade de tocar e visualizar as notas com pouco ou nenhum conhecimento formal da música. Neste contexto, AMIGO propõe então ao utilizador criar música ao ser guiado pelo sistema implementado; a criação musical livre que poderá ser desenvolvida em simultâneo com o desenvolvimento das etapas da cognição.

Keith Swanwick (1979) relata a composição livre do ônus da notação musical.

“Composição - Sob este título está incluída todas as formas de invenção musical, não meramente obras que são escritas em qualquer forma de notação. A improvisação é, afinal, uma forma de composição sem o ônus ou as possibilidades de notação. Composição é o ato de fazer um objeto musical reunindo materiais sonoros de maneira expressiva. Pode haver ou não experimentação de sons como tal. Um compositor pode saber como serão os materiais da experiência passada no idioma. Seja qual for a forma que tome, o valor primordial da composição na educação musical não é que possamos produzir mais

compositores, mas a percepção que pode ser obtida ao nos relacionarmos com a música dessa maneira particular e muito direta.” (Swanwick, 1979, p. 43).

A ausência de liberdade para o estudante de música aliada ao longo conteúdo teórico e a trajetória técnica em tocar um instrumento são fatores que propiciam um grande abandono do estudo musical. A grande maioria dos métodos utilizados na aprendizagem formal da música são formatados para o estudante aprender a tocar corretamente um instrumento, (Xiao et al., 2017).

Gil Weinberg (2002) admite que crianças e pessoas sem treino musical podem participar ativamente da criação musical utilizando novos instrumentos musicais.

Acredito que crianças, novatos e diversos públicos podem ter acesso a fenômenos musicais ricos e perspicazes através da participação ativa na criação de música. Mas, a fim de permitir tal acesso sem comprometer as intuições figurativas, os educadores devem se concentrar em projetar e construir novos instrumentos musicais que possam servir como portais expressivos e agradáveis para experiências musicais mais profundas. É sabido que as crianças constroem uma parte importante de seu conhecimento sobre o mundo interagindo com instrumentos e objetos físicos de vários tipos. Piaget, por exemplo, mostrou o papel crítico da interação com objetos palpáveis no desenvolvimento da cognição humana. (Weinberg, 2002, p.4).

O projeto propõe uma abordagem para o aprendizado formal da música através um sistema musical interativo, e pretende possibilitar a criação musical livre. No sistema, diferente da tradicional metodologia para o aprendizado musical, o utilizador é guiado pelos LEDs e não por uma partitura para ler e interpretar.

O desfecho do sistema criado para meu trabalho culminou em uma interligação de diferentes componentes que resultaram em um sistema musical interativo.

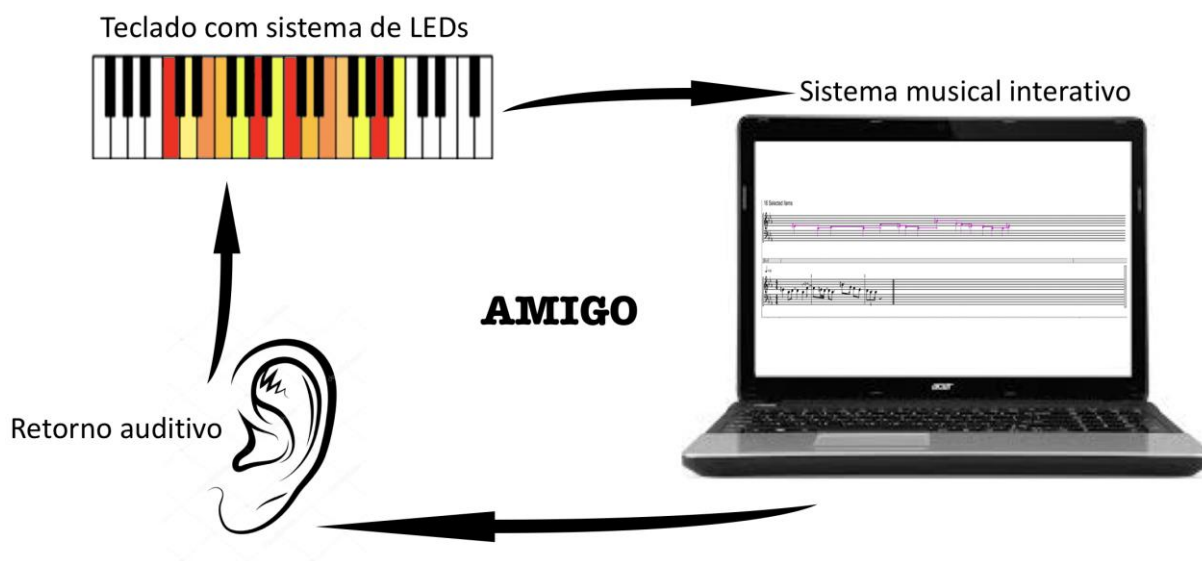


Figura 4 - Diagrama geral do sistema.

A disseminação do campo de investigação relacionado à aprendizagem formal da música em sistemas musicais interativos vem ganhando espaço na indústria da tecnologia. Os teclados MIDI integrados com software, *Illuminating Piano*, *HI-LITE et al.*, para guiar utilizadores em sistemas que indicam a próxima nota iluminada já são produzidos por diferentes fabricantes. Além do teclado, outros instrumentos já possuem orientação por sistemas musicais interativos.

O protótipo desenvolvido neste projeto foi imaginado para proporcionar facilidade de manuseio ao utilizador. O objetivo é impulsionar o utilizador na continuação da usabilidade do sistema musical interativo para criação musical.

Nielsen (1993), define usabilidade como um atributo de qualidade, que avalia o grau de facilidade de interação de algum dispositivo ou qualquer interface que possa ser operada por um utilizador e que além disso, a palavra também se refere aos métodos para melhorar a facilidade de uso durante o processo de planejamento de uma interface.

Nielsen (1993), elenca cinco componentes que definem a usabilidade na interatividade:

Componente	Descrição
Facilidade de aprendizado	O sistema precisa ser fácil de aprender
Eficiência de uso	Uma vez aprendido a interagir, o usuário deve ser apto a atingir altos níveis de produtividade.
Facilidade de memorização	Após certo período sem utilizá-lo, o usuário casual precisa ser capaz de retornar ao sistema e realizar suas tarefas, sem a necessidade de reaprender como interagir com ele.
Baixa taxa de erros	O usuário deve ser capaz de operar o sistema sem maiores transtornos, com baixa taxa de erros. Caso estes ocorram, o usuário deve ser capaz de se recuperar. Erros grosseiros não devem ocorrer.
Satisfação subjetiva	A interação deve ser agradável, de forma que o usuário se sinta subjetivamente satisfeito ao utilizar o sistema.

Figura 5 - Quadro de funcionalidades de um sistema interativo.

Componentes do quadro na Figura 5 que fazem parte da metodologia do sistema desenvolvido neste projeto: (1) O sistema é fácil de ser utilizado; o utilizador começa a compor música guiado pelas indicações dos LEDs e simultaneamente observa a pauta digital com a informação do que reproduziu; (2) não há necessidade de memorizar dados, apenas voltar a utilizar o sistema quando convir, e com relação as mudanças relacionadas a musicalidade de cada um, (3) o utilizador poderá sempre alterar a altura, a duração e a intensidade das notas de acordo com sua satisfação pela sua composição. De acordo com o conteúdo do quadro acima, o sistema tem muitas possibilidades de propagar apego e dedicação pelo utilizador.

## 1.5 FERRAMENTAS APLICADAS

### 1.5.1 MAX

A linguagem de programação MAX<sup>4</sup> é modular e as aplicações digitais são desenvolvidas interligando objetos. A maioria das rotinas existe sob forma de bibliotecas compartilhadas. Uma API<sup>5</sup> permite o desenvolvimento de novas rotinas em linguagem C para desenvolver os chamados objetos externos, com isso, é amplamente utilizado como referência por programadores não associados à *Cycling '74*.

Originalmente o MAX foi desenvolvido no IRCAM<sup>6</sup> por Miller Puckette na década de 80 para facilitar aos compositores o acesso a sistemas musicais interativos. Em 1989 foi adaptado ao computador NeXT e às unidades de processamento ISPW (*IRCAM Signal Processing Workstation*), que mais tarde evoluiu para MAX/FTS (*Faster Than Sound*). Ainda em 1989 a licença passou para a empresa de *David Zicarelli*, a *Opcodes Systems* que lançou uma versão comercial em 1990. Depois em meados dos anos 90 a empresa cessou atividade e desde então passou a ser mantido e desenvolvido pela *Cycling '74*.

## 1.5.2. BIBLIOTECA BACH

O bach é uma biblioteca de objetos e patches para o software MAX e foi de fundamental importância para realização deste projeto. Nomeadamente, para obter um retorno visual da notação musical em tempo real e que de forma flexível pode ser alterada posteriormente. A biblioteca bach disponibiliza um extenso conjunto de opções para notação musical, entre os quais, no AMIGO são particularmente importantes o

---

<sup>4</sup> MAX é uma linguagem de programação visual para música e multimídia, desenvolvida pela *Cycling '74*. O MAX é orientado para compositores, produtores, projetistas de software, pesquisadores e artistas na criação de softwares interativos.

<sup>5</sup> API - Application Programming Interface, é um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos que não pretendem envolver-se em detalhes da implementação do software, mas apenas usar seus serviços.

<sup>6</sup> IRCAM - (*Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique*; em português, Instituto de Pesquisa e Coordenação de Música e Acústica) é uma instituição francesa dedicada à pesquisa e à criação de música contemporânea criada pelo compositor Pierre Boulez a pedido de Georges Pompidou em 1969.

*bach.roll*, no qual o utilizador visualiza a criação melódica em tempo real, e o *bach.score*, onde são quantizados os dados da melodia criada para uma métrica específica.

Agostini e Ghisi (2012), afirmam que a questão de se ter um retorno de notação musical em tempo real afeta profundamente a própria natureza do processo de composição. “Como compositores, acreditamos que a criação e modificação de uma partitura musical não é uma atividade fora do tempo, mas segue o processo de descoberta do compositor e se desenvolve de acordo com ele.” Agostini e Ghisi (2012).

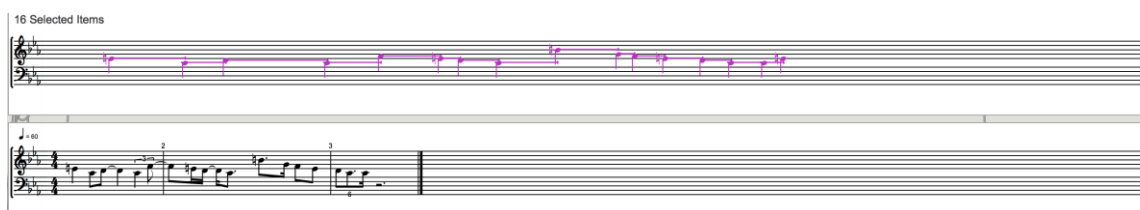


Figura 6 - *bach.roll/bach.score*.

### 1.5.3 CONTROLADORES MIDI

O teclado foi o controlador MIDI escolhido para este trabalho pela facilidade visual e táctil que oferece ao utilizador.

Em conformidade com Burns e Montefiore (2014), citados por Xiao et al. (2017), entre todos os instrumentos, o piano é o mais comumente usado em todo o mundo na iniciação de crianças no estudo musical. A maioria dos iniciantes começa com o estilo clássico, onde os primeiros anos de estudo são geralmente dedicados a aprender a ler música a partir de uma partitura.

A escolha de um controlador MIDI em formato de teclado deveu-se a algumas razões primordiais: facilidade de execução; facilidade para aprender a ler música tendo em

vista a disposição do teclado o qual facilita ver as relações entre os tons nas melodias e acordes e ainda a forma como eles são escritos na pauta. Simplicidade ao tocar; o aluno pode se concentrar em aprender a ler música, ao invés de se deparar com técnicas difíceis como em outros instrumentos que requerem um bom controle da respiração ou posicionamento exato do dedo para fazer a notação correta, o que pode ser muito desafiador para um iniciante. O layout do teclado é muito simples. Notas graves estão à esquerda, notas mais agudas à direita. Há teclas brancas e teclas pretas que facilitam o aprendizado das escalas musicais. (Matthews, 2011).

## 1.5.4 ARDUÍNO

Para estabelecer uma comunicação entre o sistema computacional e sistema de LEDs usamos a plataforma electrónica Arduino<sup>7</sup>, que é baseada em hardware e software *open source*. As placas de Arduino são constituídas por um microcontrolador e um software que é processado no computador para a programação do microcontrolador. Têm portas de entrada e saída analógicas e digitais.



Figura 7 - Arduino UNO utilizado neste projeto.

---

<sup>7</sup> <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

## **2. SISTEMAS INTERATIVOS PARA APRENDIZAGEM MUSICAL**

Neste capítulo será contextualizado a criação e improvisação musicais que recorrem a sistemas musicais interativos no desenvolvimento de competências musicais. Neste sentido, são relatados projetos de referência neste campo de criação e investigação, e que historicamente estão na base da minha pesquisa.

### **2.1 SISTEMA MUSICAIS INTERATIVOS**

Encontramos na literatura uma série de definições de sistema musicais iterativos e tendem a convergir para a importância de três principais componentes: o sinal de controle ou entrada (por parte do utilizador), um processo algorítmico de transformação e/ou geração de material musical e uma resposta de musical. Estes três componentes estão presentes na definição pioneira de Rowe (1993):

“Sistemas interativos de música por computador são aqueles cujo comportamento muda em resposta à um *input*. Essa capacidade de resposta permite que esses sistemas participem de performances ao vivo tanto de músicas escritas como de músicas improvisadas” (p. 1);

assim como em posteriores definições, tais como na de Plumbley et al. (2006):

*“An interactive system uses information from the actions of the user, perhaps via an interface, to formulate its response or output. The term, ‘musical interactive system’, encompasses all systems which depend on the users actions to generate sound and also includes systems which interact musically with the user”* (p. 1).

Para além dos componentes típicos que o constituem, as definições de sistema musicais interativos reforçam sempre a necessidade do sistema se apoiar num ciclo de respostas circular, i.e., um sistema em que controle e resposta estejam em contante diálogo e se influenciem mutuamente. Segundo Bongers (2000) um sistema só poderá ser considerado efetivamente interativo quando a informação no sistema estabelece um *loop* contínuo. O diagrama apresentado na Figura 8 ilustra este processo de interação (generalista) num sistema homem-máquina.

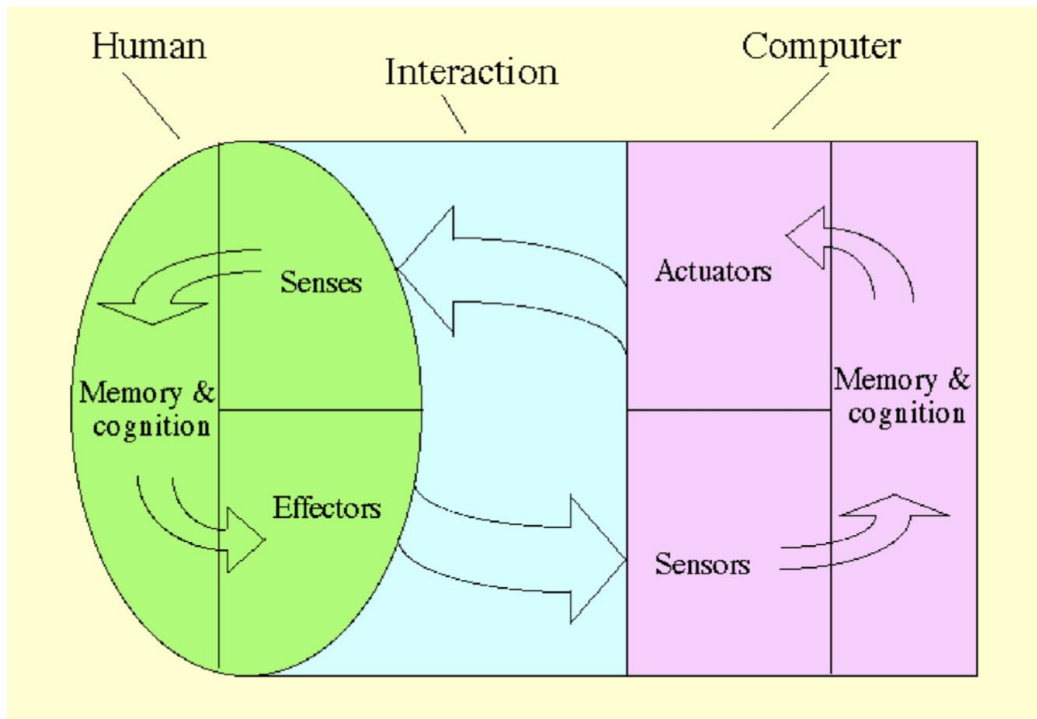


Figura 8 - Ciclo de interação homem-máquina (Bongers, 2000).

No *loop* de interação apresentado por Bongers (2000) o utilizador ativa o sistema através de uma interface que traduz ações do mundo real em sinais inteligíveis e interpretáveis computacionalmente. Estes sinais são geralmente elétricos e digitais e tendem a ser interpretados por um computador. Este último, por sua vez, processa e apresenta um resultado. Este processo é ciclicamente reiterado. A resposta do sistema computacional ao implicar um comportamento diferente no controle do sistema por parte do utilizador, faz então com que ambas as partes se influenciem mutuamente.

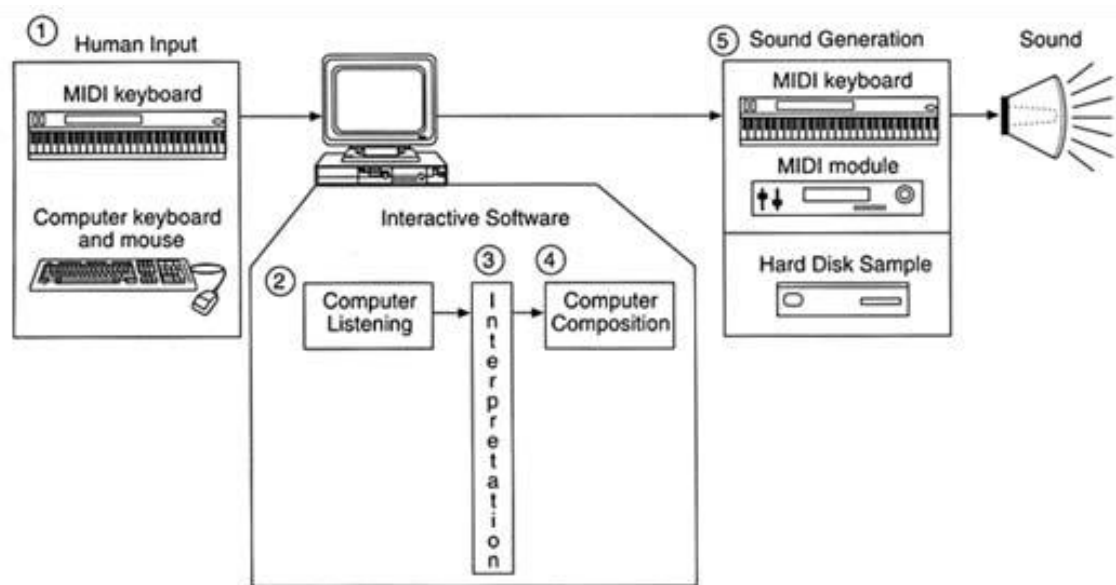


Figura 9 - Componentes básicos de um sistema musical interativo (Winkler, 2001).

Na Figura 9, Winkler articula um ciclo de interação tal como foi apresentado na generalidade por Bongers (2000) mas no âmbito de um sistema musical. O utilizador faz a performance musical (1) que é recepcionada pela máquina (2) que faz a interpretação e influencia parâmetros musicais (3) e gera música em tempo real (4) que produz o som (5) pelo alto falante.

Os sistemas interativos permitem que estruturas composicionais sejam realizadas através de performance e improvisação, com a composição codificada no sistema como processos e algoritmos, mapeamentos e rotinas de síntese. Desta forma, todos os aspectos da composição — alturas, ritmo, timbre, forma — têm o potencial de serem derivados através de um processo integrado e coerente, realizado através da interação com o sistema. Um sistema interativo tem o potencial de variação e imprevisibilidade em sua resposta e dependendo do contexto pode muito bem ser mais considerado para composição ou improvisação do que um instrumento acústico. (Drummond, 2009).

## 2.1.2 MAPEAMENTOS

Os mapeamentos são usados como métodos de transformação para fazer o elo de ligação entre as ações do controle e algoritmos de geração de música, ou algoritmos de síntese sonora, tendo assim uma função central nestes sistemas. (Winkler, 2001).

De acordo com Winkler (2001) os mapeamentos estão na base dos sistemas musicais interativos, pois são eles os responsáveis pelos métodos de transformação entre sinais de entrada e a resposta do sistema, ou, por outras palavras, as ações do *performer* e os algoritmos de geração automática de música ou síntese sonora.

A criação de instrumentos electrónicos e interfaces humano-computador são exemplos típicos de tecnologia que usa mapeamentos entre diversos componentes, como sensores, botões, LEDs, e as características de sintetizadores, algoritmos ou efeitos sonoros.

Um outro caso típico de mapeamento, é na criação de programas para criação musical em tempo-real em plataformas como o MAX, Pure Data <sup>8</sup>e Supercollider<sup>9</sup> que possuem mecanismos que permitem a prática de mapeamentos. Constituído de várias ferramentas e algoritmos, permitem ao utilizador liberdade para criar até a onde a imaginação permitir. O MIDI e o OSC<sup>10</sup> (Open Sound Control) são protocolos muito utilizados para suportar o mapeamento de parâmetros para estas plataformas.

---

<sup>8</sup> **Pure Data** (ou abreviadamente **Pd**) é uma linguagem de programação visual desenvolvida por Miller Puckette na década de 1990 para criação de música electrónica, música electroacústica, música interactiva, e trabalhos multimedia.

<sup>9</sup> **SuperCollider** é uma linguagem e ambiente de programação, lançado originalmente em 1996 por James McCartney para síntese de áudio e composição algorítmica em tempo real.

<sup>10</sup> **Open Sound Control**, protocolo de comunicação para dispositivos multimédia. Desenvolvido em CNMAT, este protocolo apresenta melhores vantagens que o MIDI devido à maior resolução, rapidez, precisão, capacidade organização e flexibilidade para aplicar em diferentes tipos de dispositivos e redes.

## **2.2 TECNOLOGIA DE APOIO À APRENDIZAGEM MUSICAL**

A implementação de sistemas musicais interativos para apoiar a aprendizagem musical vem ganhando relevância entre a comunidade de educadores. Dentro destes sistemas, verificam-se duas grandes categorias: sistemas cujo objetivo é propiciar uma aprendizagem formal da música (*Flowkey, Yousician, HI-LITE, Andante et al.*) e sistemas para criação de música sem aplicação de elementos formais (*Hyperscore, Cubase, et al.*). Entre as duas categorias abordaremos somente a primeira categoria dada a preponderância da mesma para a contribuição deste trabalho.

### **2.2.1 SISTEMAS PARA O APRENDIZADO FORMAL DA MÚSICA.**

Nesta seção são apresentadas ferramentas computacionais aos utilizadores que querem aprender focando na aprendizagem formal da música. A grande maioria dos sistemas consiste em teclados com teclas iluminadas para indicar a próxima nota da composição na pauta digital e guiar o utilizador como mostram os projetos a seguir. Dentro destes destacam-se o *Flowkey* e o *Yousician*, sistemas independentes de hardware que têm as mesmas características. O Casio LK-280, *Illuminating Piano* e o *HI-LITE* são sistemas que possuem hardware para indicar as próximas notas de uma pauta através da iluminação.

O *FLOWKEY*, *In cooperation with YAMAHA*, 2015; o utilizador só precisa obter acesso ao software e a partitura que indica as notas está em um *tablet* ou *smart phone* à sua frente. As características de aprendizagem do *FLOWKEY* e dos sistemas apresentados neste trabalho são semelhantes. Se o utilizador sentir dificuldades pode alterar o andamento, escolher entre exercitar apenas com uma das mãos e com as duas mãos simultaneamente.

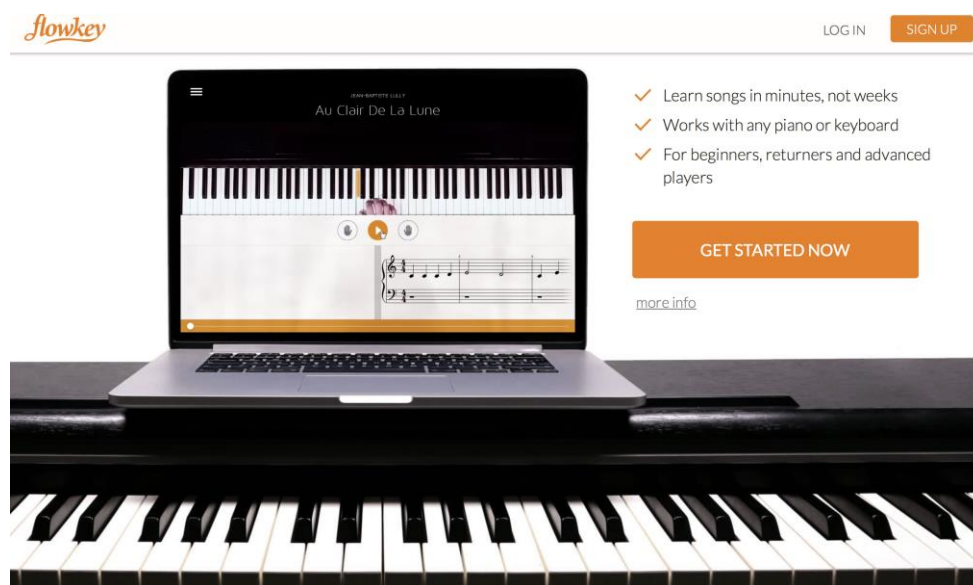


Figura 10 - Interface do *Flowkey*.

O *Flowkey*, assim como os outros sistemas de teclas iluminadas, oferece uma ampla seleção de tutoriais e lições interativas de música que fornecem feedback instantâneo e acompanham o progresso do utilizador. O utilizador pode usar qualquer teclado para interagir com o aplicativo, assim como o *Yousician*.

*Yousician* (2016) além do piano, ensina a dominar guitarra, piano, baixo e ukelele. O *Yousician* e o *Flowkey* podem ser utilizados com instrumentos acústicos pois são utilizados através do software no tablet.

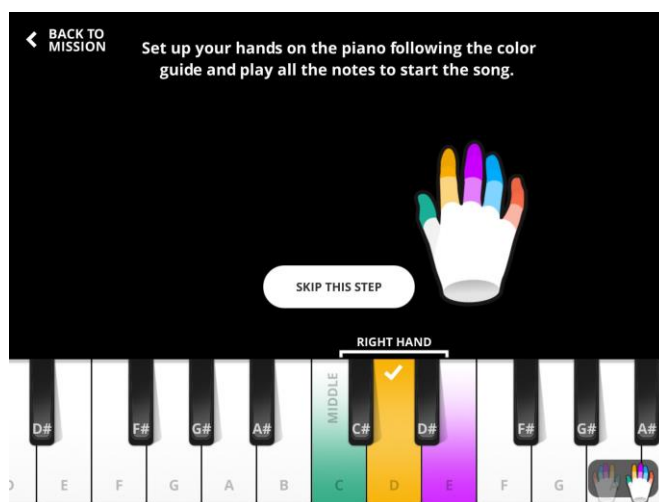


Figura 11 - *Yousician* e a forma de aprendizagem através de uma cor para cada dedo.

Dentre os sistemas no segmento de teclados iluminados, destaca-se o Casio LK-280 SD MIDI, 2011. O lançamento deste instrumento e outros que indicam a próxima nota através da iluminação das teclas ocasionaram pesquisas acerca da eficácia destes instrumentos no aprendizado formal da música. Com resultados não favoráveis relacionados a falta de flexibilidade na margem de erros, sistemas foram implementados visando o uso da tecnologia para maior aderência ao estudo da música. (Takegawa, et al., 2011)



Figura 12 - Casio LK-280 SD MIDI.

*ILLUMINATING PIANO* lançado pela McCarthy Music Corp. no mercado em 2015. Este instrumento apresenta artifícios atrativos como as teclas coloridas e o software integrado ao hardware o que facilita na usabilidade.



Figura 13 - *Illuminating Piano*.

No seguimento de iluminação das teclas para guiar o utilizador, destaque para o *HI-LITE* da Smart Piano 2016. O Piano *HI-LITE* é uma faixa de LEDs que pode se encaixar

na parte de trás do teclado de qualquer piano de 88 teclas e iluminar a sequência musical apresentada na pauta digital.



Figura 14 - Manuseio do *HI-LITE*.

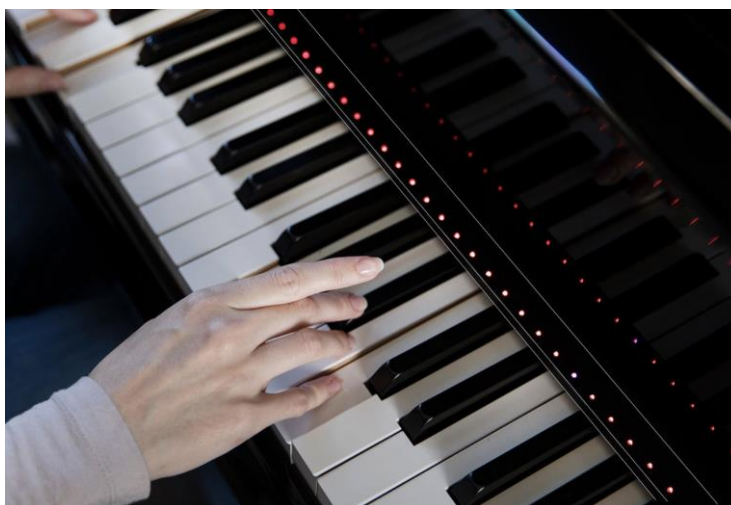


Figura 15 - *HI-LITE* em funcionamento.

Os projetos apresentados têm semelhantes características para o utilizador. A ideia principal permanece inalterada; guiar o utilizador às próximas notas.

Os sistemas apresentados até agora apresentam características muito semelhantes. Guiar o utilizador a seguir as notas seguintes da pauta digital. Esses sistemas não promovem

nenhuma facilidade com relação à margem de erro pelo utilizador, o que o faz muitas vezes perder a motivação e desistir. (Takegawa, et al., 2011).

Existem vários sistemas de suporte à aprendizagem com o teclado iluminado, no entanto, esses sistemas são rigorosos em relação aos erros do utilizador e não mostram a próxima tecla a pressionar quando o utilizador pressiona uma tecla incorreta. Quando o utilizador comete um erro repetidas vezes, ele fica irritado e perde a motivação porque não pode avançar para o próximo passo. (Fukuya, et al., 2013).

Para além dos sistemas existentes no mercado, projetos para implementação de avanços tecnológicos voltados para oferecer maior flexibilidade à margem de erros e consequentemente maior aderência aos estudos musicais, estão em constante evolução.

Estudos recentes direcionados a criação de sistemas para o aprendizado formal da música apontam para uma base conceitual e firmada nos princípios postulados pelos grandes pedagogos musicais do Séc. XX. Estão intrínsecas na implementação de sistemas mais recentes, as metodologias de ensino musical de Dalcroze Eurhythmics (1967), a qual é alicerçada no movimento corporal, e Keith Swanwick, (1979) que afirma que o mais importante no ensino da música é a experiência musical e que esta serve de estímulo à criatividade, uma vez que está intimamente ligada à improvisação. No que se relaciona à técnica de instrumento, os novos sistemas tem fundamento nos conceitos da metodologia da audição, repetição e memorização de Shinichi Suzuki, (1969).

Sistemas que variam a margem de erro de interpretação e oferecem diferentes métodos de aprendizado foram criados com as mais diversas finalidades; dedilhar corretamente, reconhecimento rítmico e treinamento de escalas musicais estão entre os aspectos dos últimos trabalhos direcionados ao aprendizado formal da música.

Os sistemas criados relacionados a este trabalho foram elencados em ordem cronológica. Estes sistemas não pretendem ser autodidata autônomos, mas sim complementar o processo de aprendizagem.

O primeiro estudo apresentado neste trabalho, revela um sistema para rastrear o dedilhado em tempo real e inclui várias informações de suporte de aprendizagem para os utilizadores. O objetivo é que os utilizadores eventualmente aprendam a atuar sem nenhum sistema de apoio. Os utilizadores podem ativar ou desativar cada parte das informações de suporte de aprendizagem. Foram realizados experimentos avaliativos para investigar a eficácia do método para tocar apenas com uma mão e com as duas mãos simultaneamente. (Takegawa, et al., 2012).

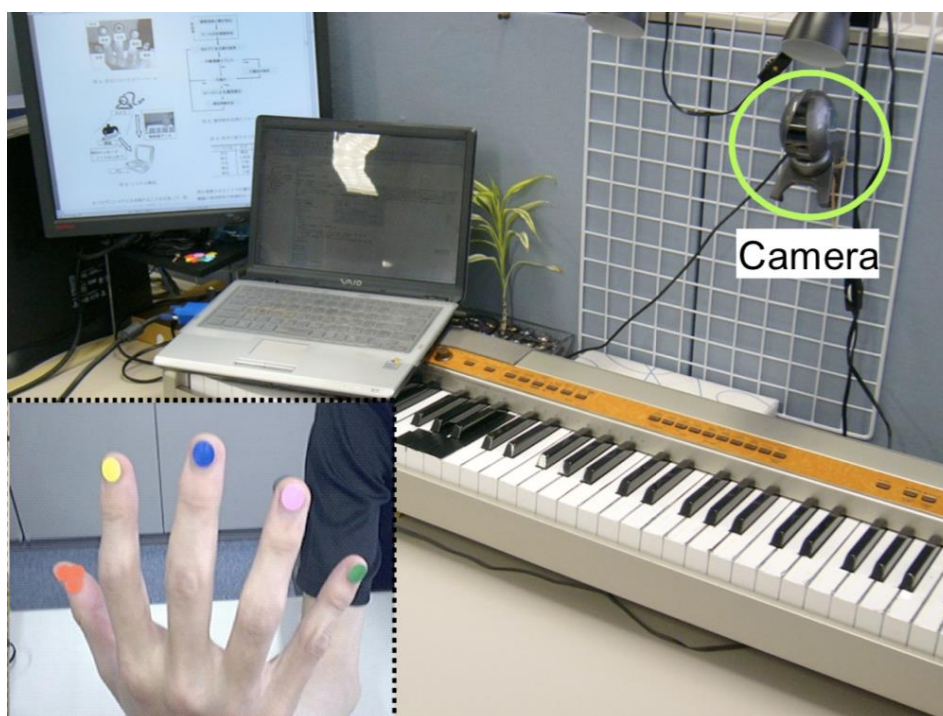


Figura 16 - O dedilhado que usa marcadores coloridos nas unhas e a estrutura do sistema.

Os resultados dos experimentos neste estudo avaliativo confirmaram que o sistema proporcionou um aprimoramento significativo na efetividade da aprendizagem no estágio inicial em comparação com o método do teclado iluminado.

No seguimento dos estudos de incentivo ao aprendizado formal da música apresenta-se um sistema de apoio à aprendizagem de piano considerando o ritmo.

“Nosso grupo de pesquisa desenvolveu um sistema de aprendizado de piano para apoiar a digitação e dedilhado

corretos para iniciantes. No entanto, o sistema não suportou a aprendizagem do ritmo. Mesmo que os usuários iniciantes, mas praticantes de tocar piano usando o sistema proposto, pressionem as teclas corretas com o dedilhado adequado em ritmo lento com as duas mãos e possam prever as próximas teclas a serem pressionadas, o desempenho é inadequado por causa da duração incorreta ao segurar as teclas e inserir pausas. Isso se deve à dificuldade de prestar atenção à duração das notas enquanto move cada mão em um tempo diferente.” (Takegawa, et al., 2012).

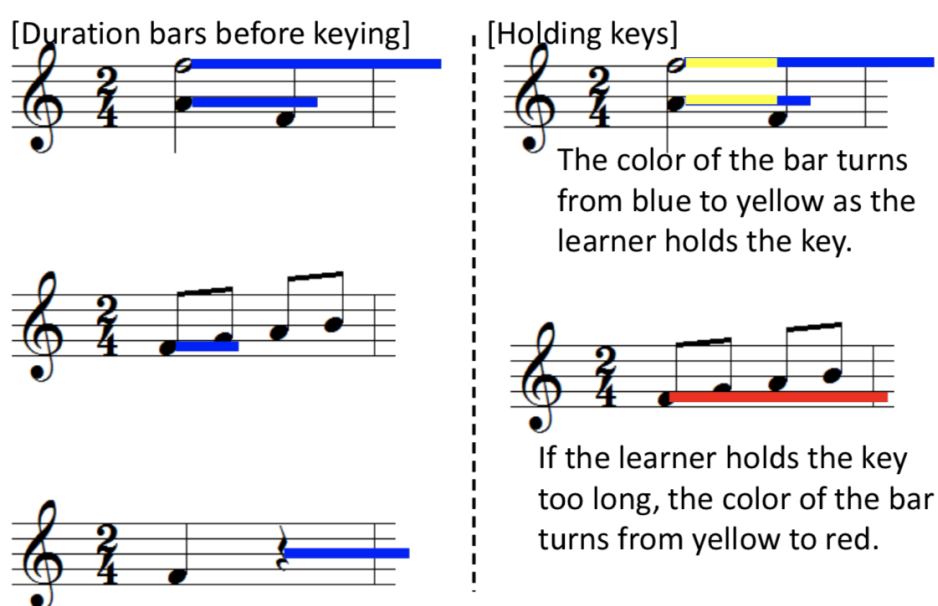


Figura 17 - Exemplos de apresentação da duração para notações musicais.

A função de verificação do ritmo apresentada na Figura 17 ajuda aos usuários perceberem seus próprios erros e corrigi-los. Os resultados dos experimentos avaliativos confirmaram que os sujeitos que usaram o sistema proposto fizeram o teste usando a notação e o ritmo corretos durante um período de treinamento de 30 minutos, e o aprendizado melhorou significativamente a eficácia através do sistema quando comparado ao método de *piano roll*. (Takegawa, et al., (2012).

Os estudos de dedilhado e ritmo usaram sistemas semelhantes na implementação estrutural como apresentados nas Figuras 18 e 19.

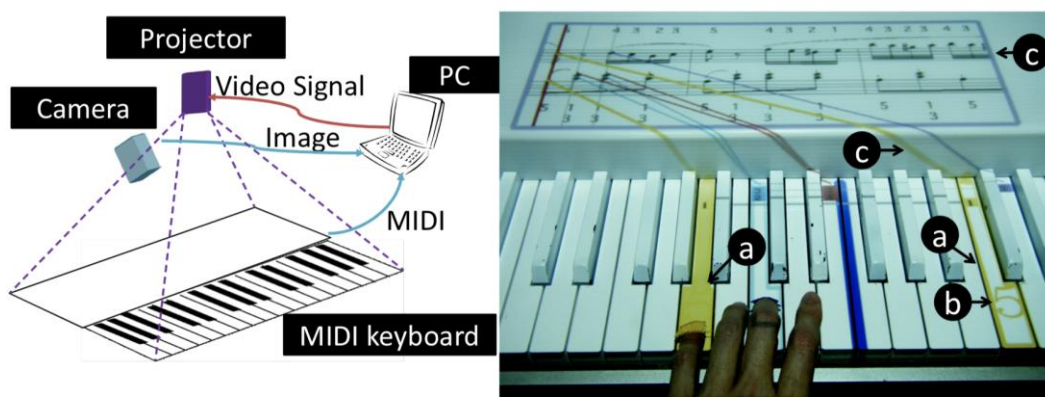


Figura 18 - Estrutura do sistema para dedilhado correto.

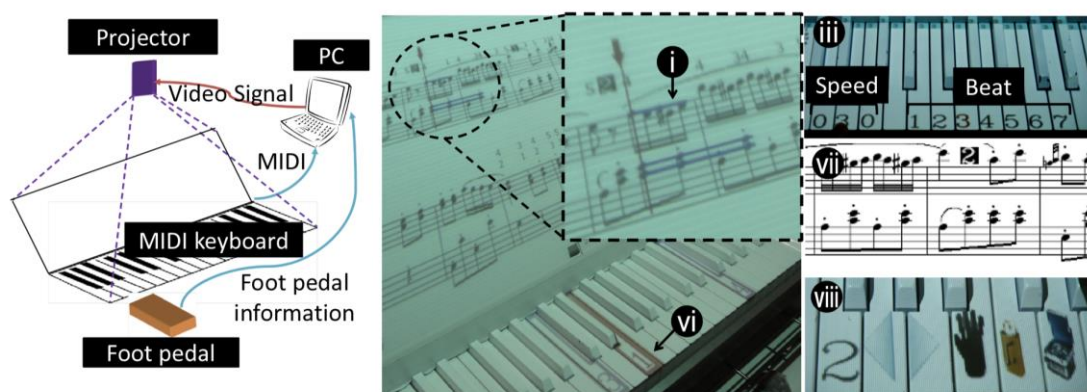


Figura 19 - Estrutura do sistema para aprendizado do ritmo no piano.

Na continuação da pesquisa, encontramos um estudo de apoio a aprendizagem de piano considerando a motivação do utilizador.

Existem muitos estudos de métodos para apoiar os professores de piano. Esses sistemas analisam o desempenho do aluno e apresentam informações eficazes para apoiar o aprendizado. (Fukuya, et al., 2013).

Com base nos estudos para dedilhado e ritmo, ficou constatado que mesmo ao oferecer maior flexibilidade para leitura de partituras, quando a peça musical apresentava maior dificuldade, provocava falta de motivação. O sistema para o apoio da aprendizagem de piano considerando a motivação oferece um determinado grau de margem de erro na notação para motivar o utilizador. Se o utilizador toca uma nota errada, mas o erro está dentro de um determinado grau de erro no sistema, a nota errada recebe a afinação da nota correta sem alterar o tempo e a intensidade.

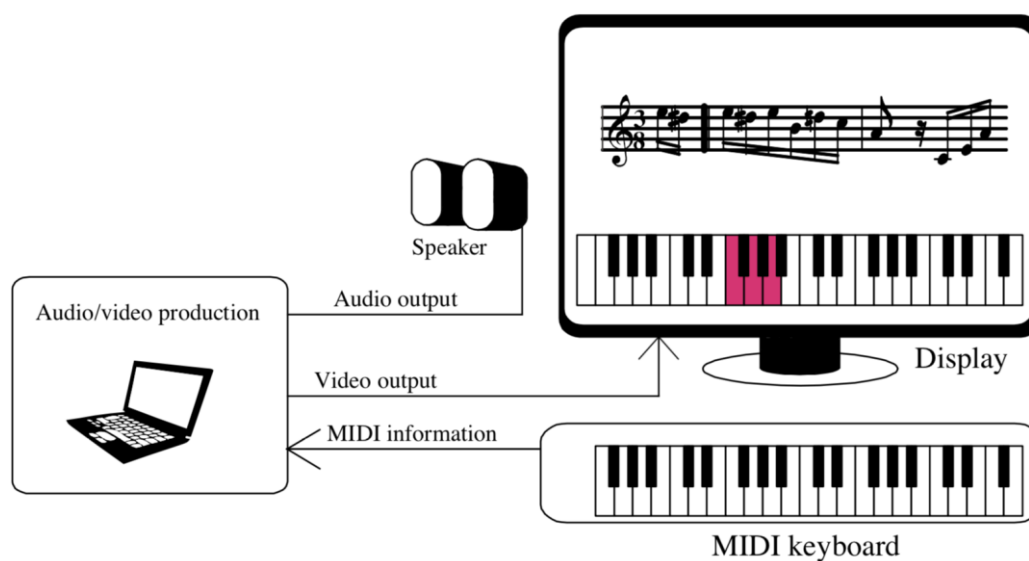


Figura 20 - Estrutura do sistema para o apoio da aprendizagem de piano considerando a motivação.

Os resultados dos experimentos realizados apresentaram aumento significativo na efetividade da aprendizagem como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Resultado dos questionários no sistema para o apoio da aprendizagem de piano considerando a motivação.

		Motivation	Quality
Proposed method	A	4	4
	B	3	2
	C	4	2
	D	4	3
Lighted Keyboard	E	3	2
	F	1	2
	G	2	2
	H	3	1

O estudo foi realizado com oito pessoas. Todas universitárias e que não tinham formação em piano e não sabiam ler uma partitura. Foram usados dois métodos, quatro pessoas para cada método. Segundo dados do estudo experimento, o modo de teclas iluminadas sem chances de erro provoca desânimo e falta de motivação enquanto que o modo que considera margem de erros de notação resultou em maior estímulo pelos utilizadores. (Fukuya, et al., (2013).

Na sequência da apresentação de projetos para a aprendizagem formal da música revelam-se o *Andante* e *Andantino*. Os dois projetos são interligados em sua concepção e têm como objetivo complementar o processo de aprendizagem musical. Estes trabalhos apresentam metodologias inovadoras ao enfatizar a comunicação e compreensão expressiva dos movimentos corporais no processo de aprendizagem musical, nomeadamente do (micro)-tempo e ritmo; treinamento de escalas musicais e consequente reconhecimento das tonalidades para reflexão e eventualmente futura capacidade para improvisação.

Por meio de um protótipo elaborado em um piano de cauda *Yamaha Disklavier*<sup>11</sup> com uma placa para permitir a projeção na tampa aberta do piano e um projetor de curto

---

<sup>11</sup> **Disklavier** é um piano acústico real equipado com sensores eletrônicos para gravação e solenóides eletromecânicos para reprodução autônoma. Os sensores gravam os movimentos das teclas, martelos e pedais durante uma apresentação, e o sistema salva os dados de apresentação como um arquivo MIDI. Na reprodução, os solenóides

alcance montado a 7,5 pés acima da base do piano, foram criados os sistemas *Andante* (2014) e *Andantino* (2017). “Um programa Java personalizado executa as animações e direciona a entrada e saída MIDI do piano. Quadros de animação, que mostram vários personagens em silhueta, foram feitos usando técnicas tradicionais desenhadas à mão no Adobe Photoshop.” (Xiao, et al., 2014).

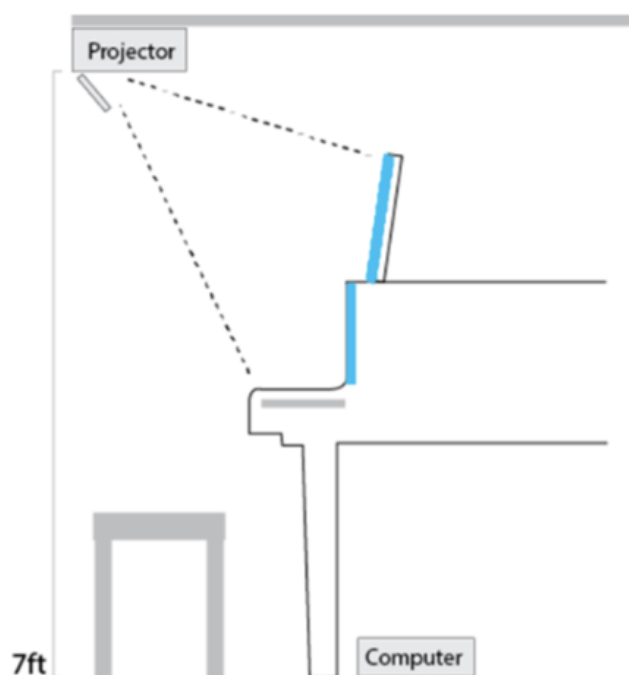


Figura 21 - Configuração estrutural dos sistemas *Andante* e *Andantino*.

*Andante* é um sistema musical iterativo criado por Xiao Xiao, Basheer Tome e Hiroshi Ishii (2014), que representa música com personagens animados (ver Figura 22).

---

movem as teclas e os pedais e, assim, reproduzem o desempenho original. Além de reproduzir o Disklavier também faz *play back* de arquivos MIDI.



Figura 22 - Animação do *Andante*.

Componente essencial do vocabulário musical, as escalas são usadas para construir melodias e são frequentemente incluídas como prática diária para estudantes de todos os níveis, embora muitas vezes tratadas como exercícios sem sentido, desprovidos de musicalidade, (Xiao, et al., 2014). O *Andante* objetiva incentivar os alunos a tocar escalas com mais forma e expressão, imitando o movimento de vários personagens.

“Nós prototipamos as escalas C maior, pentatônica e cromática, ascendendo e descendo com tempo ajustável. Para mostrar variações nos exercícios escalares, fizemos animações com várias figuras tocando a escala C em movimento contrário e harmonizadas em terças.” (Xiao, et al., 2014).

Na sequência do projeto do *Andante*, em 2017 a equipe agora formada por Xiao Xiao, Pablo Puentes, Edith Ackermann and Hiroshi Ishii, apresentaram o *Andantino*.

O *Andantino* é baseado na metodologia de Dalcroze Eurhythmics, um método de pedagogia musical destinado a estimular uma compreensão da música enraizada no corpo. O *Andantino* contribui com uma nova abordagem para o design de sistemas interativos que ajudam as crianças a aprender a tocar piano, fornecendo sua "inteligência" musical para todo o corpo. (Xiao, et al., 2017).

Piaget (1972) citado por Xiao et al. (2017), observou uma progressão em etapas, de uma compreensão puramente sensório-motora. Nas idades em que as crianças geralmente iniciam aulas de piano (desde quando começam a andar aos 12 anos), o pensamento simbólico abstrato ainda não foi totalmente desenvolvido. A cognição está enraizada em

fenômenos concretos. Conectar música aos movimentos do corpo é portanto uma estratégia eficaz para transmitir estrutura musical e expressão às crianças.

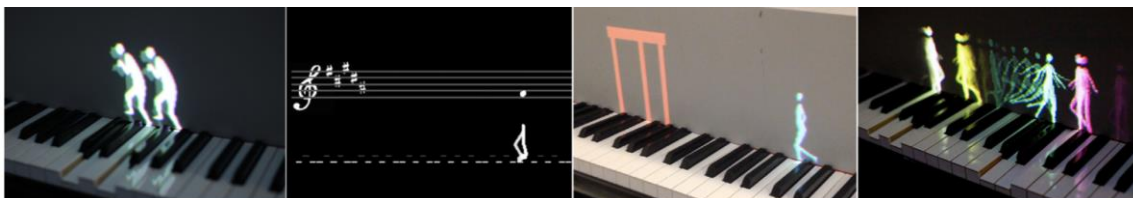


Figura 23 - Animação do *Andantino*.

Os sistemas *Andante* e *Andantino* apresentam uma forma livre de impulsionar o aprendizado musical, seja pelo treinamento de escalas, seja pela diversão através da animação proposta ou até mesmo para improvisação.

Os sistemas interativos também podem servir como orientação para o aprendizado autodirigido, tanto em crianças quanto em adultos. O auto-aprendizado geralmente é promovido para alunos adultos motivados e conscientes.

Ao dar prosseguimento na relação dos trabalhos para impulsionar o aprendizado formal da música, apresenta-se o TELMI<sup>12</sup> que tem como objetivo um estudo de caso no período de três anos acerca da técnica instrumental no estudo do violino.

O TELMI é uma ação de Pesquisa e Inovação coordenada pelo MTG-UPF<sup>13</sup> e financiada pela Comissão Européia com duração de 36 meses e foi iniciado em de 1º de fevereiro de 2016. As instituições parceiras envolvidas no projeto são: Universitat Pompeu Fabra, Universidade de Genova, Royal College of Music, HIGHSKILLZ e SAICO INTELLIGENCE, S.L.

<sup>12</sup> TELMI. <http://telmi.upf.edu>

<sup>13</sup> MTG-UPF – Music technology group, Univerdade de Pompeu Fabra.

Em sua apresentação, o projeto TELMI manifesta toda a questão da complexidade do aprendizado musical: Aprender a tocar um instrumento musical é um desafio. Os músicos, sejam aqueles no início de sua jornada ou praticantes experientes, devem equilibrar a necessidade de aprender uma grande quantidade de técnica e repertório com limitações em seu tempo, resistência física e mental, e capacidade de fazer a comunicação complexa e abstrata de pensamentos e movimentos. Isso resulta em altas taxas de estresse, frustração, esgotamento e lesões vistas entre músicos em todos os níveis, e pode impedir jovens músicos de seguirem ou continuarem seus estudos.

O projeto TELMI lida com esses desafios desenvolvendo um conjunto de tecnologias para aprimorar o aprendizado musical. Usando o violino como estudo de caso, o Royal College of Music está desenvolvendo uma estrutura pedagógica em um sistema que abrange tanto os métodos tradicionais de instrução de violino quanto a pesquisa cognitiva moderna sobre como as pessoas adquirem experiência e aprendem habilidades.

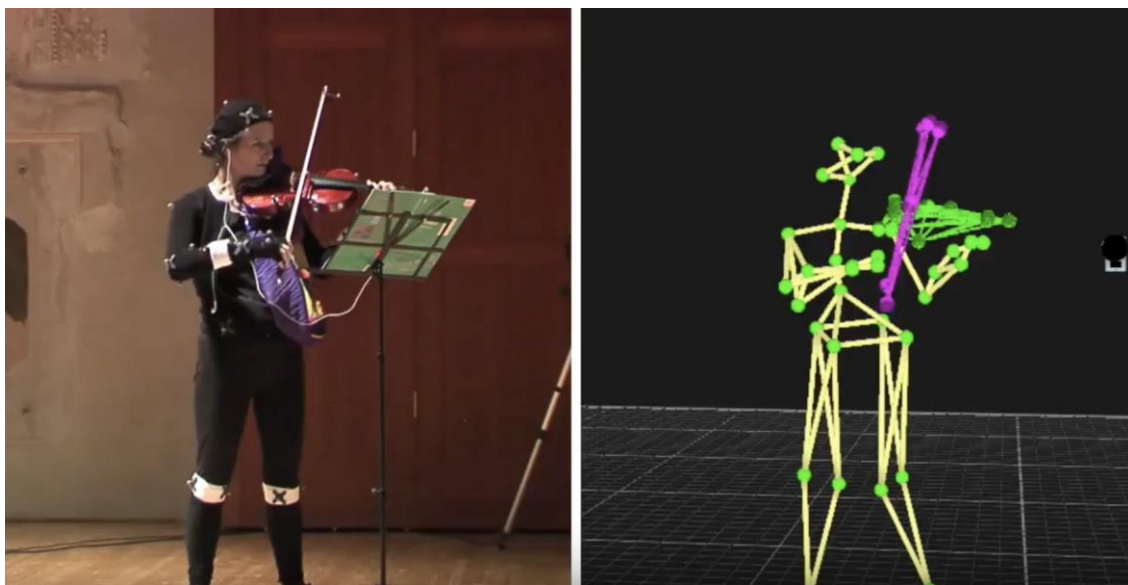


Figura 24 - Violino como estudo de caso no projeto TELMI.

No coração do sistema estão os avanços inovadores em sistemas de áudio, vídeo e captura de movimento através de sensores que estão sendo desenvolvidos pelos parceiros do projeto na Universidade Pompeu Fabra e na Universidade de Gênova.

O objetivo é ajudar os músicos a aproveitar ao máximo seu tempo nas aulas práticas, reduzir lesões e tornarem-se mais bem-sucedidos.

## 2.3 SUMÁRIO

O estado da arte deste trabalho apresentou a proeminente atenção voltada a pesquisas para facilitar o aprendizado formal da música. Nesta seção foram relacionados os sistemas criados até a presente data que se correlacionam ao projeto desenvolvido para este trabalho.

Relativamente aos dispositivos digitais criados para aprendizagem da formal da música, os sistemas apresentam metodologia direcionada a facilitar a leitura da pauta musical e técnica corporal. Os sistemas disponíveis atualmente oferecem usabilidade ao utilizador que planeja ler e tocar músicas de ficheiros MIDI. Dentre os sistemas relacionados, o *Andante* e o *Andantino* destacam-se para liberdade de improvisação musical embora não haja um guia para os utilizadores neste aspecto. O *Andante* e o *Andantino* usam ficheiros MIDI com o principal objetivo de facilitar o treino de escalas e desta forma promover a percepção das tonalidades, proporcionando indiretamente a liberdade para improvisação musical. Relativamente ao TELMI, representado por um coletivo de universidades e entidades, observa-se a dedicação em pesquisas que objetivam facilitar a técnica corporal ao tocar um instrumento, neste caso, o violino.

Ficou clarividente que o uso dos teclados iluminados oferecem grande margem de erro pelos utilizadores e conseqüente perda de motivação. Os trabalhos desenvolvidos para proporcionar facilidades no dedilhado, no ritmo e na margem de erros apresentaram resultados satisfatórios.

A principal distinção entre o projeto desenvolvido neste trabalho e os demais projetos apresentados para o aprendizagem formal da música é a liberdade para criação musical guiada pelo sistema criado.

### **3. AMIGO: UM SISTEMA PARA A CRIAÇÃO MUSICAL ANTES DO APRENDIZADO FORMAL DA MÚSICA.**

Este capítulo detalha a arquitetura do sistema que se divide em duas partes. Na primeira parte são apresentadas as estratégias de ação do projeto: base conceitual, o público alvo e os princípios das teorias de base. Na segunda parte é descrita a implementação do sistema.

#### **3.1 PÚBLICO-ALVO E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO**

AMIGO tem como público-alvo camadas da sociedade sem treino musical, nomeadamente dentro deste a infância. Pretende-se assim permitir ao aluno desenvolver a percepção sensitiva quanto aos parâmetros sonoros – altura, timbre, intensidade e duração, além de favorecer o controle rítmico-motor, estimular a criatividade e de forma indireta desenvolver as percepções auditiva, visual e tátil de forma intuitiva.

A proposta do AMIGO fomenta uma aprendizagem formal da música entrelaçada com o estímulo à criação musical. A falta de flexibilidade do tradicional ensino da música no qual a metodologia impõe tocar corretamente uma música escrita na pauta, foi o principal incentivo para apresentar uma nova forma de aprendizado musical. No AMIGO, o utilizador é livre para seguir sua intuição e reflexão auditiva antes de aprender as formalidades da música, e assim ter noções básicas do significado da leitura musical sem nenhuma imposição.

## MÉTODO TRADICIONAL

## AMIGO

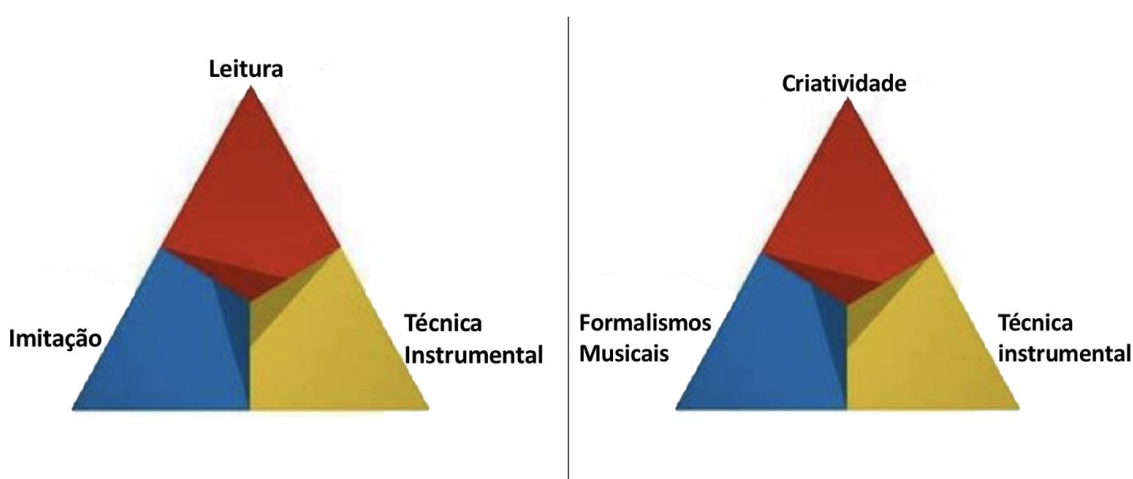


Figura 25 - Gráfico<sup>14</sup> do método tradicional do aprendizado formal da música X método de aprendizado musical no AMIGO.

Os projetos apresentados no estado da arte desta dissertação mostram soluções viáveis para aprendizagem formal da música por meio de teclados iluminados de várias formas. Baseado na ideia das teclas iluminadas mas com uma extensão nas capacidades de improvisação e criação para além da leitura e realização de obras conhecidas, o AMIGO apresenta uma nova proposta. A diferença no AMIGO está na liberdade para criação musical ao invés da imposição da leitura da pauta de uma música e conseqüentemente imitação. Os gráficos na Figura 25 apresentam a tradicional metodologia de aprendizado da música, a mesma seguida pelos sistemas apresentados no estado da arte, e a

<sup>14</sup> Gráfico do método tradicional do aprendizado formal da música - <https://www.aprendendopiano.com.br/comece-por-aqui/>

metodologia do AMIGO na qual a palavra leitura é substituída pela palavra criatividade e a palavra imitação substituída pelo termo formalismos musicais.

O sistema que é baseado na visualização da notação musical e na escuta, propõe uma noção de sistemas reflexivos intuitivos, pois o utilizador percebe o que está criando ao longo de sua atuação. A notação da criação com retorno em tempo real oferece opções de mudanças na pauta digital assim como um aprendizado “indireto” da notação musical. A capacidade do sistema de guiar o utilizador ao tocar o teclado pode ser interpretada como uma situação na qual as pessoas obtêm equilíbrio entre habilidades e desafios.

Após ser idealizado, para ser colocado em prática, o projeto utilizou um modelo de algoritmos estocásticos extraídos de ficheiros MIDI.

As notas no sistema desta dissertação não estão em nenhuma pauta. A pauta está limpa à frente do utilizador e sua criação musical guiada pelo sistema aparecerá na pauta ao longo da criação musical.

A questão da imposição ao aprender os formalismos da música e consequente desistência do aprendizado não é uma discussão nova.

É impossível descrever uma lista completa de projetos e abordagens para o uso de tecnologia de software para educação musical. Adessi et al. (2004), elencam algumas críticas em termos da aplicabilidade dos contextos musicais pedagógicos reais desses sistemas:

A questão dos objetivos musicais fixos: A maioria dos softwares pedagógicos é programada com objetivos musicais fixos em mente: praticar treinamento auditivo, reconhecimento de acordes, identificação e replicação de ritmos, etc. Mesmo que os objetos pedagógicos sejam razoáveis e possam ser justificados, é difícil impor uma abordagem sistemática ao treinamento musical, especialmente em crianças pequenas. A falta de flexibilidade desta abordagem de “mundo fechado” foi reconhecida na Inteligência Artificial, mas tal mudança de paradigma ainda não foi transformada em soluções práticas. (Adessi et al., 2004).

O utilizador no AMIGO é guiado pela visualização da transição das cores no teclado e tem total liberdade para criação ou improvisação musical. O utilizador pode adicionar ficheiros MIDI para obter uma maior abrangência de possibilidades e ampliar o rendimento de seu desempenho.

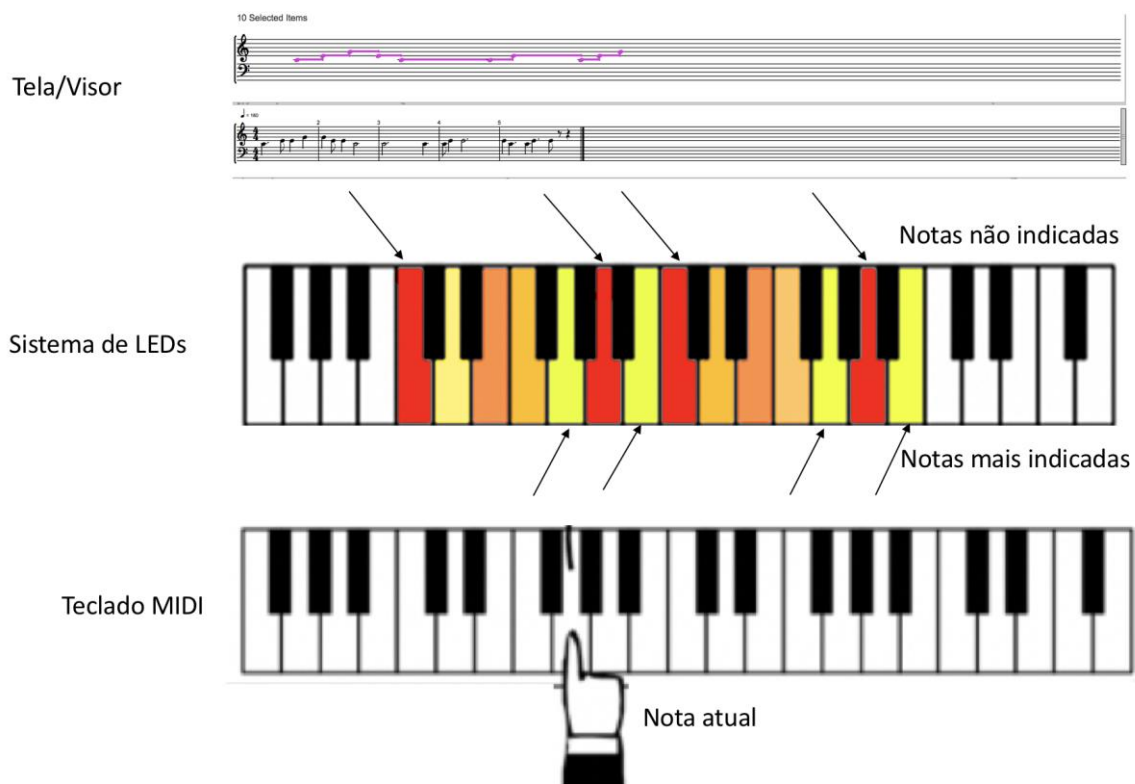


Figura 26 - Diagrama do protótipo do sistema.

No visor da Figura 26 aparecem na partitura as notas que já foram tocadas e quantizadas. O sistema de LEDs indica as melhores probabilidades para guiar o utilizador. As amarelas como notas mais indicadas e as vermelhas como não indicadas.

No sistema, na melodia criada no bach.roll a unidade de tempo não é medida ao longo da criação, entretanto, após quantizada no bach.score todos os critérios de tempo como pausas, unidade de compasso, andamento et al., aparecem devidamente representadas.

Proporcionar uma ferramenta de baixo custo para comunidades de baixa renda e sem acesso ao aprendizado formal da música é uma das metas deste trabalho. A idealização de um aplicativo para *tablets* está no planejamento para o futuro deste projeto.

Cidades distantes das capitais brasileiras, além de não disporem de professores de música possui em sua maioria, população de baixa renda. O *tablet* como substituto de um professor que mora distante e conseqüentemente de alto custo, poderá ser a ferramenta ideal para aqueles que desejam aprender música através de uma metodologia livre para criação musical.

## **3.2 ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA**

O sistema AMIGO é constituído por três grandes módulos: um teclado MIDI, um sistema de LEDs em uma placa de madeira adaptada ao teclado e o computador que gera a informação inicial ao utilizador e o resultado do desempenho pelo mesmo.

O AMIGO foi criado a partir da integração de variados algoritmos para aprendizagem de estruturas musicais e conseqüente geração, tais como cadeias Markov e histogramas com o grande propósito de auxiliar a aprendizagem formal da música através de estratégias composicionais e interpretativas intuitivas e guiadas por processos computacionais. O desenho da interface permite a sincronia entre a visualização do que está a ser criado pelo utilizador na pauta digital e o teclado com sistema de LEDs sobreposto que oferece um alargado leque de escolhas no ato da composição assistida por computador. O utilizador tem um retorno da qualidade da criação musical a fim de o guiar na cumulativa aquisição de conhecimentos.

### **3.2.1 SISTEMA DO AMIGO**

O sistema tem em sua memória um leque de opções de arquivos MIDI para geração das probabilidades oferecidas na transição de cores. Para além das possibilidades com os arquivos disponíveis, o utilizador pode importar quaisquer ficheiros MIDI para o

sistema ler e proporcionar mais opções tanto para melodia como para a harmonia. Quando o sistema lê um ficheiro para melodia, oferece as probabilidades através das cadeias de Markov, quando lê arquivos para harmonia segue o padrão de leitura de histogramas.

O utilizador tem a disponibilidade de uma pauta infinita e pode fazer alterações nota por nota, a depender de sua pretensão e musicalidade para sua criação ou improvisação.

Baseado nos objetivos propostos desta dissertação, o sistema computacional de aprendizagem de geração assume uma componente importante como condutor entre a performance musical do utilizador e o *feedback* que este receberá do gerador da melodia. Este decompõe-se em diversos módulos, cada um com uma função específica, que trabalham interligados.

A tela do computador tem a representação da Figura 27 para o utilizador. As opções de manipulação do software para o utilizador são semelhantes aos mais facilitados softwares e aplicativos nas mais diversas áreas de conhecimento. A intenção foi facilitar ao máximo para evitar desistência pelos utilizadores.

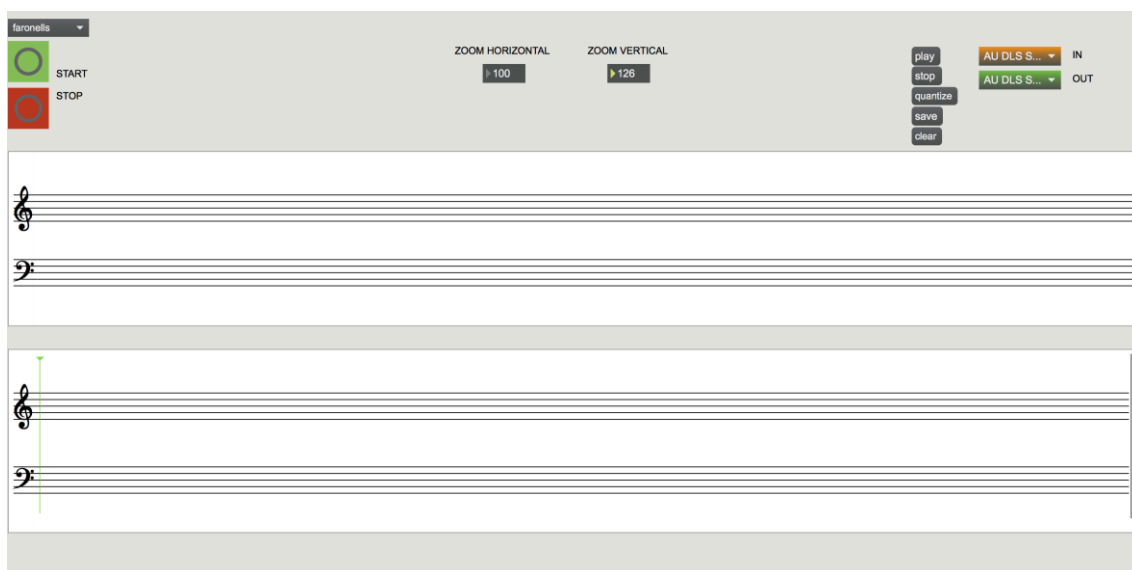


Figure 27 – Interface com a representação do sistema para o utilizador.

**Start/stop** – Inicia/encerra o programa.

**Stop/play** \_ O utilizador pode parar e ouvir quantas vezes quiser, e paralelamente fazer alterações à sua escolha. A pauta é infinita, o utilizador é quem determina quando termina sua composição.

**Clear** – Limpa a pauta musical para recomeçar uma nova composição.

**Quantize** – Quando o utilizador finaliza ou quer parar para ouvir o que está a criar, aciona o *button quantize* e a composição que está a ser criada no *bach.roll* é direcionada ao *bach.score* onde são quantizados os dados coletados.

**Save** – Salva a criação musical.

**Read** – Quando acionado o *read*, o utilizador escolhe ficheiros MIDI para adicionar na lista do [umenu] <sup>15</sup>como mostra a Figura 28.



Figura 28 - [umenu] para escolha de ficheiros MIDI.

**Zoom horizontal** – Como em qualquer outro software, o zoom possibilita ver a criação do utilizador na pauta digital expandida ou reduzida.

**Zoom vertical** – Expande e reduz verticalmente a pauta no *bach.score*.

---

<sup>15</sup> [umenu] - Exibe o texto como um menu pop-up. As seleções podem ser feitas manualmente ou definir números de entrada. Emite o número e o texto da seleção.

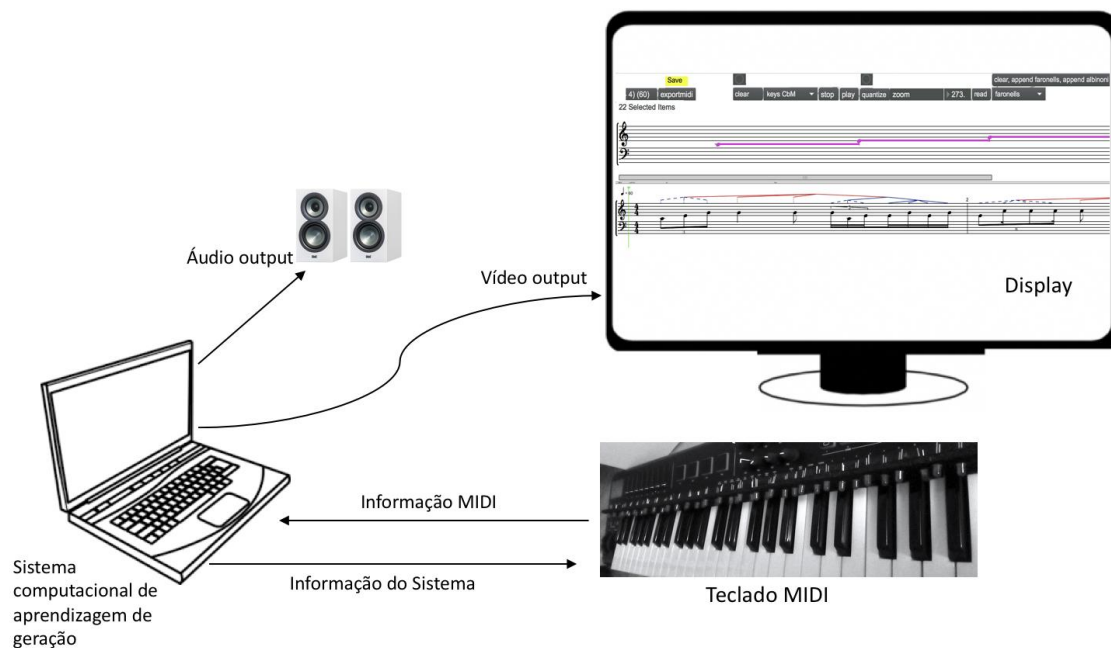


Figura 29 - AMIGO e suas funções.

A Figura 29 apresenta o sistema completo e a interface para o utilizador. Observam-se duas partituras. A partitura abaixo das funções do programa, na qual as notas aparecem, acompanha o utilizador em tempo real e é gerada no bach.roll e quantizada para o bach.score. O utilizador pode parar, fazer alterações na altura e na duração, remover e adicionar notas, tanto no bach.roll como no bach.score.

### 3.2.2 MODELAÇÃO E GERAÇÃO DE ESTRUTURAS MUSICAIS

A inteligência do sistema AMIGO reside na capacidade de aprender estruturas musicais procedentes de exemplos de dados de músicas a partir dos quais gera um modelo que guia o utilizador na escolha de notas segundo um acompanhamento dado.

No que diz respeito à aprendizagem de estruturas de músicas, foram usados dois algoritmos para o efeito, o primeiro baseado em cadeias Markov e um segundo que cria um histograma das notas executadas melodicamente para cada elemento do acompanhamento. O primeiro elemento visa aprender estruturas melódicas e o segundo harmônicas.

Segundo Pachet (2008), cadeias de Markov são processos estocásticos que datam desde o início da ciência da computação e da teoria da informação, e envolvem processos de decisão entre estados discretos baseados em estados anteriores numa distribuição probabilística. No caso particular da aplicação AMIGO, a cadeia Markov é adaptada para informar a probabilidade de transitar para cada uma das classes de altura (i.e. o total das notas cromáticas não atendendo à informação de oitava entre 0 e 11, 0 corresponde a Dó, 1 a Dó# e conseqüentemente até 11 corresponder a Si). Para criar uma tabela de transições probabilísticas em AMIGO, é efetuado uma leitura contínua do material temático de uma certa obra em classes de altura e calculadas as probabilidades.

Cadeias Markov podem ser de ordem várias, sendo que uma cadeia Markov de ordem *zero* é um processo aleatório, de ordem *um* atenta a um único estado no passado para definir o atual, de ordem *dois* a dois estados passados e assim conseqüentemente. (Freitas, 2015).

A adoção de classes de alturas em desfavor do total cromático da tessitura de uma obra, assim como cadeias de transição de primeira ordem deve-se à necessidade de redundância das cadeias Markov para garantirem um maior número de diferentes transições entre estados.

Tabela 2 - Tabela de probabilidades de transições de uma cadeia Markov de primeira ordem entre classes de altura da obra Parábens à você.

	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B
C	.500		.25			.125		.125		.1		
D	.66											.33
E	.5		.5									
F	.25				.5			.25				
G						.1						
A						.1						
B										.5		.5

Histograma é a representação (comumente gráfica) de um conjunto de dados previamente tabulados e divididos em classes discretas uniformes ou não uniformes, (Rufilanchas, 2017). Para cada classe é calculada a sua quantidade ou frequência absoluta. É considerado uma importante ferramenta da estatística e foi utilizado em AMIGO para determinar as notas que harmonicamente são usadas no contexto de uma certa obra. Em maior detalhe, para cada classe de altura foi efetuado um histograma com 12 classes (i.e., as classes 0-11) representando assim a quantidade de classes de altura que verticalmente coincide com cada nota do acompanhamento. A relação é feita de um para um, ou seja, para cada classe de alturas do baixo, é representado o conjunto de classes de alturas que lhe correspondem na melodia.

A tabela de transições e o histograma são combinados linearmente em AMIGO para ter um vasto leque de possibilidades e até certa medida captar as nuances melódicas e harmônicas de um certo exemplo musical, que em AMIGO é retirado do repertório de música tonal.

A cada nova nota do baixo ou a cada nova instrução de nota do utilizador as probabilidades são recalculadas e retornadas ao utilizador através de um retorno visual.

### 3.2.3 CONTROLADOR COM SISTEMA DE LEDS

O teclado MIDI utilizado neste sistema representa uma componente importante para o seu funcionamento, por conseguinte estabelece a principal interface de interação entre o utilizador (*performer*) e o sistema. O instrumento MIDI e o Arduíno recebem e geram informações das probabilidades entre a transição de cores entre o amarelo e o vermelho oferecidas ao utilizador. O sistema computacional de aprendizagem de geração desenvolvido no MAX faz um [coll]<sup>16</sup> que relaciona as notas do soprano (melodia na mão direita) com as notas do baixo, (harmonia na mão esquerda).



Figura 30 - Transição de cores no teclado virtual do MAX.

O sistema é articulado através de um componente de madeira elaborado manualmente o qual conta com um LED acima de cada tecla. Em simultâneo com a participação do utilizador, os LEDs alteram a transição de cores para que o utilizador seja guiado conforme sua atuação.



Figure 31 - Componente de madeira com LEDs para ser acoplado ao teclado

---

<sup>16</sup> [coll] Armazena e edita uma coleção de dados. Permite armazenamento, organização, edição e recuperação de diferentes mensagens.

O sistema aprende a estrutura de um certo ficheiro MIDI fornecido pelo utilizador, e cria um modelo das suas relações melódicas e harmónicas. A resposta no sistema é uma harmonia que acompanha a melodia a ser criada por meio do utilizador guiado pela intensidade dos LEDs no teclado, resultando em uma nova composição. Ficheiros MIDI podem ser adicionados e removidos à escolha do utilizador.

Quando o utilizador finaliza a sua criação musical, pode exportar o ficheiro em formato MIDI e imprimir sua partitura em softwares como o MuseScore<sup>17</sup> e ouvir em qualquer software reprodutor de áudio.

---

<sup>17</sup> O MuseScore é um editor de partituras para Linux, Microsoft Windows e Mac. Notação para percussão e tablatura para instrumentos de cordas são suportadas, assim como impressão direta.

## **4. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO**

Este capítulo será para analisar e revisar a pesquisa desta dissertação. Serão identificados os principais métodos utilizados e suas implicações no estudo elaborado.

Na presente pesquisa, na qual desenvolvem-se simultaneamente dois discursos, um pedagógico e outro musical, houve um enorme desafio em dispor e preparar previamente estes processos de maneira convincente e efetiva.

Diante o resultado do trabalho realizado ficou evidente o empenho na realização de novos artifícios direcionados a facilitar o aprendizado formal da música. Os trabalhos apresentados demonstram resultados evolutivos relativamente a leitura musical e a técnica de instrumento.

A pesquisa constata ser fundamental ter aproveitamento dos avanços tecnológicos para implementação de sistemas musicais interativos. Com base nos sistemas existentes fica comprovada a necessidade de explorar cada vez mais a tecnologia em benefício do ensino da música.

## 4.1 CONCLUSÕES

Com a disseminação e acessibilidade de ferramentas para o design de sistemas musicais interativos, músicos, compositores e entusiastas investem e avançam em alternativas da evolução tecnológica em seus projetos. O AMIGO é focado na (1) criação musical antes do aprendizado formal da música com a intenção de (2) facilitar o árduo e longo aprendizado musical além de (3) proporcionar um sistema de baixo custo para as comunidades menos favorecidas e pessoas interessadas em aprender noções musicais à um baixo custo.

Há pesquisas e projetos realizados no âmbito do aprendizado formal da música que comprovam a evasão de principiantes dos estudos musicais. Ficou justificado neste projeto que existe uma tendência do uso da tecnologia para favorecer facilidades ao aprendizado formal da música e conseqüentemente apoiar alunos a prosseguirem nos estudos musicais.

Pedagogicamente ficou evidente que a capacidade de criação ao longo das etapas da cognição motora proporciona uma nova forma de aprendizagem musical que pode irradiar apreensão e estímulo ao utilizador.

O projeto para esta dissertação de mestrado desenvolveu técnicas usadas na composição algorítmica; cadeias de Markov e histogramas. Entretanto, há inúmeras outras possibilidades e métodos de composição algorítmica por meio da utilização de algoritmos generativos que possam vir a complementar a aprendizagem do sistema criado. Oferecer ao utilizador mais opções para desenvolver a musicalidade e conseqüentemente o seguimento na utilização da ferramenta, está nos planos para o futuro deste trabalho.

O experimento realizado constatou que o sistema resulta em algo ainda muito novo para os utilizadores. Não restou dúvida com relação a curiosidade e interesse na criação musical guiada pelo sistema.

O sistema implementado pretende evoluir em sua inteligência. Muitas alternativas podem ser adicionadas para o melhor desempenho do sistema.

Muitas foram as dificuldades encontradas para a realização do projeto. A parte mais complexa foi a criação do engenho na seguinte ordem do mais difícil para o mais fácil:

- Determinar o engenho. Foram dois meses até a definição de como seria realizado o componente de hardware que iria complementar o sistema criado no MAX. Muitas questões envolvidas, dentre elas facilitar o transporte pois afinal o teclado passaria pela casa dos futuros utilizadores experimentais.
- Facilitar a visualização dos LEDs exatamente em cima de cada nota.
- Encontrar um material para posicionar os LEDs, tendo em vista a dificuldade de encontrar um serviço de impressão para cortes a laser.
- Determinar entre fita de LEDs, LEDs, e LEDs RGB.
- Fazer o corte do material por duas vezes pois como o material era corrosivo e ao receber a tinta preta ficou danificado. A opção foi por uma peça em madeira feita manualmente.

## **4.2 TRABALHO FUTURO**

O trabalho realizado permitiu a criação de uma prova de conceito que pode ser complementada e melhorada com o desenvolvimento de trabalhos futuros. Destacam-se os seguintes:

- Em relação entre a melodia e a harmonia; expandir o método de aprendizagem para tocar com as duas mãos, tocar acordes, percepção de tonalidades, arpeggios que acompanham acordes e inúmeras outras possibilidades que fazem parte da música erudita.

Quando o projeto foi idealizado, pretendia uma forma de compor por meio de arpeggios na melodia e acordes na harmonia, entretanto era evidente que este método após um certo avanço pelo utilizador, ficaria obsoleto e limitado.

Diante do aprendizado acerca da composição algorítmica surgiu a ideia para composição indicada por probabilidades de cadeias de Markov e histogramas. Entretanto, este projeto ambiciona a possibilidade de proporcionar mais opções para o utilizador para que este sinta ainda mais fascínio pelo que está a compor. Para possibilitar uma maior flexibilidade pretende-se aumentar a melodia e harmonia de uma para duas oitavas.

Outras possibilidades de evolução do sistema AMIGO dependerão do retorno dos utilizadores. Por se tratar de uma ferramenta nova e sem precedentes, sua evolução está atrelada ao *feedback* dos utilizadores.

Estruturalmente, o AMIGO intenta promover a implementação de um software ou aplicativo específico com disponibilidade para sistemas Android e iOS.

- Implementar no sistema níveis de aprendizagem (sempre acompanhado pela criação musical). Sendo nível 1) reconhecimento de escalas, tonalidades; 2) reconhecimento de acordes para harmonia; nível 3) acompanhamento por arpeggios às notas do acorde; outras possibilidades de composição como o contratempo.

Comunicação:

Quando o AMIGO foi idealizado planejava ser um dispositivo para criar bandas musicais com quatro timbres. A ideia era através do contratempo, nota contra nota, expandir um protótipo interativo para quatro utilizadores. Cada um com um timbre de instrumento e um líder para guiar a composição. Um dos instrumentos para a parte percussiva ou rítmica e os outros para formação da banda musical. Esta ideia permanece intacta para um estudo futuro da evolução do AMIGO.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Addressi, A., Pachet, F., & Caterina, R. (2004). Children confronting an interactive musical system. Proceedings of 8th International Conference on Music Perception & Cognition (ICMPC8), Adelaide.

Agostini, A. & Ghisi, D. (2012). BACH: An Environment for Computer-Aided Composition in Max. Proceedings of the Internacional Computer Music Conference, Ljubijana, Slovenia, pp. 373-378.

Algorithmic Composition: Markov Chains in Max MSP, 16 de maio de 2010, acessado em 28 de maio de 2018, no blog: <http://www.algorithmiccomposer.com>

Arduíno (2017). *Introduction*. Acessado em 28 de maio de 2018 <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Bach projetct. *bach.project*, acessado em 29 de maio de 2018. <http://www.bachproject.net>

Bongers, B. (2000). Physical interfaces in the electronic arts. *Trends in gestural control of music*, 41-70.

CASIO: Lighted Keys Keyboards. Acedido, 15 de junho de 2018: <https://www.casio.com/products/electronic-musical-instruments/lighted-keys/lk-280/techspec>

Cocharro D. (2012). *Condução em Tempo-Real de Algoritmos Musicais: Implementação de um Sistema Musical Interativo com o kin.Rhythmicator*. Dissertação de Mestrado em Multimédia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Dalcroze, E. J. 1967. *Rhythm, Music and Education*. Barclay Press.

Disklavier Pianos. Acedido, 10 de junho de 2018. [https://usa.yamaha.com/products/musical\\_instruments/pianos/disklavier/index.html#dkvoptions](https://usa.yamaha.com/products/musical_instruments/pianos/disklavier/index.html#dkvoptions)

Drummond, J. (2009). Understanding Interactive Systems. *Organised Sound*, 14(2), 124-133, doi:10.1017/S1355771809000235.

Filho, M. (2006). A musicalização do corpo. *Jornal da UNICAMP*, p.12.

Flowkey, acedido 29/05/2018. <https://www.flowkey.com/en>

Freitas, Alan R. R. (2015). Acedido em em 28 de maio de 2018, de Copyright© 2015 Alan R. R. de Freitas. [http://www.alandefreitas.com/assets/papers/pdf/metodos\\_de\\_composicao\\_algoritmica.pdf](http://www.alandefreitas.com/assets/papers/pdf/metodos_de_composicao_algoritmica.pdf)

Fukuya, Y., Takegawa, Y. & Yanagi, H. 2013. A Piano Learning Support System Considering Motivation. In Proc. ICMC 2013.

Fundação Victor Civita – <https://fvc.org.br>, Acedido em 13 de junho de 2018.

Gohn, M. G., Stavracas, I., 2010. O Papel da Música na Educação Infantil. *Eccos Revista Científica*, volume 12, número 2, julho – dezembro, 2010, pp. 85 – 103. Universidade Nove de Julho, São Paulo, SP – Brasil.

Hyperscore, <https://hyperscore.wordpress.com/about/>

<https://www.youtube.com/watch?v=wJn5YIEbDro>, Published on Aug 28, 2009.

Acedido em 28 de maio de 2018

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - Censo Escolar 2014. Fonte: <http://inep.gov.br/censo-escolar>. Acedido 6 de junho de 2018.

Jean Piaget (1896-1980); Autor: Equipa know.net; Data de criação: 14/03/2008; Revisão: 02/01/2015.

<http://www.old.knoow.net/ciencsocioishuman/psicologia/piagetjean.htm>. Acedido 06 de junho de 2018.

Matthews, M. 18 Benefits of Playing a Musical Instrument. *Effective Music Teaching*. (August 28, 2011). Acedido em 18 de maio de 2018 from: <http://www.effectivemusicteaching.com/articles/directors/18-benefits-of-playing-a-musical-instrument/> . Acedido 13 de maio de 2018.

McCarthy, K. M. 2013 - 08 - 22. <https://patents.google.com/patent/US8901405>. McCarthy Music Corp.

Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Morgan Kaufmann, Inc. San Francisco.

Pachet, F. (2008). *The Future of Content is in Ourselves*. ACM Journal of Computers in Entertainment. Sony CSL-Paris, France.

MuseScore: Acedido 19 de junho de 2018 <https://musescore.org/pt-pt>

Piaget, J. (1973). *Psicologia e Epistemologia: por uma teoria do conhecimento*. Rio de Janeiro: Forense.

Puredata. <http://puredata.info>. Acedido 7 de junho de 2018.

Robertson, A. N., Plumbley, M. D., 2006. Real-Time Interactive Musical Systems: An Overview. Centre for Digital Music - Department of Electronic Engineering - Queen Mary University of London.

Rowe, R. *Interactive Music Systems: Machine Listening and Composing*. Cambridge: MIT Press, 1993.

Rufilanchas, Daniel Riaño (2017). «On the origin of Karl Pearson's term "histogram"» . *Revista Estadística Española*. pp. 29-35.

Scagliusi, F. *Homepage*. Consultado 24 de junho de 2018 em: <https://www.aprendendopiano.com.br/comece-por-aqui/>

Silva, Luís Emanuel Soares Batista, 2017. A Importância da Improvisação e da Composição no Ensino da Música. Instituto Politécnico de Castelo Branco, Escola Superior de Artes Aplicadas.

Smart piano HI LITE. <https://newatlas.com/one-piano-hi-lite-led-learning-strip/51421/>  
<https://www.smartpiano.com/pages/piano-hi-lite>, Acedidos 29/05/2018.

Steinberg Company. Acedido 02 de junho de 2018. <https://www.steinberg.net/en/products/cubase/start.html>.

Suzuki, S. *Nurtured by Love* (New York: Exposition Press, 1969).

Suzuki, S., Mills, E., & Murphy, T. C. (1973). *The Suzuki concept: An introduction to a successful method for early music education*. Diablo Press, Incorporated.

Swanwick, K. (1979). *A Basis for Music Education*. Ninth impression by The NFER-NELSON Publishing Company Ltd.

Takegawa, Y., Terada, T., Tsukamoto, M., (2011) Design and Implementation of a Piano Practice Support System Using a Real-Time Fingering Recognition Technique. ICMC, 2011.

Takegawa, Y., Terada, T., (2012) A Piano Learning Support System Considering Rhythm. ICMC, 2012.

TELEMI. Acedido, 08/06/2018. <http://telmi.upf.edu>

The Hoffman Academy. Joseph Hoffman, July 28, 2014, Is Piano the Best First Instrument? Acedido em 28 de maio de 2018. <https://www.hoffmanacademy.com>

Tragtenberg, L. (1994). *Contraponto: uma arte de compor*. EdUSP, 2002.

Weinberg, G. 2002. Playpens, Fireflies, and Squeezables: New Musical Instruments for Bridging the Thoughtful and the Joyful. *Leonardo Music Journal* 12: 43-51.

Wikipedia. (14 de abril de 2018), Wikipedia. Acedido em 09 de junho de 2018. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Interface\\_de\\_programa%e7%a7%o\\_de\\_aplica%e7%b5%95es](https://pt.wikipedia.org/wiki/Interface_de_programa%e7%a7%o_de_aplica%e7%b5%95es)

Wikipedia. (24 de mar%o de 2013), Wikipedia. Acedido em 15 de junho de 2018. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Max\\_\(programa\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Max_(programa))

Wikipedia. (6 de fevereiro de 2018), Wikipedia. Acedido em 29 de maio de 2018. <https://pt.wikipedia.org/wiki/MIDI>

Wikipedia. (13 de abril de 2018), Wikipedia. Acedido em 07 de junho de 2018. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Open\\_Sound\\_Control&action=history](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Open_Sound_Control&action=history)

Wikipedia. (2 de janeiro de 2018), Wikipedia. Acedido em 07 de junho de 2018. <https://pt.wikipedia.org/wiki/SuperCollider>

Winkler, T. (2001). *Composing Interactive Music: Techniques and Ideas Using Max*. Massachusetts: The MIT Press.

Xiao, X., Tome, B., and Ishii, H., 2014. Andante: Walking Figures on the Piano Keyboard to Visualize Musical Motion. *In Proc. NIME '14*.

Xiao, X., Puentes, P., Ackermann, E. and Ishii, H., 2017. Andantino: Teaching Children Piano with Projected Animated Characters.

Yousician. Acedido, 29/05/2018. <https://company.yousician.com>